

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
Міністерство оборони України
Черкаський державний технологічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛАРІН ВОЛОДИМИР ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 004.7:004.93 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ В
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ В.В. Ларін

Науковий консультант Тимочко Олександр Іванович,
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Ларін В.В. Методи підвищення якості обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 “ Комп'ютерні системи та компоненти ” (123 – Комп'ютерна інженерія). – Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, 2021.

Актуальність теми.

Розвиток програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, які визначаються зростанням обсягів трафіку та потребою суспільства в появі сучасних послуг, призводять до необхідності постійного зростання і модернізації комп'ютерних систем та мереж. Найбільш популярними останнім часом стають відеоінформаційні послуги. Проблемними особливостями надання відеоінформаційних послуг в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення є:

- висока інтенсивність відеопотоку;
- нерівномірність відеопотоку за часом;
- чутливість до затримок та втрат пакетів при передачі.

Отже, підвищення якості відеоінформаційного сервісу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення є актуальною науково-прикладною проблемою.

Тому при формуванні відеотрафіка в першу чергу необхідно контролювати відповідність бітової швидкості джерела відносно пропускної здатності каналів зв'язку. В цьому напрямку одним з ключових підходів до зниження інтенсивності є застосування методів управління механізмами та

параметрами обробки і кодування відеокадрів. Це надає можливість адаптувати бітову швидкість інформаційного потоку на етапі його кодування відносно поточних характеристик пропускної здатності комп'ютерних систем та мережах спеціального призначення.

Одним з ефективних напрямків підвищення продуктивності комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення є зниження інтенсивності вхідного відеопотоку на основі його компресії. У цьому випадку знижується завантаження вузлів комутації, час затримки та ймовірності втрати пакетів на вузлах комп'ютерних систем та мережах спеціального призначення.

Найбільш важливими роботами в цьому напрямі є дослідження зарубіжних і вітчизняних вчених, серед яких варто виділити наступних: Д. Бертсекас, Р. Бесслер, Є.Є. Федоров, В.М. Вишневський, В.С. Заборовський, Ю.П. Зайченко, О.М. Назаров, Ю.М. Чернишов, А.А. Сирота, В.С. Харченко, О.І. Шелухін, М.А. Ястребенецький, В.К. Стеклов, Д. Уолренд, С. Лоу, Р. Морріс, С. Флойд, Д. Кларк, Д. Катабі, Е. Таненбаум, В. Столлінгс, С. Сундаресан, Г. Ван та ін.

У той же час щодо адаптації інтенсивності відеопотоку до пропускної спроможності каналів комп'ютерних систем та мережах спеціального призначення існують деякі проблемні питання. Це стосується того, що існуючі механізми впливу на інтенсивність трафіку будуються в рамках використання таких технологій як Motion JPEG; MPEG-2; H.261 / H.263; MPEG-4 part 2 (visual); H.264 / MPEG-4 part 10. Залежно від вимог, що пред'являються до якості відновлюваного відеопотоку, всі методи компактного подання поділяються на два базових класи. Перший клас складають методи з внесенням безповоротних змін. На виході процесу компресії відеопотоку формуються семантичні описові конструкції. Методи другого класу здійснюють обробку без внесення похибки. В даному випадку вихідний відеопотік відновлюється на приймальній стороні з нульовою похибкою (не враховуються інші види похибок, наприклад, квантування,

канала зв'язку). Основними представниками методів даного класу є кодування Хаффмана, арифметичне кодування (АК), метод кодування довжин серій (КДС), метод LZW.

Основні недоліки таких методів:

- часові витрати на компресію, відновлення і передачу зображень досягають декількох хвилин;
- коефіцієнт компресії при заданій якості відновлених зображень не забезпечує істотного зниження обсягу переданих даних;
- навіть при 1% втрат пакетів в ході передачі трафіку відеоінформаційних послуг психовізуальне сприйняття відновлених зображень на приймальній стороні стає неприйнятним.

Тому існуючі механізми забезпечують вплив на інтенсивність потоку відеоінформації за рахунок не передбачених втрат інформації та значних затримок на обробку.

Отже необхідно дослідити умови і причини виникнення підвищеної інтенсивності відеопотоку, виходячи з аналізу яких, проводиться розробка методу управління інтенсивністю відеоданих при виконанні заданих вимог щодо якості відновленої відеоінформації на приймальній стороні.

Таким чином, тематика дисертаційного дослідження щодо розробки та вдосконалення методів підвищення якості обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення є актуальною.

Наукова новизна отриманих результатів.

У результаті виконання дисертаційної роботи отримані такі основні наукові результати:

- вперше запропоновано метод обробки відеопотоку на основі кодування прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, що дозволяє зменшити обсяг переданих даних в середньому в 3 рази;
- одержав подальшого розвитку метод формування компактного представлення сегментованих зображень, що відрізняється від відомих

процесом побудови кодограм з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину кодограми та забезпечує компресію в режимі обмежених значень фактора втрати якості;

- одержав подальшого розвитку метод обробки кадрів відеопотоку на основі трансформування, що відрізняється від відомих компактним поданням трансформанти в результаті рекурентного дворівневого кодування, що дозволяє організувати реконструкцію зображень за зменшеною кількістю операцій та підвищити оперативність надання ВІС;

- вперше запропоновано метод компресії відеопотоку динамічних зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових, що дозволяє врахувати структурні особливості диференціального кадру та підвищити якість та повноту надання ВІС;

- удосконалено метод обробки динамічної складової диференційно-представлених кадрів, що відрізняється від відомих побудовою позиційних чисел з адаптивним вибором значень основ та дозволяє збільшити ступінь компресії двійкової маски диференційно-представленого кадру та оперативність надання ВІС;

- удосконалено метод компактного представлення службових даних, що відрізняється від відомих застосуванням структурної подібності матриці покажчиків знаків і матриці двійкової маски та дозволяє враховувати структурну подібність відео потоку та якість надання ВІС;

- вперше запропоновано метод представлення службових даних диференційно-представленого кадру, який дозволяє побудувати адаптивну систему управління бітовою швидкістю відеопотоку в комп'ютерних системах та мережах з низькою пропускною здатністю каналу для підвищення якості та повноти надання ВІС.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що програмна інтеграція розроблених методів в комп'ютерних системах та

мережах спеціального призначення щодо використання існуючих технологій управління забезпечує:

- 1) виграш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому від 18% до 40% по відношенню до стандарту MPEG;
- 2) заданий рівень інтенсивності в процесі управління для більш високих показників якості, який визначається параметром PSNR, на рівні приблизно 35 дБ. Це в середньому на 19% краще стандарту MPEG;
- 3) скорочення часу передачі відеоданих від джерела до приймача в середньому від 15% до 25% для технології Wi-Fi;
- 4) зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 10% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;
- 5) скорочення часу обробки відеопотоку в середньому на 7% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG;
- 6) зменшення ймовірності втрат пакетів в середньому від 5 до 7 разів у порівнянні зі стандартом MPEG.

Практична значимість отриманих результатів дисертації підтверджується їх використанням при виконанні держбюджетних НДР шифр «Моніторинг», шифр «Око», шифр «Палітра», при постановці навчальних дисциплін «Комп'ютерні інформаційні системи та технології» і «Комп'ютерні мережі» та актами впровадження:

у військовій частині А1215 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 23.12.2019 року);

у Харківському регіональному структурному підрозділі «Украерорух» (акт впровадження дисертаційних досліджень від 13.07.2020 року);

у військовій частині А4608 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 17.07.2020 року).

Проведені у дисертаційній роботі дослідження дозволяють розробити та вдосконалити методи обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Обґрунтованість основних наукових положень, висновків та рекомендацій, одержаних у дисертаційній роботі підтверджується програмною інтеграцією розроблених методів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, а також відсутністю протиріч між відомими та одержаними науковими результатами.

На користь достовірності основних наукових положень, висновків та рекомендацій свідчать результати оцінки ефективності процесу управління інтенсивністю відеотрафіка в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, а також апробації одержаних результатів роботи на науково-технічних семінарах та конференціях.

Результати дисертаційної роботи можуть бути корисними:

при проведенні ДКР щодо створення ефективного інструментального забезпечення комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення;

при розробці апаратно-програмного забезпечення процесів обробки та передачі інформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

при розробці нових та удосконаленні існуючих методів зниження компактного подання відео інформаційного ресурсу;

у навчальних дисциплінах, пов'язаних з організацією принципів побудови, схемних рішень та конструктивних виконань комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Ключові слова: оперативність, комп'ютерні системи та мережі спеціального призначення, обробка, відеоінформація, трафік, сервіс, програмно-апаратні компоненти, якість, метод, модель, інтенсивність, пропускна здатність.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Ларин В. Подходы для защиты видеоинформации на основе устранения избыточности в инфокоммуникациях / В. Ларин, А. Яковенко, Р. Тарнополов, // Сучасна спеціальна техніка. 2014. - №2(37). — С. 82 — 89.

2. Larin V. A method for constructing a combined compression system and encryption of video data / V. Larin, A. Korotenko, D. Baiush, A. Ivanichenko // Системи озброєння і військова техніка 2(50). – 2017. – X. ХУПС. 2017. — С. 121 — 124.

3. Ларін В. Метод захисту низькочастотних складових в алгоритмі кодування JPEG / В. Ларін, Д. Гаврилов, Д. Комолов, К. Ялівець // Системи обробки інформації.– № 9. – X. ХУПС. 2015. — С. 24 — 27.

4. Ларін В. Адаптивний селективний алгоритм обробки цифрових зображень на основі пошуку та виділення об'єктів інтересу / В. Ларін, Д. Гаврилов, Т. Гаврилець // Системи озброєння і військова техніка 2(46). – X. ХУПС. 2016. — С. 121 — 124.

5. Ларін В. Засоби відеоаналітики рухомих цілей на основі отриманого зображення/ В. Ларін, В. Ткачук, Є. Лисенко // Системи обробки інформації.– 2016. - № 1. – X. ХУПС. 2016. — С. 26 — 28.

6. Larin V. Rationale for necessity of improving the protection of operational videoinformation in wireless infocommunication systems / V. Larin, V. Barannik, Yu. Riabukha // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — № 4(53). – 2017. – X. ХНУПС. 2017. — С. 54 — 58.

7. Larin V. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems / V. Larin, N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 4, Issue 9, 2018. — pp. 27 — 35. ISSN: 17293774. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139723. Scopus.

8. Larin V. The reasoning of necessity enhancing video privacy in conditions of providing the quality of the video information service provided in virtual infocommunication systems / V. Larin, D. Yerema, Y. Bolotska // Системи озброєння і військова техніка 2(35). – X. ХНУПС. 2019. — С. 158 — 162.

9. Volodymyr Larin. Development of an advanced method of video information resource compression in navigation and traffic control systems. / Serhii Yevseiev, Ahmed Abdalla, Serhii Osiiivskyi and others. All – 5 authors. //

EUREKA: Physics and Engineering. No. 5 (2020), pp. 31-42. – ISSN 24614254.

DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001405. **Scopus.**

10. V.Larin. Method of coding predictable frames with the account of management mechanisms for improving the quality of video information's service./ O.Tymochko, A. Liuti, A. Abdalla // Системи управління, навігації та зв'язку. 4(62). – П. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2020, С. 69-72.

11. V.Larin. Method of processing video information resource for aircraft navigation systems and motion control. / O.Tymochko, S. Osiiievskyi // Сучасні інформаційні системи. X. – Том 4, № 2 (2020), с. 140-145.

12. V.Larin. The method of the compact video frames representation, which are presented in a differential form in computer systems. / M. Pavlenko, A. Abdalla, P. Open'ko // Збірник наукових праць ХНУПС 4(66). – X. ХНУПС. 2020, С. 79-84.

13. Ларин В. Метод криптокомпрессионных преобразований с ключом. / С.Сидченко // Сучасна спеціальна техніка. К. – 2013. - №1(32). – С. 51-57.

14. Ларин В. Методологическая база криптокомпрессионного представления видеoinформационных ресурсов. / С.Сидченко // Захист інформації. К., НАУ, 2013. Том №15(2) С.97-104.

15. Ларин В. Методологічні основи криптосемантичного представлення відеозображень в інформаційних комунікаціях. / С.Сідченко // Наукоємні технології. – К. – 2012. - №3(15). – С. 78 – 82.

16. V.Larin. Development of an advanced method for compressing the dynamic component of a differential-represented frame. / O.Tymochko, I. Sheviakov, A. Abdalla// Телекомунікаційні та інформаційні технології. 3(68). – К. ДУТ. 2020, С. 67-83.

17. V.Larin. Investigation of the mechanism for processing predicted frames in the technology of compression of transformed images in computer systems and special purpose networks. / O.Tymochko, I. Sheviakov, A. Abdalla // Системи обробки інформації.– № 4. – X. ХУПС. 2020. — С. 24 — 31.

18. V.Larin. The video processing features research in computer systems and special purpose networks. / E. Kazakov, I. Sheviakov, A. Abdalla // Системи озброєння і військова техніка 4(64). – Х. ХУПС. 2020. — С. 111 — 119.

19. Ларін В. В. Оцінка вразливості телекомунікаційних систем та мереж від кібератак / В. В. Ларін, А. В. Ширяєв, Д. О. Медведєв // Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: Колективна монографія. — Харків : Издательство «Лидер», 2017. — С. 483 — 516.

20. Ларін В. В. Обґрунтування необхідності зниження стрімкості відео потоків для надання можливості підвищення якості відеоінформаційних послуг / В. В. Ларін, А. Абдалла // Кібербезпека та інформаційні технології: Колективна монографія. — Харків : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. — С. 327 — 340.

21. Ларін В. В. Патент № UA 92959 10.09.2014 / Спосіб динамічного кодування та захисту інформаційного ресурсу в інфокомунікаційних системах // Патент № UA 92959 2014. Бюл. №17 / Третяк В.Ф., Корольов Р.В., Красноручський А.О. та ін.

22. Ларін В. В. Патент № UA 92960 10.09.2014 / Спосіб розподілу та кодування інформаційного ресурсу в мультисервісних мережах // Патент № UA 92960 2014. Бюл. №17 / Власов А.В., Голубничий Д.Ю., Корольова Н.А. та ін.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Larin V. The analys of cyberattacks against the information and telecommunication systems / V. Larin, R. Tarnopolov // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2013; Sevastopol, Crimea; Ukraine; 8 September 2013. — pp. 448 – 449. **ISBN: 978-966335401-9. Scopus.**

2. Ларин В. В. Комбинированная технология безопасности видеоинформации в инфокоммуникационных системах / В. В. Ларин // Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року / тези допов – Х.: ХУПС, 2013. — С. 197.

3. Larin V. The methodical base of cryptocompression presentation of videoinformation resorces / V. Larin, V. Barannik, S. Sidchenko // 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013 : Lviv; Ukraine. — pp. 27 – 28. **ISBN:** 978-966219116-5. **Scopus.**

4. Ларин В. В. Показатель характеризующий процесс защиты изображений в процессе устранения избыточности / В. В. Ларин, Р. В. Тарнополов, Д. С. Гаврилов // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 10 наукова конференція ХУПС 9-10 квітня 2014 р. – Харьков /. тези допов – Х.: ХУПС, 2014. — С. 161.

5. Larin V. Analysis of Options for Increasing Secrecy of the Videosystem Resource / V. Larin, S. Sidchenko, R. Tarnopolov // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University Lviv-Slavske, Ukraine February 25 – March 1, 2014. — p. 231.

6. Larin V. Design of steganographic system on the basis of a code container in nonnequilibrium positional base / V. Larin, S. Sidchenko // International Conference TCSET'2015 [Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science] (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University, 2015. — pp. 39 – 41.

7. Larin V. A mathematical model of the process of transferring video / V. Larin, S. Podlesny, A. Hahanova // International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015). — pp. 383 – 385.

8. Larin V. The analysis of template method of video processing / V. Larin, P. Krasnikov, D. Gavrilov // 1st International Conference [«Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)»], (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015). — pp. 80 – 82.

9. Ларин В. В. Анализ методов маскирования данных в частотной области / В. Ларин, В. Твердохлеб // Науково-практична конференція.

Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем 10-11 березня 2016. К.: КНУ ім. Т. Шевченко: тези допов. — С. 49 – 51.

10. Ларин В. В. Оценка методов выделения контуров на цифровых изображениях / В. Ларин // 2 Міжнародна науково-практична конференція. 24-27 лютого 2016. К.: Європейський університет: тези допов. — С. 94 – 96.

11. Larin V. The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security / V. Larin, I. Tupitsya // IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2016; Yerevan; Armenia; 14 October 2016. — pp. 77 – 78. **ISBN:** 978-966219116-5. **DOI:** 10.1109/EWDTs.2016.7807749. **Scopus.**

12. Larin V. Method of image segments compression based on two-level local position representation of vectors / V. Larin, A. Alimpiev // 2th International Conference [IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT)], 2017. — pp. 75 – 78.

13. Larin V. Model of syntactic representation of aerophoto images segments/ V. Larin, A. Krasnorutsky, A. Hahanova, S. Shulgin // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018; Lviv-Slavske; Ukraine; 20 February 2018. — pp. 974 – 977. **ISBN:** 978-153862556-9. **DOI:** 10.1109/TCSET.2018.8336356. **Scopus.**

14. Ларін В. В. Концепція реструктуризації даних інформаційного ресурсу / В. В. Ларін, І. М. Тупиця // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 15 міжнародна наукова конференція ХНУПС 10-11 квітня 2019 р. – Харків, 2019 тези допов. — С. 299.

15. Ларін В. В. Метод визначення показників якості перспективних зразків озброєння в умовах нестохастичної невизначеності / В. В. Ларін, Н. О. Королюк // НІСТ 2019 Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях» 23-25 травня 2019 р. – Харків – Кам'янець-Подільський, 2019 тези допов. — С. 112 – 113.

16. Ларін В. В. Метод формалізації процесу наведення штурмової авіації на наземні цілі на основі синтезу нечіткої нейронної мережі / В. Ларін, С. Олізаренко, А. Самокіш, О. Черток // 7-а міжнародна науково-технічна конференція, (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 13 – 15 листопада 2019 р.) / Черкаський державний технологічний університет, Черкаси: 2019 тези допов. — С. 43.

17. Larin V. The characteristics evaluation of securing videoinformation process for wireless system / V. Larin, D. Zhuikov, V. Dokuchaev, A. Liuti, A. Abdalla // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 16 міжнародна наукова конференція ХНУПС 15-16 квітня 2020 р. – Харків, 2020 тези допов. — С. 410.

18. Larin V. Conceptual Basis of Cascading Differential Masking Technology / V. Larin, M. Pavlenko, O. Tymochko, M. Kolmykov, S. Khmelevskiy // IEEE 11 th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. DESSERT: 2020. — pp. 290 – 294. **ISBN:** 978-172819957-3. **DOI:** 10.1109/DESSERT50317.2020.9125024. **Scopus.**

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Ларин В. В. Анализ кибератак на информационно-телекоммуникационные системы / В. В. Ларин, Ю. Н. Рябуха, Р. В. Тарнополов // Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: Обработка и защита информации: колективна монографія. — Харків: Компанія Смит, 2013. С. 336 — 344.

2. Larin V. Determining the function of splitting the charged particles of the strongly ionized air environment in the openings of the case-screens of radio electronic means / M. Iasechko, V. Larin, A. Trystan, O. Ochkurenko // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Volume 8, Issue 1.3 S1 — 2019. — P. 19—23. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019. **Scopus.**

3. Larin V. The method of determining the probability of affection of the semiconductor elements under the influence of the multifrequency space-time signals / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksiuta, S. Bazilo, I. Sharapa // *Journal of Critical Reviews*. — 2020. — № 7(9),2020. — P. 569-571. **ISSN:** 23945125. **DOI:** 10.31838/jcr.07.09.113. **Scopus**.

4. Larin V. Model description of the modified solid state plasma material for electromagnetic radiation protection / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksiuta, O. Ochkurenko, I. Krasnoshapka, Y. Samsonov, H. Lyashenko, A. Zinchenko, R. Vozniak // *IJETER*. — 2019. — № 7 (10). — P. 376—382. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/027102019. **Scopus**.

5. Larin V. Protection of board radioelectronic equipment from the destructive powerful electromagnetic radiation with the use of natural technologies / M. Iasechko, O. Turinskyi, M. Burdin, V. Larin, Y. Gnusov, D. Ikaev, V. Borysenko, V. Manoylo // *IJETER*. — 2019. — № 7 (11). — pp. 542 – 548. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/237112019. **Scopus**.

6. Larin V. Model of Combined Solid Plasma Material for the Protection of Radio-Electronic Means of Optical and Radio Radiation / M. Iasechko, O. Sotnikov, A. Syrotenko, V. Larin, S. Iasechko, O. Ochkurenko, A. Volkov // *IJATCSE*. — 2019. — № 8 (4). — pp. 1241 – 1247.

7. Larin V. The model of a medium for creation of electric hermetic screens of the radio electronic means / M. Iasechko, O. Sotnikov V. Larin, O. Ochkurenko, D. Maksiuta // *IJATCSE*. — 2019. — 8(2). — pp. 300 – 304. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/32822019. **Scopus**.

8. Larin V. The Investigation of the Impulse Evolution of the Radio-Frequency and Optical Radiation During the Interaction With the Solid-State Plasma Media On Radioisotope and Hexaferrite Inclusions / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, T. Prokopenko, O. Kolmohorov, O. Salash, V. Tarshyn // *IJETER*. — 2020. — 8(4). — pp. 1333 – 1337. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/64842020. **Scopus**.

9. Larin V. Conditions for reliable transmission of information over long distances using a powerful electromagnetic radiation / M. Iasechko, M. Mozhaiev, I.

Manzhai, M. Volk, V. Manoylo, O. Ochkurenko, D. Maksjuta, V. Larin, A. Markov, O. Kostyria // IJETER. — 2020. — 8(1). — pp. 138 – 144. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/18812020. **Scopus.**

10. Larin V. Estimation of the influence of the nonequilibrium state of the electronic subsystem and the dispersion properties of a solid-state plasma medium in the conditions of decay instability on the reflection of laser radiation / O. Tymochko, O. Kolodiazhnyi, V. Larin, O. Rybkin, V. Patalakha, V. Mazharov, N. Benyk, A. Heilyk, M. Mozhaiev // IJETER. — 2020. — 8(2). — pp. 568 –573.

11. Larin V. Formalized Model Descriptions Of Modified Solid-State Plasma-Like Materials To Protect Radio-Electronic Means From The Effects Of Electromagnetic Radiation / M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, S. Salkutsan, L. Mikhailova, O. Kozak // IJATCSE. — 2019. — 8(3). — pp. 393 – 398. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/09832019. **Scopus.**

12. Larin V. Model and development of plasma technology for the protection of radio-electronic means of laser emission / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, D. Dulenko, V. Kravchenko, O. Golubenko, D. Sorokin, O. Zolotukhin // IJATCSE. — 2019. — 8(5). — pp. 2429 – 2433. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/85852019. **Scopus.**

13. Larin V. Drawbacks of wireless telecommunication systems / V. Larin, M. Pavlenko, A. Abdalla // 2-а міжнародна науково-практична конференція, (Кропивницький, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький: 2020: тези допов. — С. 49.

14. Larin V. Influence of ionization source onto macroscopic parameters of the air media in the holes in cops-screens of radio electronic means / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksjuta, O. Ochkurenko, Y. Samsonov, H. Lyashenko, A. Zinchenko // APRN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2019. — № 14 (20). — pp. 3566 – 3571. **ISSN:** 18196608. **Scopus.**

ANNOTATION

Larin V. Methods of improving the quality of video information processing in computer systems and special purpose networks. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.13.05 “Computer systems and components” (05 – technical sciences). – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 2021.

Actuality of theme.

The development of software and hardware components of video information processing in computer systems and special purpose networks, which are determined by the growth of traffic and society's need for modern services, lead to the need for continuous growth and modernization of computer systems and networks. Video information services have recently become the most popular. Problematic features of video information services in computer systems and special purpose networks are:

- high intensity of video stream;
- uneven video flow over time;
- sensitivity to packet delay and loss during transmission.

Thus, improving the quality of video information service in computer systems and special purpose networks is an urgent scientific and applied problem.

Therefore, when generating video traffic, it is first necessary to control the correspondence of the bit rate of the source relative to the bandwidth of communication channels. In this direction, one of the key approaches to reducing the intensity is the use of methods for controlling the mechanisms and parameters of processing and encoding video frames. This makes it possible to adapt the bit rate of the information flow at the stage of ego coding relative to the current bandwidth characteristics of computer systems and special purpose networks.

One of the effective ways to increase the performance of computer systems and special purpose networks is to reduce the intensity of the input video stream

based on its compression. In this case, the load of switching nodes, delay time and the probability of packet loss on the nodes of computer systems and special purpose networks is reduced.

The most important works in this direction are the studies of foreign and domestic scientists, among which are the following: D. Bertsekas, R. Bessler, E. Fedorov, V. Vyshnevsky, V. Zaborovsky, Yu. Zajchenko, O. Nazarov, Yu. Chernishov, A. Orphan, V. Harchenko, O. Shelukhin, M. Yastrebenetskiy, B. Steklov, D. Walrend, S. Lowe, R. Morris, S. Floyd, D. Clark, D. Katabi, E. Tannenbaum, W. Stollings, S. Sundaresan, G. Van and others.

At the same time, there are some problematic issues regarding the adaptation of video stream intensity to the bandwidth of computer systems and special purpose networks. This is due to the fact that the existing mechanisms of influencing the intensity of traffic are built within the use of technologies such as Motion JPEG; MPEG-2; H.261 / H.263; MPEG-4 part 2 (visual); H.264 / MPEG-4 part 10. Depending on the requirements for the quality of the recoverable video stream, all methods of compact presentation are divided into two basic classes. The first class consists of methods with irreversible changes. At the output of the process of compression video stream semantic descriptive constructions are formed. Methods of the second class carry out processing without introduction of an error. In this case, the original video stream is restored on the receiving side with zero error (other types of errors are not taken into account, such as quantization, communication channel). The main representatives of the methods of this class are Huffman coding, arithmetic coding (AC), the method of encoding the length of the series, the method LZW.

The main disadvantages of such methods:

- the time spent on compression, recovery and transfer of images reaches several minutes;
- the compression ratio at a given quality of the restored images does not provide a significant reduction in the amount of transmitted data;

- even with 1% packet loss during the transmission of video information services, the psychovisual perception of the restored images on the receiving side becomes unacceptable.

Therefore, the existing mechanisms provide an impact on the intensity of the flow of video information due to unforeseen loss of information and significant delays in processing.

Therefore, it is necessary to investigate the conditions and causes of increased intensity of the video stream, based on the analysis of which, the development of a method for controlling the intensity of video data in compliance with the requirements for the quality of restored video information on the receiving side.

Thus, the topic of the dissertation research on the development of methods for improving the quality of video information processing in computer systems and special purpose networks is relevant.

Scientific novelty of the obtained results.

As a result of the dissertation work the following main scientific results were obtained:

1) for the first time a method of video stream processing based on coding of predicted frames in computer systems and special purpose networks is proposed, which allows to reduce the amount of transmitted data by an average of 2-3 times.

2) the method of forming a compact representation of segmented images, which differs from the known process of construction of codograms, taking into account the established limit on the maximum length of the codogram and provides compression in the mode of limited values of the quality loss factor.

3) the method of processing video stream frames based on transformation, which differs from the known compact representation of transformants as a result of recurrent two-level coding, which allows to organize image reconstruction using a number of operations not exceeding the number of operations spent on compression.

4) for the first time the method of video stream compression of dynamic

images of a stationary background on the basis of separate processing of stationary and dynamic components is offered that allows to consider structural features of a differential frame, namely various degree of saturation and the big sizes of areas of a stationary background.

5) the method of processing the dynamic component of differentially represented frames is improved, which differs from the known ones by constructing position numbers with adaptive choice of base values and allows to increase the degree of compression of the binary mask of differentially represented frames.

6) improved method of compact representation of service data, which differs in the use of structural similarity of the matrix of pointers and the matrix of the binary mask and allows to take into account the structural similarity of the video stream.

7) a method for presenting service data of a differentially represented frame has been created, which allows to build a system for controlling the bit rate of the video stream in computer systems and networks with low channel bandwidth.

The practical significance of the obtained results is that the software integration of the developed methods in computer systems and special purpose networks for the use of existing control technologies provides:

1) gain by the degree of intensity reduction at a given parameter PSNR on average from 20% to 36% relative to the MPEG standard;

2) the specified level of intensity in the control process for higher quality indicators, which is determined by the PSNR parameter, at a level of approximately 30 dB. This is on average 16% better than the MPEG standard;

3) reduction of video transmission time from source to receiver on average from 18% to 23% for Wi-Fi technology;

4) reducing the utilization factor of the switching node by an average of 8% at the maximum intensity of video traffic;

5) reduction of video stream processing time by an average of 4% compared to similar mechanisms in the MPEG standard;

6) reducing the probability of packet loss by an average of 4 to 6 times compared to the MPEG standard.

The practical significance of the obtained dissertation results is confirmed by their use in the implementation of state budget research № 0118U000134D code "Monitoring", in the formulation of disciplines "Computer Information Systems and Technologies" and "Computer Networks" and acts of implementation.:

in the organization A1215 (act of introduction of dissertation researches from 23.12.2019);

in Kharkiv Regional Branch of «Ukrainian State Air Traffic Services Enterprise» (act of introduction of dissertation researches from 13.07.2020);

in the organization A4608 (act of introduction of dissertation researches from 17.07.2020).

The researches carried out in the dissertation work allow to develop and to improve the software and hardware components of video information processing in computer systems and special purpose networks.

The validity of the main scientific provisions, conclusions and recommendations obtained in the dissertation is confirmed by the software integration of the developed methods in computer systems and special purpose networks, as well as the absence of contradictions between known and obtained scientific results.

In favor of the reliability of the main scientific provisions, conclusions and recommendations, the results of evaluating the effectiveness of the process of managing the intensity of video traffic in computer systems and special purpose networks, as well as testing the results of scientific and technical seminars and conferences.

The results of the dissertation can be useful:

- during conducting research on the creation of effective tooling for computer systems and special purpose networks;

- in the development of hardware and software for the processing and transmission of information in computer systems and special purpose networks;

- in the development of new and improvement of existing methods of reducing the compact representation of the video information resource;
- in academic disciplines related to the organization of the principles of construction, circuit solutions and design of computer systems and special purpose networks.

Keywords: efficiency, computer systems and special purpose networks, processing, video information, traffic, service, software and hardware components, quality, method, model, intensity, bandwidth.

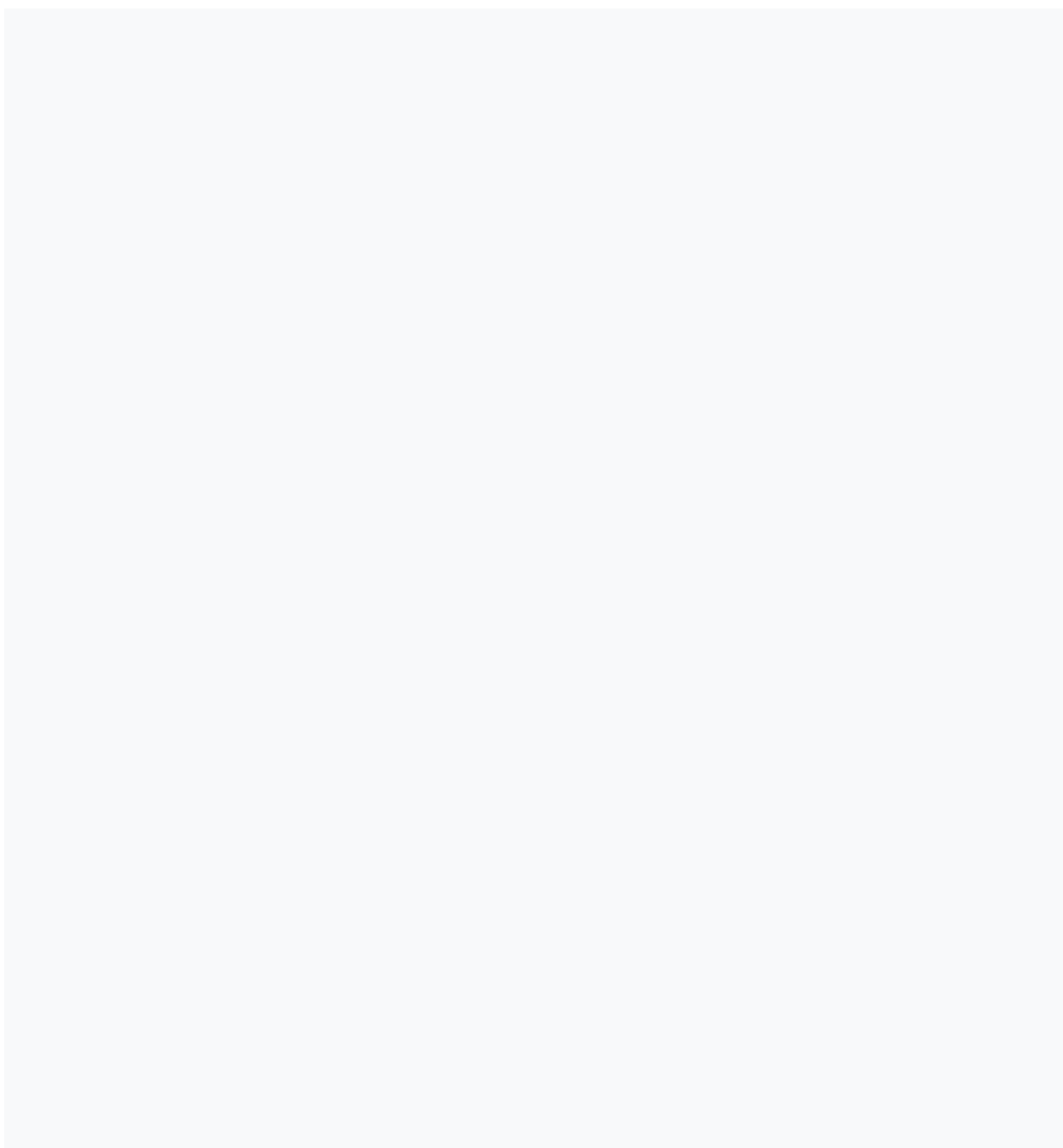
ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ANNOTATION	16
ЗМІСТ	22
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	26
ВСТУП	28
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	39
1.1 Аналіз комп'ютерних систем та мереж щодо надання відеоінформаційних сервісів	40
1.2 Аналіз вимог до відеододатків у сучасних комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення	45
1.3 Обґрунтування вимог до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення	57
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1	59
РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	61
2.1 Технічний опис диференційного подання кадру з використанням порогу фільтрації	62
2.2 Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді	64
2.3 Вибір показників оцінки ефективності, структура та методологія проведення дослідження	70
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2	75
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ КОДУВАННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ З УРАХУВАННЯМ УПРАВЛЯЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ.	76
3.1 Дослідження особливостей обробки відеопотоку стандартом MPEG	77

	23
3.2 Обґрунтування значущості прогнозованих кадрів	85
3.3 Дослідження механізму обробки прогнозованих кадрів в технології компресії трансформованих зображень.....	89
3.4 Розробка методу компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах.....	97
3.5 Розробка методу реконструкції прогнозованих кадрів в технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних систем та мереж	103
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3.....	113
РОЗДІЛ 4 МЕТОД ОБРОБКИ СЕГМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДВОРІВНЕВОГО ЗРОСТАННЯ КОДУВАННЯ ВЕКТОРІВ КОРТЕЖІВ ТРАНСФОРМАНТИ.....	115
4.1 Розробка принципів кодування вектора двокомпонентних кортежів	116
4.2 Розробка методу формування компактного представлення сегментованих зображень.....	122
4.3 Розробка методу обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант.....	147
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4.....	159
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ДИНАМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ.....	161
5.1 Розробка методу кодування диференційно-поданих кадрів відеоінформаційного потоку	162
5.2 Розробка методу відновлення динамічних зображень стаціонарного фону	174
5.3 Розробка методу представлення масиву стаціонарної складової диференційно-поданого кадру	186

5.4 Розробка методу обробки динамічної складової диференційно-поданого кадру	197
5.5 Розробка методу подання службових даних диференційно-поданого кадру	210
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5.....	221
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ВИХІДНИХ ВІДЕОПОТОКІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ	223
6.1 Розробка методологічної бази управління бітовою швидкістю вихідного відеопотоку при формуванні прогнозованих кадрів.....	224
6.2 Розробка методу контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності	241
6.3 Розробка методу управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів для підвищення доступності та цілісності інформаційних ресурсів	251
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 6.....	260
РОЗДІЛ 7 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОТРАФІКА.....	262
7.1 Обґрунтування концептуальної бази каскадної технології диференційного маскуванню з класифікацією семантичної складності зображень	263
7.2 Оцінка узгодженості характеристик комп'ютерних систем та мереж з відеотрафіком	275
7.3 Оцінка технологій управління зменшенням надмірності відетрафіку на базі MPEG-технологій	287
7.4 Реалізації методу управління інтенсивністю відеотрафіка	291
7.5 Оцінка впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах	299

	25
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 7.....	311
ВИСНОВКИ.....	313
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	316
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	347
ДОДАТОК Б Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи ...	358
ДОДАТОК В Лістинг програмного додатку методу обробки відеопотоку на основі кодування прогнозованих кадрів	364



ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- CBR (Constant Bit Rate) – постійна бітова швидкість;
- DiffServ (Differentiated Service) – диференційне обслуговування;
- IntServ (Integrated Service) – інтегрований сервіс;
- JPEG (Joint Photographic Experts Group) – метод компресії зображень та графічний формат;
- MPEG (Moving Picture Experts Group) – експертна група, сформована для вироблення стандартів компресії та передачі цифрової відео та аудіо інформації;
- OLA (Operational Level Agreement) – Угода про рівень експлуатаційної підтримки;
- PSNR (Peak signal-to-noise ratio) – пікове відношення сигнал / шум;
- QF (Quality Factor) – фактор якості;
- QoS (Quality of Service) – сервіс забезпечення якості обслуговування;
- RGB (Red, Green, Blue) – адитивна кольорова модель, що описує спосіб синтезу кольорів;
- RLE (Rn-Length Encoding) – групове кодування;
- RSVP (Resource ReSerVation Protocol) – протокол резервування мережевих ресурсів;
- SLA (Service Level Agreement) – Угода про рівень обслуговування;
- SRC (Scalable Rate Control) – масштабований контроль швидкості;
- VBR (Variable Bit Rate) – змінна бітова швидкість;
- VLC (Variable Length Codes) – коди змінної довжини;
- YCrCb – колірний простір, який використовується для передачі кольорових зображень в компонентному відео і цифровій фотографії;
- БД – база даних;
- ДКП – дискретно косинусне перетворення;

КС та М СП – комп'ютерні системи та мережі спеціального призначення;

ВІС – відеоінформаційна система.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Комп'ютерні системи та мережі спеціального призначення (КС та М СП) – це інтегрований комплекс організаційних, технічних заходів та взаємозв'язаних і погоджено-функціонуючих програмних та програмно-апаратних компонентів, що забезпечують достовірну обробку, збереження та передачу інформації від джерела повідомлення до споживача з урахуванням особливостей силових та спеціальних структур України.

Існуючі механізми забезпечують вплив на інтенсивність потоку відеоінформації за рахунок непередбачених втрат інформації та значних затримок на обробку. Отже, необхідно дослідити умови і причини виникнення підвищеної інтенсивності відеопотоку, виходячи з аналізу яких проводиться вирішення поставлених наукових завдань [1, 2].

За основні критерії класифікації трафіку прийняті три характеристики: відносна передбачуваність швидкості передачі даних, чутливість трафіку до затримок пакетів і чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів. Визначено функцію для забезпечення якості, підвищення оперативності та незменшення повноти відеоінформаційних послуг в КС та М СП. Вона містить такі складові як смуга пропускання каналу зв'язку, затримка при передачі пакетів, джиттер затримки, втрати інформаційних пакетів при передачі, бітова швидкість джерела після обробки.

Для надання послуг відеозв'язку важливим аспектом є показник швидкості передачі в обох напрямках. Очевидно, що тенденції зростання пропускну здатності каналів комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення призводять до збільшення можливостей з надання відеоінформаційних послуг, підвищуючи при цьому попит на них через те, що дані послуги в цей момент є найбільш затребуваними.

Тому становить інтерес дослідження можливості подальшого збільшення коефіцієнта компресії в процесі обробки зображень стаціонарного фону на основі виявлення стаціонарної складової кадру, що дозволить:

- виявити область стаціонарності щодо попереднього кадру;
- сформуванати бінарну маску динамічних областей і тим самим забезпечити потенціал для скорочення структурної надмірності в результаті виявлення довжин двійкових серій;
- скоротити розмірність масиву, що містить елементи динамічних об'єктів.

Вимоги до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення:

- зменшення обсягів трафіку;
- модернізація відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;
- зниження інтенсивності відеопотоку;
- рівномірне розподілення відеопотоку за часом;
- чутливість до затримок пакетів при передачі в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;
- чутливість до втрат пакетів при передачі в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;
- контроль відповідності бітової швидкості джерела відносно пропускної здатності каналів зв'язку;
- врахування поточних характеристик пропускної здатності комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Можливості існуючих методів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення:

- обмежені обчислювальної потужності комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення при одночасному спрощенні методів їх експлуатації;
- швидке збільшення обсягів інформаційних потоків даних, які обробляються і передаються в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

- стрімке збільшення кількості розподілених баз даних (БД) різного призначення, їх стандартизація та інтеграція до сучасного інформаційного простору;

- розширення кількості джерел інформації і кола користувачів, які мають безпосередній доступ до інформаційних ресурсів та широкого спектру послуг, які надають КС та М СП.

Отже, виникло протиріччя, яке обумовлене обмеженими можливостями існуючих методів обробки відеоінформації, з одного боку, і вимогами щодо оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів в КС та М СП, з іншого.

Основною складністю при роботі з відео є великі обсяги інформації, що передається, і чутливість до затримок при передачі відеоінформації. Тому для усунення максимальної кількості надмірності при формуванні відеопослідовності використовується 3 типи кадрів: I, P та B, які формують групу кадрів. Для типового відеоряду невисокої складності, вага кожного P-кадру в потоці приблизно в три рази менше ваги I-кадру. Але при врахуванні кількості P-кадрів в групі саме вони вносять основний внесок в загальний обсяг відеоданих. Тому розглядається можливість модернізації методів кодування для P-кадрів на основі попередньої ідентифікації типу блоків з подальшим формуванням блокових кодових конструкцій.

Наукова проблема – підвищення якості відеоінформаційного сервісу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження проводилися відповідно до Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про Національну програму інформатизації»» від 04.10.2018 № 9166, Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2019-2023 роки від 28.12.2018 № 9457, планів наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, в рамках яких були виконані науково-дослідні роботи шифр

«Моніторинг», шифр «Око», шифр «Палітра», в яких здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Досягнення поставленої мети можливо при розв'язанні таких часткових завдань:

1. Аналіз методів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

2. Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді.

3. Розробка методу кодування прогнозованих кадрів з урахуванням управляючих механізмів.

4. Розробка методу обробки сегментів зображень на основі дворівневого зростання кодування векторів кортежів трансформанти.

5. Розробка методів обробки та перетворення відеопотоків динамічних зображень в комп'ютерних системах та мережах.

6. Розробка методу управління швидкістю передачі вихідних відеопотоків при обробці прогнозованих кадрів.

7. Оцінка ефективності розробленого методу управління інтенсивністю відеотрафіка.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Предметом дослідження є методи обробки відеоінформації на кінцевих вузлах комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Методи дослідження визначаються сукупністю розв'язуваних наукових завдань дослідження та здійснювалося з використанням:

- методів теорії кодування та цифрової обробки зображень для обґрунтування напряму підвищення якості надання відеоінформаційних

послуг з використанням комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення;

- методів теорії дослідження операцій для розробки методу управління бітовою швидкістю відеопотоку на основі його компактного представлення;

- методів системного аналізу для встановлення структурних зв'язків між змінними або елементами комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення;

- методів математичної статистики для оцінки адекватності теоретичних і практичних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано метод обробки відеопотоку на основі кодування прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, що дозволяє зменшити обсяг переданих даних в середньому в 3 рази.

2. Одержав подальшого розвитку метод формування компактного представлення сегментованих зображень, що відрізняється від відомих процесом побудови кодограм з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину кодограми та забезпечує компресію в режимі обмежених значень фактора втрати якості.

3. Одержав подальшого розвитку метод обробки кадрів відеопотоку на основі трансформування, що відрізняється від відомих компактним поданням трансформанти в результаті рекурентного дворівневого кодування, що дозволяє організувати реконструкцію зображень за зменшеною кількістю операцій та підвищити оперативність надання ВІС.

4. Вперше запропоновано метод компресії відеопотоку динамічних зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових, що дозволяє врахувати структурні особливості диференціального кадру та підвищити якість та повноту надання ВІС.

5. Удосконалено метод обробки динамічної складової диференційно-представлених кадрів, що відрізняється від відомих побудовою позиційних

чисел з адаптивним вибором значень основ та дозволяє збільшити ступінь компресії двійкової маски диференційно-представленого кадру та оперативність надання ВІС.

6. Удосконалено метод компактного представлення службових даних, що відрізняється від відомих застосуванням структурної подібності матриці показників знаків і матриці двійкової маски та дозволяє враховувати структурну подібність відео потоку та якість надання ВІС.

7. Вперше запропоновано метод представлення службових даних диференційно-представленого кадру, який дозволяє побудувати адаптивну систему управління бітовою швидкістю відеопотоку в комп'ютерних системах та мережах з низькою пропускнуою здатністю каналу для підвищення якості та повноти надання ВІС.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що програмна реалізація розроблених методів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення відносно існуючих технологій управління забезпечує: зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому від 18% до 40% відносно до стандарту MPEG; заданий рівень інтенсивності в процесі управління для більш високих показників якості, який визначається параметром PSNR, на рівні приблизно 35 дБ, що в середньому на 19% краще стандарту MPEG; зменшення ймовірності втрат пакетів в середньому від 5 до 7 разів у порівнянні зі стандартом MPEG.

Практична значимість отриманих результатів підтверджується впровадженням:

у військовій частині А1215 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 23.12.2019 року);

у Харківському регіональному структурному підрозділі «Украерорух» (акт впровадження дисертаційних досліджень від 13.07.2020 року);

у військовій частині А4608 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 17.07.2020 року).

Особистий внесок здобувача.

Наукові положення та результати, представлені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, особисто здобувачем отримане таке:

у статті [1] обґрунтовуються основні принципи побудови компактного представлення відеокадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у статті [2] проаналізовано сучасний стан інформаційних програм щодо попиту на відеоінформаційні ресурси, виявлені небезпечні ризики щодо взаємодії з відкритим і неконтрольованим зовнішнім інформаційним середовищем;

у статті [3] розроблено методи формування еталонних зображень для умов з високорозвиненою інфраструктурою, що призводить до формування нестационарного за структурою поточного зображення;

у статті [4] показано, що каскадна технологія диференційного маскування застосовується як засіб оперативного ухвалення рішень при надзвичайних ситуаціях для підвищення ефективності;

у статті [5] показано доцільність використання вдосконаленого методу кодування сегментованих зображень для зменшення обчислювальних навантажень на програмно-технічні комплекси та забезпечення вимог до ефективності та надійності даних;

у статті [6] розроблено вимоги до систем компресії відеоданих в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення з урахування управляючих механізмів;

у статті [7] розроблено метод управління часовими витратами вихідного відео потоку шляхом застосування адаптивної нормалізації компонент елементів відеоінформаційного ресурсу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у статті [8] удосконалено метод кодування і реконструкції прогнозованих кадрів шляхом використання блочного кодування, який має

більшу завадостійкість і менші бітові та часові витрати при обробці блоків даних;

у статті [9] розглянуто можливість модернізації методів обробки прогнозованих кадрів в процесі попереднього виявлення типів блоків з подальшим формуванням структур блокового коду, запропоновано спосіб формування довжини двійкового ряду без вказівки їх рівня;

у статті [10] проведено оцінку інформативності бітового подання двійкової маски диференційно-поданого кадру на основі врахування нерівнозначності основ довжин двійкового ряду;

у статті [11] розроблено метод обробки масивів диференційно-представлених кадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у статті [12] розроблено метод обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант, базується на ідентифікації та описі довжин одновимірних двійкових рядів;

у статті [13] запропоновано основні компоненти маскування видових зображень, сформульовано базові складові побудови диференційного подання відеоданих;

у статті [14] запропоновано метод обробки відеоінформації з необхідною оперативністю, якістю та повнотою надання відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у статті [15] представлена схема адаптивного селективного алгоритму обробки цифрових зображень на основі пошуку об'єктів інтересу. Використання адаптивного селективного алгоритму дозволить зберегти цінність (ексклюзивність) інформації не збільшувати (змінюючи) початковий об'єм, що дозволить залишити без змін (вихідний об'єм) та забезпечити необхідну оперативність передачі даних;

у статті [16] представлено швидкий метод кодування ознак рухомих об'єктів за допомогою використання методу центральних моментів

зображень на основі порівняння результатів розпізнавання кольорового зображення з попередньою обробкою і без неї;

у статті [17] наведено основні компоненти методологічної бази подання відеоінформаційних ресурсів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у статті [18] введено показник оцінки ефективності для побудови технології компактного представлення відеокадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

у монографії [19] визначені можливості комп'ютерних систем та мереж відносно надання відеоінформаційних сервісів;

у монографії [20] проведено аналіз комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення відносно надання відеоінформаційних сервісів;

у патенті [21] розроблено спосіб динамічного кодування та захисту інформаційного ресурсу в інфокомунікаційних системах, який вирішує задачу цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу та принципу оптимізації;

у патенті [22] введено правило відсікання неперспективних варіантів рішень по вибору максимального значення довжини шляху в графі за вагою функціоналу та мінімального значення довжини шляху в графі за вагою обмеження на основі принципу оптимізації за напрямком та сортування даних по убутанню значень відношень коефіцієнтів в функціоналі.

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження апробовані на 23 наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях: CriMiCo 2013 - 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings, 2013 Sevastopol, Crimea; Ukraine [37], 12th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013; Lviv; Ukraine [38], Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th

anniversary of Lviv Polytechnic National University Lviv-Slavske, Ukraine [39], International Conference TCSET'2015 [Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science] (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University [40], International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015) [41], 1st International Conference [«Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)»], (Lviv, Ukraine) [42], IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTTS 2016; Yerevan; Armenia) [43], 2th International Conference [IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT)], 2017) [44], 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018; Lviv-Slavske; Ukraine) [48], 9-й – 16-й наукових конференціях "Новітні технології – для захисту повітряного простору" (Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, 2013-2020 рік) [62, 182, 185, 186, 189, 192, 195], Proceedings 2020 IEEE 11 th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. DESSERT 2020) [71], 2-а міжнародна науково-практична конференція, (Кропивницький, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2020 рік) [73], Науково-практична конференція. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем 10-11 березня 2016. К.: КНУ ім. Т. Шевченко) [193], 2 Міжнародна науково-практична конференція. 24-27 лютого 2016. Київ. Європейський університет) [194]; НІСТ 2019 Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях» 23-25 травня 2019 р. – Харків – Кам'янець-Подільський) [196], 7-а міжнародна науково-технічна конференція, (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 13 – 15 листопада 2019 р.)) [197].

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 22 науковій праці (у тому числі 16 – у наукових фахових виданнях України, що відповідають переліку, затвердженому Міністерством освіти і науки України, 2 у виданнях, що індексуються міжнародною базою даних Scopus (з них 1 у

виданні віднесеному до другого квартилю Q2, що прирівнюється до трьох публікацій), 2 колективні монографії), 2 патентах на корисні моделі та способи, 30 збірниках матеріалів наукових конференцій та симпозиумів (з них 5 у виданнях, що індексуються міжнародною базою даних Scopus).

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація містить титульний аркуш, анотацію, зміст, перелік умовних позначень, основну частину, список використаних джерел і три додатки. Основна частина складається зі вступу, семи розділів та висновків. Повний обсяг дисертації містить 373 сторінки, у тому числі 274 сторінки основного тексту, 43 рисунки (на 37 сторінках), таблиць 16 (на 18 сторінках), 15 сторінок анотації, 1 сторінка титульного аркушу, 4 сторінок змісту, 2 сторінки переліку умовних позначень, 31 сторінка списку використаних джерел (274 найменування), 27 сторінок додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вибухоподібне зростанням трафіку і потреби споживачів у появі нових телекомунікаційних послуг призводить до постійної зміни та модернізації комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Найбільш затребуваними в останні роки стають відеоінформаційні послуги – відеотелефонія, відеоконференцзв'язок, трансляція програм телебачення, відео “за запитом”, тощо. Особливістю відеотрафіка є великі обсяги передаваних даних, чутливість до часу затримки і втрат пакетів при передачі по каналу зв'язку. З урахуванням наведених вимог особливу увагу необхідно приділяти якості надаваних сервісів, що в комп'ютерних системах та мережах забезпечується за допомогою сервісу QoS. Однак його можна застосовувати тільки з позицій підстроювання параметрів транспортної мережі під задану категорію якості переданого трафіку, що може призводити до помилок або втрат передаваних даних.

Тому для підвищення якості відеоінформаційного сервісу необхідно також здійснювати контроль за умовами відповідності бітової швидкості джерела відносно пропускної спроможності каналу зв'язку. Найбільш перспективними методами зниження інтенсивності є спеціальні механізми управління параметрами обробки відеокадрів, які дозволяють гнучко підстроювати бітову швидкість джерела під поточні параметри комп'ютерної мережі.

1.1 Аналіз комп'ютерних систем та мереж щодо надання відеоінформаційних сервісів

Розвиток комп'ютерних систем та мереж визначається трьома факторами: ростом трафіку, потребою суспільства в нових послугах і досягненнями в області технологій. Зрозуміло, ці фактори не є незалежними, проте кожен з них визначає ідеологію розвитку комп'ютерних мереж. Так, конкуренція серед постачальників устаткування і технологічні досягнення циклічно призводять до зниження вартості обладнання, що, в свою чергу, стимулює зростання трафіку і розробку нових послуг.

Здобутки зарубіжних та вітчизняних вчених щодо надання відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз досліджень щодо надання відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Науковець	Напрямки досліджень	Науковий результат	Невирішене	Відмінності
Д. Бертсекас	Оптимальне управління даними в мережі	Комплексно вирішуються алгоритмічні питання збіжності навколо збільшених лагранжевих та квадратичного програмування послідовних методів	Зв'язок між теорією множників Лагранжа та негладким аналізом і комплексним розвитком додаткових субградієнтних показників	Оброблено відеопотік на основі кодування прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення
Д. Катабі	Інноваційні мобільні та бездротові технології	Підвищення ефективності мереж бездротового доступу стандарту IEEE 802.11	Розрахунок тривалості передачі початкового кадру	Побудовані кодограми з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину

Продовження таблиці 1.1				
Е. Таненбаум	Розробка комп'ютерних систем	Розробник комп'ютерних систем	Багаторівнева організація комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення	Розроблено метод компактного подання трансформанти в результаті рекурентного дворівневого кодування
В. Рудницький	Розробка математичних методів захисту інформації та алгоритмів їх реалізації на основі операцій криптографічного кодування	Створено програмні системи та засоби обчислювальної техніки з необхідними рівнями надійності та захищеності	Паралельна реалізація задач дискретної оптимізації	Розроблено метод роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових диференційного кадру
С. Семенов	Захист інформації в комп'ютерних системах і мережах	Розроблені методи та засоби розподілу доступу і захисту даних в комп'ютерних системах і мережах	Система управління якістю в комп'ютерних системах і мережах	Побудовані позиційні числа з адаптивним вибором значень основ
В. Бараннік	Обробка інформації в телекомунікаційних системах	Розроблені методи стиску зображень в телекомунікаційних системах	Мінімізація впливу помилок, внесених на етапі стиснення	Побудована система управління бітовою швидкістю відеопотоку в комп'ютерних системах та мережах з низькою пропускну здатністю каналу

Таким чином, проблема вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації для систем спеціального призначення остаточно не вирішена.

Комп'ютерна система, як показано на рисунку 1.1, в загальному випадку включає такі компоненти [11, 97 – 100, 133 – 135]:

- транспортна мережа (core network) – об'єднує окремі мережі доступу, забезпечуючи транзит трафіку між ними по високошвидкісним каналам;
- інформаційні центри або центри управління сервісами (data centers) – це власні інформаційні ресурси мережі, на основі яких здійснюється обслуговування користувачів;
- мережа доступу (access network) – призначена для концентрації інформаційних потоків, що надходять по численних каналах зв'язку від обладнання користувачів в сторону вузлів транспортної мережі;
- абоненти мережі доступу є споживачами інформації та її джерелами. Вони створюють навантаження на мережу доступу, відсилаючи запити на надання тих чи інших послуг, а також є активними учасниками джерела для пірінгових мереж (torrent, skype, direct connection та ін.).

Мережа доступу являє собою нижній рівень ієрархії комп'ютерної мережі. У таблиці 1.2 наведено порівняльний аналіз сучасних технологій абонентського доступу.

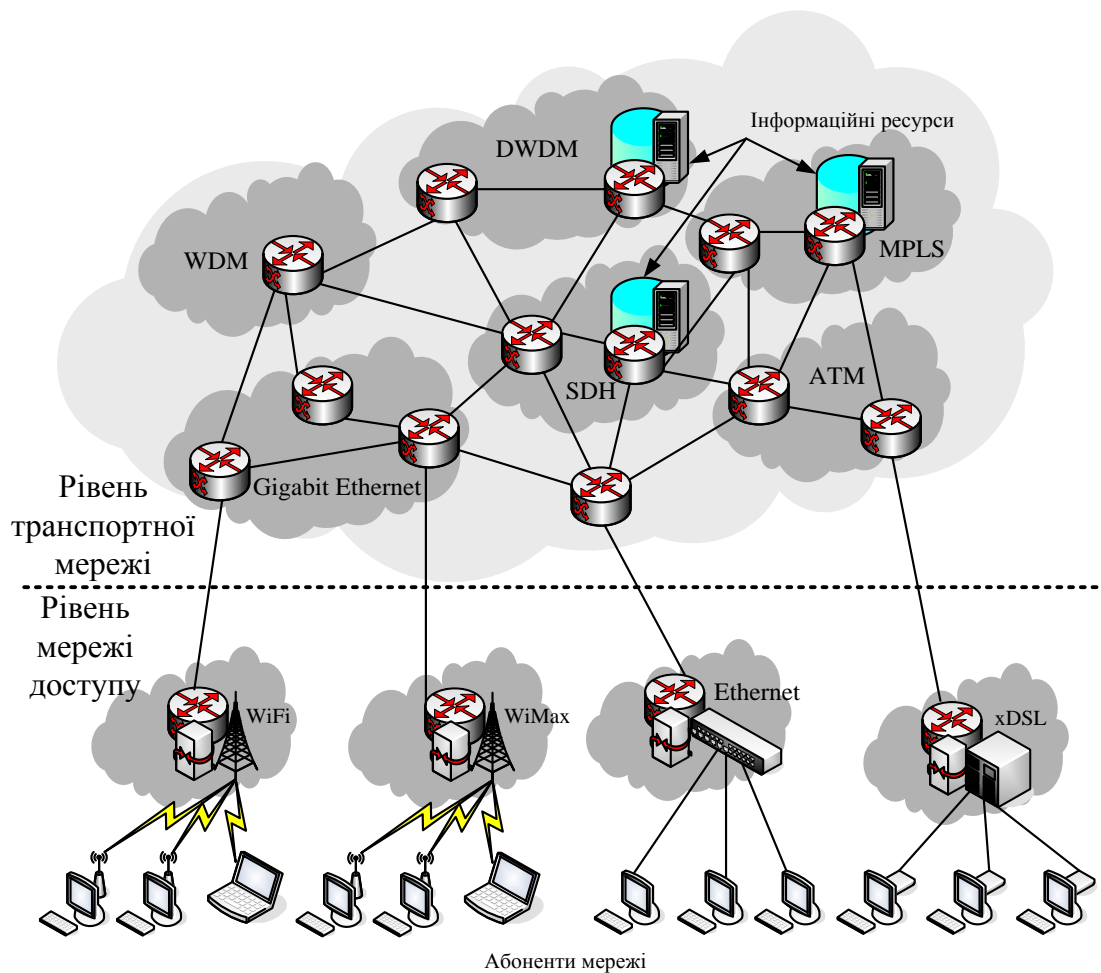


Рисунок 1.1 – Загальна структура комп'ютерної мережі

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз сучасних технологій абонентського доступу

Характеристики для порівняння	Технології абонентського доступу			
	xDSL (ADSL2+)	Ethernet (FastEthernet)	WiFi (802.11n)	WiMax (802.16d)
Швидкість передачі, Мбіт / с	24 Мбіт / с upstream 1,4 Мбіт / с downstream	100 Мбіт / с	150 Мбіт / с	75 Мбіт / с
Використання	POTS / ISDN	LAN / WLAN	WLAN	WMAN
Радіус / дальність дії	900 м	100-150 м	100-3500 м	6-13 км
Вид доступу	кабель	кабель	бездротовий	бездротовий

Серед представників технологій xDSL слід виділити дві: асиметричні і симетричні, що володіють високими пропускними спроможностями. Серед асиметричних технологій виділяють VDSL і ADSL, які забезпечують довжину лінії до 1,3 км, а серед симетричних технологій виділяють SDSL і HDSL, які організовують передачу на відстані до 4,5 км.

У теперешній час серед мереж абонентського доступу агресивно розвивається напрямок технологій бездротового зв'язку. Розвиток бездротових систем зв'язку, їх можливостей і набору послуг, що надаються, та сервісів відносять до різних поколінь. Порівняльна характеристика за швидкістю передачі наведена на рисунку 1.2.

Швидкість передачі, кбіт/с

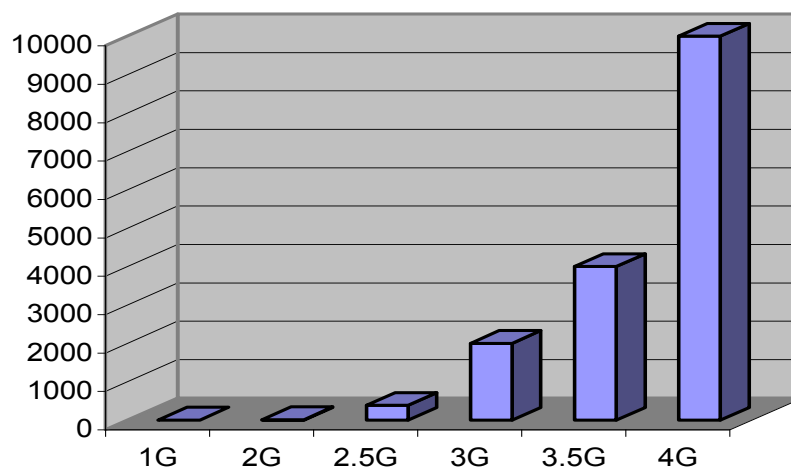


Рисунок 1.2 – Порівняльна характеристика поколінь технологій бездротового зв'язку за швидкістю передачі

Технології WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) та LTE (Long-Term Evolution) використовують нові ефективні схеми мультиплексування – множинний доступ з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDMA – Orthogonal Frequency-Division Multiple Acces), та в них обох відсутній канал для передачі голосу.

Виходячи із різноманіття технологій, як мереж доступу, так і транспортних мереж, актуальним є створення відкритої, стандартної пакетної

інфраструктури, яка здатна ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків та послуг, забезпечувати необхідну масштабованість і гнучкість, також дозволяють реагувати на нові вимоги за функціональністю та пропускну спроможністю. Такою інфраструктурою є мережі наступного покоління – NGN (Next Generation Network). Вони являють собою комплексну мультисервісну мережу зв'язку, ядром якої є опорна IP-мережа, що підтримує повну або часткову інтеграцію послуг передачі мови, даних і мультимедіа. Реалізується принцип конвергенції послуг електрозв'язку з відкритою стандартною пакетною інфраструктурою, яка здатна ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків та послуг.

Постійне зростання і розвиток комп'ютерних мереж СП дозволяє операторам найбільш ефективно використовувати пропускні спроможності каналів зв'язку, вводити більшу кількість нових послуг, покращуючи при цьому їх якість. У сфері надання комп'ютерних послуг також спостерігається активне зростання і в бездротових мережах доступу. Тому необхідно провести аналіз характеристик передаваного трафіку і можливості надання доступу користувачам до різних класів послуг та додатків [45, 175].

1.2 Аналіз вимог до відеододатків у сучасних комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Як основні критерії класифікації трафіку прийняті три характеристики [40, 101 – 103]: відносна передбачуваність швидкості передачі даних, чутливість трафіку до затримок пакетів та чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів (рис. 1.3).

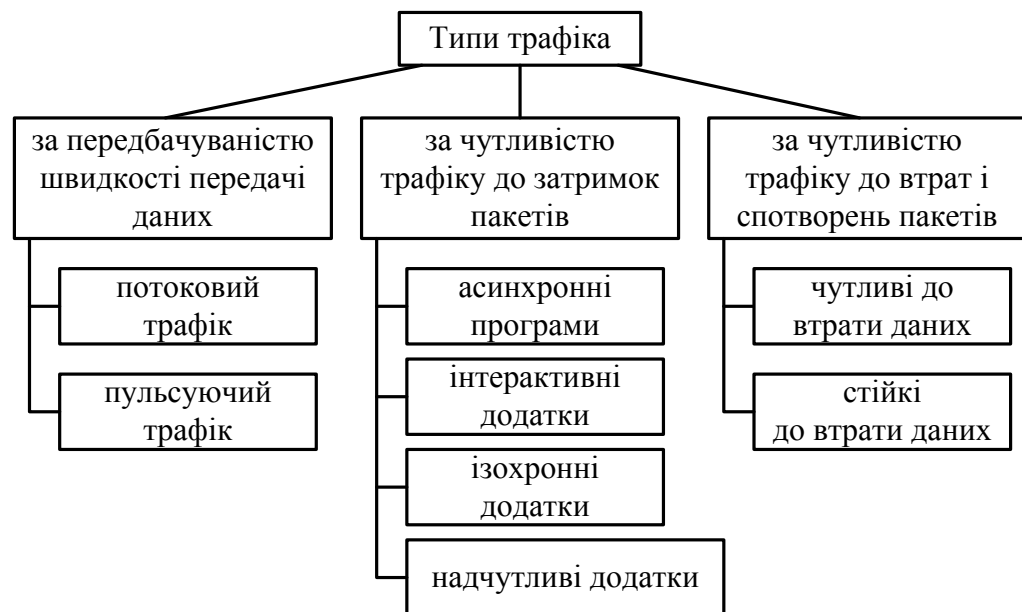


Рисунок 1.3 – Класифікація типів мережевого трафіку

Незважаючи на відмінності існуючих додатків і протоколів управління трафіком, в кожному з них окремим пунктом виділяють мультимедійний трафік. Його особливістю є чутливість до часових затримок, а в деяких випадках – чутливість до втрат пакетів і великий обсяг переданих даних.

Під мультимедійним трафіком розуміється цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, які сприймаються органами сприйняття людини (зазвичай звукова та / або відеоінформація). Мультимедійні потоки даних передаються по комп'ютерній мережі з метою надання віддалених інтерактивних послуг [47, 104, 167]. Найбільш поширеними на сьогоднішній день мультимедійними послугами, які надаються користувачам мережі, є:

- IP-телефонія;
- високоякісний звук;
- відеотелефонія;
- відеоконференція;
- дистанційне медичне обслуговування;
- відеомоніторинг;
- мовлення радіо і телевізійних програм;
- цифрове телебачення.

Трафік фіксованих мереж зростає з високою і постійною швидкістю з початку 1980-х років. Так, світовий трафік Інтернет ріс в світі в останні роки на 60 – 80% щорічно, а кількість абонентів широкосмугових мереж збільшувалася з середньою швидкістю 60%. Стабільно, темпом 42 - 43% на рік, розвивається за останні чотири роки і мережева галузь. Аналогічна ситуація і з темпами розвитку мобільного зв'язку. З 2003 р кількість абонентів стільникових мереж збільшилася в 2 рази, ще швидше (180% на рік) ріс трафік Інтернет.

За прогнозами Cisco щодо розвитку всесвітньої мережі на 2017 – 2022 р.р., опублікованими в «Visual Networking Index Global Forecast», збільшення числа інтернет-користувачів, зростання кількості інтернет-пристроїв і швидкостей широкосмугового доступу в поєднанні зі збільшенням кількості переглядів відео в мережі призведе до масивного сплеску обсягів IP трафіку (рис. 1.4).

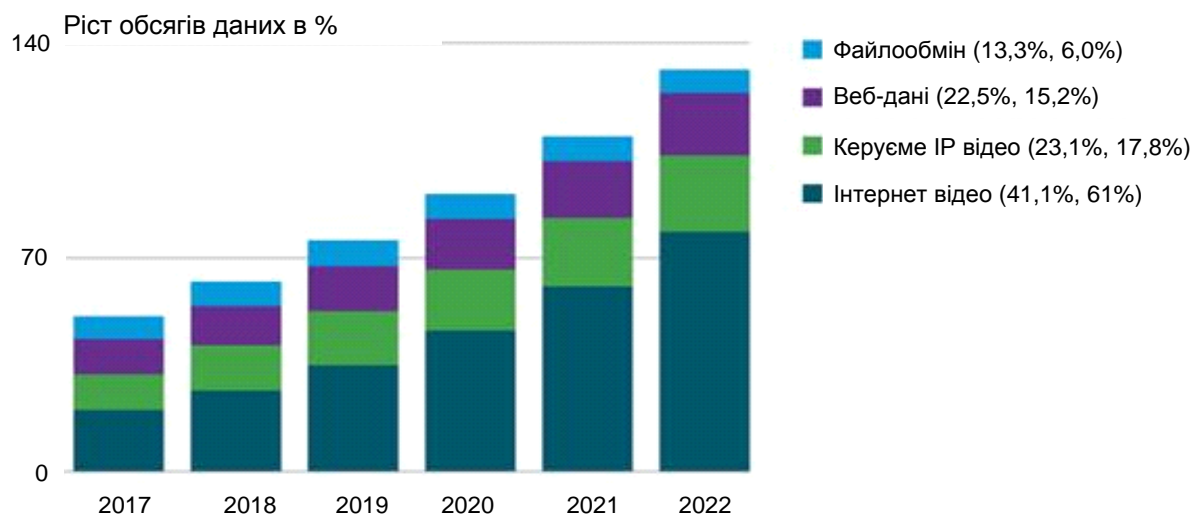


Рисунок 1.4 – Процентне співвідношення різних видів відеотрафіка в IP-мережах для 2017-2022 рр.

Експерти компанії також стверджують, що в найближчі кілька років відео у форматі високої чіткості буде генерувати більшу кількість трафіку, ніж відео стандартного розрізнення, значна частина трафіку буде виходити

від пристроїв, які не є персональними комп'ютерами, а WiFi трафік вперше перевищить трафік у порівнянні з проводовими мережами.

Відсотки, зазначені в дужках поруч з типом трафіку (див. рис. 1.4), позначають частки даних видів трафіку в 2017 і 2022 роках відповідно.

До 2022 року, як прогнозують в Cisco, 79% всього інтернет-трафіку буде створювати передача відео через IP, в той час як в 2017 р обсяги такого трафіку становили 66%.

Частка відео в форматі Ultra HD до 2022 року складе приблизно 11% всього обсягу передачі відео через IP, в той час як в 2017 році вона становила лише 0,1%. У той же час частка HD відео складе до 2022 року 52%, а SD відео – близько 37%. Для порівняння – в минулому році частка HD відео складала 36%, а частка SD відео – 64%.

Сфері онлайн-відео також пророкують статус найбільш динамічного сегмента інтернету з річним зростанням доходу на рівні 10% в період з 2017 по 2022 р. За цей період сектор виросте за прогнозами з 1,2 мільярда користувачів до 1,9 мільярда користувачів.

Для надання послуг відеозв'язку важливим аспектом є показник швидкості передачі в обох напрямках. На рис. 1.5 наведені характеристики залежності мінімальної та рекомендованої швидкості з'єднання від виду відеопослуг для провайдерів голосових і відео послуг Skype.

Очевидно, що тенденції зростання пропускної спроможності каналів комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення призводять до збільшення можливостей з надання відеоінформаційних послуг, підвищуючи при цьому попит на них, так як дані послуги в даний момент є найбільш затребуваними.

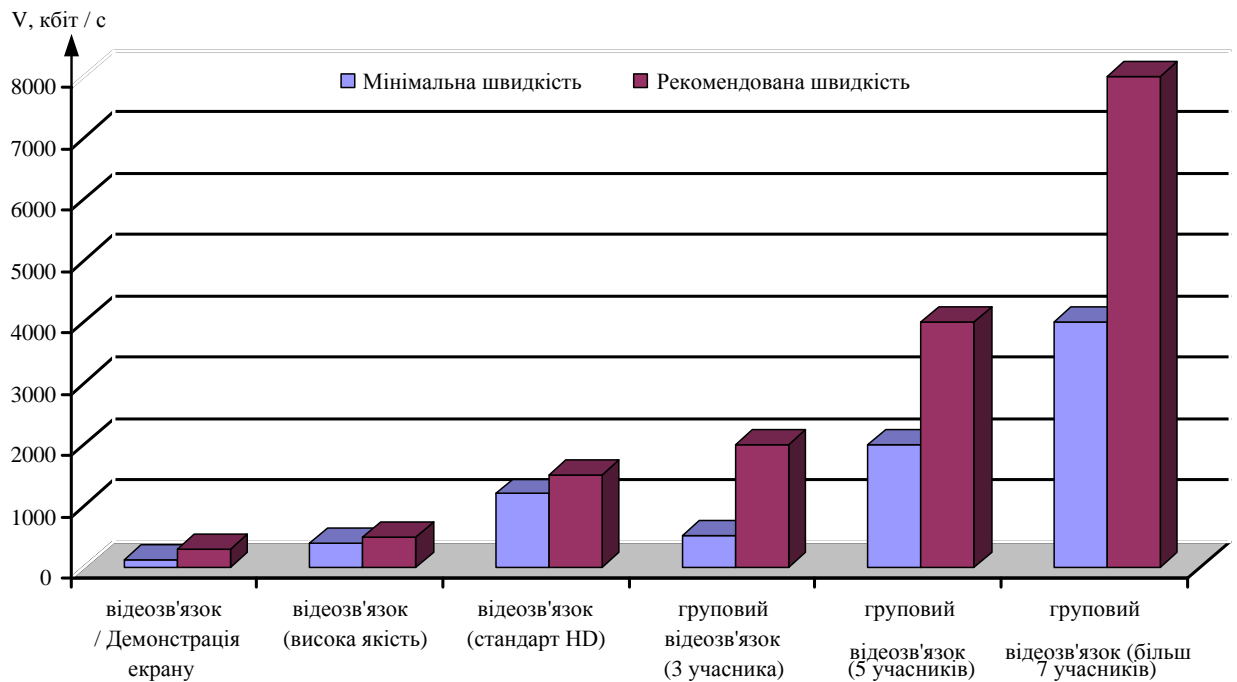


Рисунок 1.5 – Характеристики залежності мінімальної та рекомендованої швидкості з'єднання для різних відеослужб

Виходячи з вимог, що пред'являються мультимедійними службами до параметрів комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення, необхідно ввести сервіс забезпечення якості обслуговування (QoS англ. Quality of Service), який дозволить контролювати дотримання заданих вимог на всіх ділянках функціонування комп'ютерної мережі.

Необхідна якість послуг забезпечується такими механізмами контролю трафіку: QoS, NBAR (Network Based Application Recognition), RSVP, стандарт IEEE 802.1Q та стандарт IEEE802.1D, що використовуються у певних мережах та мають як переваги, так і недоліки. Тому існує загальний механізм контролю трафіку, за допомогою якого можливий контроль якості при будь-якій технології передачі – QoS.

Якість обслуговування QoS можна визначити як сукупність характеристик послуг зв'язку, по відношенню до його можливості задовольняти встановлені і прогнозовані потреби користувача послуги.

Для більшості випадків якість зв'язку визначається чотирма параметрами [12, 13, 106 – 111]:

- смуга пропускання S_k (Bandwidth), описує номінальну пропускну спроможність середовища передачі інформації, визначає ширину каналу, вимірюється в bit / s (bps), kbit / s (Kbps), Mbit / s (Mbps), Gbit / s (Gbps);
- затримка при передачі пакета T_p (Delay), вимірюється в мілісекундах;
- коливання J (тремтіння) затримки під час передачі пакетів – джиттер;
- втрата пакетів P_{PLR} (Packet loss), визначає кількість пакетів, втрачених в мережі під час передачі.

У таблиці 1.3 наведено аналіз чутливості різних додатків до мережевих характеристик.

У разі передачі відеотрафіка у часі близькому до реального в першу чергу необхідно забезпечувати мінімальну затримку при передачі пакетів, що висуває значні вимоги до характеристик як мережі передачі даних, так і до обладнання кінцевих вузлів, на яких відбувається обробка відеопотоку.

Норми на показники функціонування мереж зв'язку передачі даних наведено у таблиці 1.4 з диференціацією за типом передаваного трафіку.

Для простоти розуміння канал зв'язку можна представити у вигляді умовної труби [14, 112, 113], а пропускну спроможність описати як функцію двох параметрів: діаметра труби та її довжини.

Для розв'язання проблеми «пляшкового горлечка» для прийому і відправки пакетів на маршрутизаторах, зазвичай використовують метод FIFO – перший прийшов – перший пішов (First In – First Out). При інтенсивному трафіку це створює затори, які вирішуються вкрай просто: всі пакети, які не ввійшли до буфер черги FIFO (на вхід або на вихід), ігноруються маршрутизатором і, відповідно, губляться безповоротно.

Таблиця 1.3 – Чутливість різних додатків до мережевих характеристик

Тип трафіку	Рівень чутливості до мережевих характеристик			
	Смуга пропускання	Втрати	Затримка	Джиттер
Голос	дуже низький	середній	високий	високий
Електронна комерція	низький	високий	високий	низький
Транзакції	низький	високий	високий	низький
Електронна пошта	низький	високий	низький	низький
Telnet	низький	високий	середній	низький
Пошук в мережі "від випадку до випадку"	низький	середній	середній	низький
Постійний пошук в мережі	середній	високий	високий	низький
Пересилання файлів	високий	середній	низький	низький
Відео конференція	високий	середній	високий	високий
Мультикастинг	високий	високий	високий	високий

Таблиця 1.4 – Технічні норми на показники функціонування мереж передачі даних

№	Найменування показника	Тип трафіка				
		Інтерактивний	Інтерактивний при використанні супутникової лінії зв'язку	Сигнальний	Потоковий	Трафік передачі даних, за винятком інтерактивного, сигнального і потокового трафіку
1	Середня затримка передачі пакетів інформації, мс	не більше 100	не більше 400	не більше 100	не більше 400	не більше 1000
2	Відхилення від середнього значення затримки передачі пакетів інформації, мс	не більше 50	не більше 50	не нормується	не більше 50	не нормується
3	Коефіцієнт втрати пакетів інформації	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}
4	Коефіцієнт помилок в пакетах інформації	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}

Уникнути цього можна, використовуючи «розумну» чергу, в якій пріоритет у пакеті даних, який вже несе мітку типу сервісу, залежить від типу сервісу – ToS (англ. Type of Service).

Сервіси QoS можуть бути представлені такими моделями обслуговування:

- негарантована доставка – Best Effort Service;
- інтегрований сервіс – Integrated Service (IntServ), який забезпечує наскрізну (End-to-End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність;
- диференційоване обслуговування – Differentiated Service (DiffServ) забезпечує QoS на основі розподілу ресурсів в ядрі мережі і певних класифікаторів та обмежень на кордоні мережі, комбінованих з метою надання необхідних послуг.

DiffServ є найбільш підходящим прикладом «інтелектуального» управління пріоритетом трафіку відеододатків реального часу.

У комп'ютерних мережах питання реалізації QoS лежать у площині управління ресурсами мереж [15, 114, 176].

Для регулювання відносин між учасниками, ресурси мереж яких задіяні при наданні послуг, для забезпечення заданих параметрів якості обслуговування при міжоператорській взаємодії, служить Угода про рівень обслуговування (Service Level Agreement – SLA), і, у виняткових випадках – Угода про рівень експлуатаційної підтримки (OLA) як механізм забезпечення якості відповідно до SLA:

- SLA визначає показники якості кожної послуги і встановлює норми на них;
- OLA визначає відповідальність служб технічної експлуатації за стійкість функціонування мережі, що забезпечує, в кінцевому рахунку, якість послуг зв'язку, яке визначається в SLA.

На рисунку 1.6 наведена архітектурна модель, яка характеризує необхідні компоненти і елементи для підтримки якості обслуговування та зв'язки між ними.

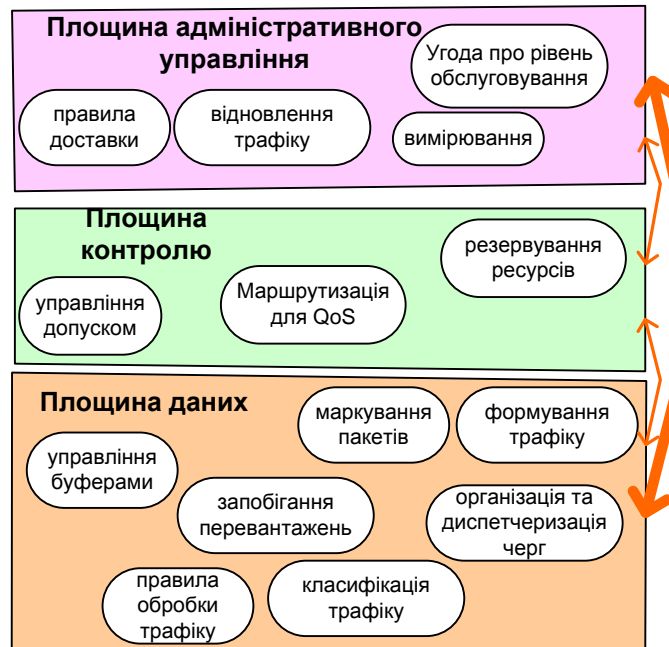


Рисунок 1.6 – Архітектурна модель для підтримки якості обслуговування

Площина адміністративного управління містить механізми QoS, що мають відношення до експлуатації, адміністрування та управління мережею стосовно доставки призначеного для користувача трафіку. До механізмів QoS на цій площині входять:

- вимірювання (Metering);
- задані правила доставки (Policy);
- відновлення трафіку (Traffic restoration);
- Угода про рівень обслуговування (Service Level Agreement).

Мережеві механізми QoS (блоки QoS) можуть бути специфіковані стосовно до мережевих вузлів (наприклад, управління буферами вузлів) або до мережевих сегментів (маршрутизація QoS), де поняття "мережевий сегмент" може відноситися до міжкінцевого з'єднання, ділянки доступу, міжвузлових ділянок або ділянки, що з'єднує дві та більше мереж.

Розглянемо механізми QoS у площині даних. Ця група механізмів оперує безпосередньо з призначеним для користувача трафіком і містить:

- управління буферами (Buffer management);
- запобігання перевантажень (Congestion avoidance);
- маркування пакетів (Packet marking);
- організація і диспетчеризація черг (Queuing and scheduling);
- формування трафіку (Traffic shaping);
- правила обробки трафіку (Traffic policing);
- класифікація трафіку (Traffic classification).

Управління буферами (Buffer management) або чергами складається в управлінні пакетами, що стоять у вузлах у черзі на передачу, з метою мінімізації середньої довжини черги при одночасному забезпеченні високого використання каналу та справедливого розподілу буферного простору між різними потоками даних. Схеми управління чергами розрізняються, в основному, критерієм, за яким відкидаються пакети, і місцем (початок або кінець) у черзі, звідки здійснюється скидання пакетів. Найпростішим критерієм для скидання пакетів є досягнення чергою так званої максимальної довжини черги.

При використанні так званих механізмів активного управління чергами, наприклад, алгоритму RED (Random Early Detection – раннє випадкове виявлення перевантаження), пакети, які надходять до буферу, скидаються на підставі оцінки середньої довжини черги. Імовірність скидання пакетів зростає з ростом середньої довжини черги.

Запобігання перевантажень (Congestion avoidance). Механізми запобігання перевантажень підтримують рівень навантаження в мережі нижче її пропускнуої спроможності. Звичайний спосіб запобігання перевантажень полягає в зменшенні трафіку, що надходить до мережі. Як правило, команда зменшити трафік впливає, в першу чергу, на фонові джерела. Одним із прикладів механізмів запобігання перевантажень є механізм «вікна» в протоколі TCP.

Маркування пакетів (Packet marking). Пакети можуть бути промарковані відповідно до певного класу обслуговування. Маркування зазвичай проводиться у вхідному прикордонному вузлі, де в спеціальне поле заголовка (Type of Service в заголовку IP або DS-байт в заголовку DiffServ) вводиться певне значення. Крім того, маркування застосовується для тих пакетів, які можуть бути видалені в разі перевантаження мережі.

Організація і планування черг (Queuing and scheduling) має на меті вибір пакетів для передачі з буфера до каналу. Більшість дисциплін обслуговування (або планувальників) засновані на схемі "перший прийшов – перший обслуговується". Для забезпечення більш гнучких процедур виведення пакетів з черги був запропонований ряд схем, заснованих на формуванні кількох черг, наприклад, схеми пріоритетного обслуговування; механізм зваженої справедливої буферизації (Weighted Fair Queuing, WFQ), коли обмежена пропускна спроможність на виході вузла розподіляється між декількома потоками (чергами) залежно від вимог до пропускної спроможності з боку кожного потоку; класифікація потоків за класом обслуговування (Class-Based Queuing, CBQ), коли потоки класифікуються відповідно до класів обслуговування і потім розміщуються в буфері в різних чергах. Кожній черзі виділяється певний відсоток вихідної пропускної спроможності залежно від класу, і черги обслуговуються за циклічною схемою.

Формування трафіку (Traffic shaping) або управління характеристиками трафіку передбачає контроль швидкості передачі пакетів і обсягів потоків, що надходять на вхід мережі. В результаті проходження через спеціальні буфери зменшується вихідний трафік, і його характеристики стають більш передбачуваними. Відомі два механізми обробки трафіку – Leaky Bucket ("диряве відро") і Token Bucket ("відро з жетонами"). Алгоритм Leaky Bucket регулює швидкість пакетів, які покидають вузол. Незалежно від швидкості вхідного потоку, швидкість на виході вузла є величиною постійною. Коли відро переповнюється, зайві пакети скидаються.

На противагу цьому, алгоритм Token Bucket не регулює швидкість на виході вузла і не скидає пакети. Швидкість пакетів на виході вузла може бути такою ж, як і на вході, якщо тільки у відповідному накопичувачі («відрі») є жетони. Жетони генеруються з певною швидкістю і накопичуються у відрі. Алгоритм характеризується двома параметрами – швидкістю генерації жетонів і розміром пам'яті («відра») для них. Пакети не можуть покинути вузол, якщо у відрі немає жетонів. І навпаки, відразу пачка пакетів може покинути вузол, витративши відповідну кількість жетонів.

Правила обробки трафіку (Traffic policing) дозволяють приймати рішення про те, чи відповідає трафік, що надходить від одного транзитного вузла до іншого, заздалегідь узгодженим правилам обробки або контрактам. Зазвичай невідповідні пакети відкидаються. Відправники можуть бути повідомлені про відкинуті пакети та виявлені причини, а також про дотримання відповідності в майбутньому, обумовленій угодами SLA.

Класифікація трафіку (Traffic classification) може бути проведена на потоковому або пакетному рівні. На вході в мережу у вузлі доступу (прикордонному маршрутизаторі) виділяються пакети одного потоку, які характеризуються загальними вимогами до якості обслуговування. Потім трафік піддається процедурі нормування (механізм Traffic Conditioning), що передбачає вимірювання параметрів трафіку і порівняння результатів вимірювань з параметрами, обумовленими в SLA. Якщо умови SLA порушуються, то частина пакетів може бути відкинута. Магістральні маршрутизатори, що становлять ядро мережі, забезпечують пересилання пакетів відповідно до необхідного рівня QoS.

1.3 Обґрунтування вимог до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Затримки при обробці та передачі інформації відеоконтролю призводять до затримки обробки ресурсу не тільки в звичайних умовах, але й при надзвичайних та кризисних ситуаціях. Затримка в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення в середньому складає 10-15%. Додатково це є причиною несвоєчасного виконання завдань з управління та великих затримок при оцінці обстановки і прийняття рішень.

Отже, методи з втратою якості забезпечують більший рівень компресії, ніж методи без втрати якості. Але в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення необхідно використовувати обидва типи методів для обробки та передачі відеоінформації. Це пояснюється такими причинами:

1) для деяких практичних завдань управління методи з втратою якості, засновані на скороченні психовізуальної надмірності, не можуть гарантовано забезпечити високу якість зображень;

2) методи без втрати якості в різних форматах зображень (TIFF, GIF, BMP, ART і т.п.) характеризуються збільшенням обробленого обсягу для реалістичних зображень, сильнонасичених дрібними деталями;

3) методи компресії з втратою якості мають в десятки разів більший час кодування даних, ніж методи без втрати якості, що в загальному випадку призводить до збільшення сумарного часу на обробку та передачу даних;

4) розроблена група методів, спрямованих в основному на компресію кольорних координат. Але ж масиви довжин серій передаються без додаткового кодування, що знижує ступінь стиснення зображень і збільшує час передачі у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

5) у багатьох комплексних методах компресії з підсистемою обробки службової інформації додаткове збільшення коефіцієнта компресії потребує додаткової обробки довжини серій.

У той самий час існуючі методи без втрати якості не забезпечують передачу зображень в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення у часі близькому до реального. Це обумовлено такими недоліками методів довжин серій і методу LZW:

1) не врахування наявності стаціонарних фонових областей;

2) для динамічної складової:

- зменшення кількості найпростішої структурної намірності (зміна довжини серій однакових елементів) для реалістичних зображень, а отже, зниження ефективності методів RLE та LZW;

- наявністю проблеми обробки кольірних координат серій однакових зображень.

Аналіз відомих методів компресії показав, що для обробки зображень в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення необхідно використовувати методи без втрати якості [16, 115 – 117, 177]. Разом з тим дані методи не дозволяють обробляти та передавати відеодані в часі, близькому до реального.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. Зниження сумарного часу обробки та передачі інформації T_{var} за допомогою методів компресії без втрати якості, можна за рахунок їх подальшого вдосконалення [17, 118 – 120]. Основними шляхами вдосконалення відомих методів компресії є:

- урахування наявності стаціонарного фону зображень при обробці шляхом виявлення компенсації руху та використання тривимірного дискретного косинусного перетворення, що ускладнює обчислювальний процес обробки інформації;

- виключення внутрішньокадрової надмірності шляхом:

- а) кодування довжин серій, що, з одного боку, підвищує ефективність виявлення структурних закономірностей, а з іншого, різко знижує ефективність кодування довжин серій при обробці багатоградацийних даних з високою ймовірністю наявності перепаду яскравості;

- б) скорочення структурної та статистичної надмірності в результаті компресії зображень методами КДС і LZW, що несуттєво впливає на ступінь компресії;

- в) невеликих спотворень в значеннях довжин серій, що призводять до часткового або повного руйнування зображення об'єктів;

- г) обмеженості використання для компресії довжин серій існуючих методів, заснованих на скороченні психовізуальної надмірності, що несуть основну інформацію про форми та розміри об'єктів зображення;

- д) підвищення ефективності методів LZW, пов'язаного з додатковим збільшенням кількості операцій на кодування, що витрачаються на:

- обчислення статистичних характеристик елементів зображень у кожному "ковзному вікні";

- збільшення часу пошуку елементів зображення великого розміру у вікні.

2. Подання довжин серій нерівномірними кодами незначно, приблизно у 1,5 рази, збільшує ступінь компресії, але ускладнює практичну реалізацію методу обробки:

- необхідна додаткова кількість операцій для обчислення статистичних характеристик кожного блоку;
- необхідно передавати дані про статистичні характеристики;
- неможливість відновлення всіх повідомлень при помилці в кодовому слові.

Отже, використання методів, що виключають ймовірнісно-статистичну та психовізуальну надмірність, для додаткового підвищення ефективності методів без втрати якості в процесі внутрішньокадрової обробки недоцільно.

3. Подальше збільшення коефіцієнта компресії в процесі обробки зображень стаціонарного фону на основі виявлення стаціонарної складової кадру $I_{ст}$ дозволить:

- виявити область стаціонарності щодо попереднього кадру;
- сформуванню бінарну маску динамічних областей i , тим самим, забезпечити потенціал для скорочення структурної надмірності в результаті виявлення довжин двійкових серій;
- скоротити розмірність масиву, який містить елементи динамічних об'єктів.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [40, 45, 47, 167, 175, 176, 177].

РОЗДІЛ 2

ПОСТАНОВКА НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

У розділі запропонована концепція з формування технологічного подання динамічних зображень стаціонарного фону. Визначено, що диференційне подання кадру з використанням порогу фільтрації дозволяє виявити області стаціонарного фону та області, які містять динамічні об'єкти. Обґрунтовано головні принципи побудови технології компактного подання відеокадрів, представлених в диференціальному вигляді.

В кінці розділу робиться висновок про актуальність питань вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, здійснюється постановка науково-технічної проблеми.

2.1 Технічний опис диференційного подання кадру з використанням порогу фільтрації

Кадр диференційного подання формується на основі поточного та попереднього кадрів в умовах стаціонарного подання відеоінформації:

$$e_{i,j}^{(\xi+1)} = a_{i,j}^{(\xi)} - a_{i,j}^{(\xi+1)},$$

де $e_{i,j}^{(\xi+1)}$ – (i; j) -ий елемент поточного диференційно-поданого кадру;

$a_{i,j}^{(\xi)}$ – (i; j) -ий елемент попереднього кадру;

$a_{i,j}^{(\xi+1)}$ – (i; j) -ий елемент поточного кадру в відеопослідовності.

Формат диференційно-поданого кадру дозволяє виділити дві складові, які описують стаціонарний фон і динамічні об'єкти. Для отримання стаціонарного фону необхідно визначити, які позиції елементів належать динамічній складовій. Очевидно, що кадр формується в умовах зміни освітленості об'єктів в русі, вібрації відеокамери в результаті флуктуацій при її кріпленні, спотворення при перетворенні аналогового сигналу в цифровий.

Врахування цього в процесі формування стаціонарної складової диференційно-поданого кадру пропонується використовувати поріг фільтрації ΔP . Суть фільтрації полягає у виявленні елементів диференційно-поданого кадру, які містять імпульсну заваду. Це дозволить визначити, належить елемент до стаціонарної або динамічної складової. Для скорочення кількості операцій на обробку використовується скалярна порогова фільтрація. Вона проводиться за правилом, де кожен оброблюваний елемент e_{ij} порівнюється з величиною порога ΔP . Якщо значення елемента менше величини порога ($e_{ij} \leq \Delta P$), то даний елемент вважається елементом стаціонарної складової $e_{ij} \in I_{ст}$. Навпаки, якщо значення елемента перевищує

величину порога $e_{ij} > \Delta P$, то даний елемент належить динамічній складовій $e_{ij} \in I_{\text{дин}}$.

З урахуванням роздільної обробки для диференційно-поданого кадру формуються дві компоненти (рис. 2.1).

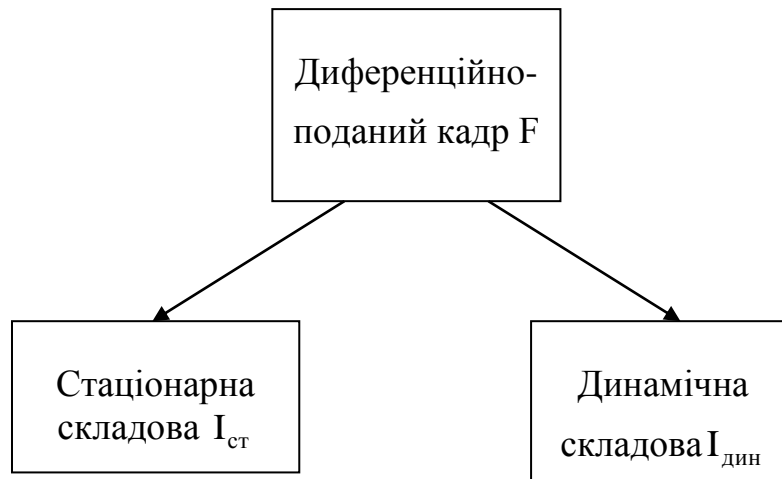


Рисунок 2.1 – Схема формування двох складових диференційно-поданого кадру

Диференційно-поданий кадр після фільтрації задається так:

$$e'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \rightarrow |e_{ij}| \leq \Delta P; \\ e_{i,j} - \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} > 0; \\ e_{i,j} + \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} < 0. \end{cases}$$

Таким чином [43, 46, 49, 121 – 123, 171, 178], диференційне подання кадру з використанням порогу фільтрації дозволяє виявити області стаціонарного фону (стаціонарну складову) і області, що містять динамічні об'єкти (динамічну складову).

2.2 Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді

Для компактного подання двійкових масок кадрів у диференційному вигляді доцільний підхід, який базується на виявленні та описі довжин одновимірних двійкових серій [18, 50, 124, 125, 179]. Під двійковою серією розуміється послідовність поспіль двійкових елементів з однаковим значенням. У цьому випадку послідовності однакових двійкових елементів замінюються величинами їх довжин. Елементи двійкових масок Q кадрів, поданих у диференційному вигляді, приймають значення 0 або 1. Пропонується формувати довжини двійкових серій без вказівки їх рівня, а для правильної ідентифікації на приймальній стороні чергувати довжини серій. При цьому вважається, що кожному рядку двійкової маски кадру, поданого в диференційному вигляді, передують серія нульових елементів довжиною 1. У цьому випадку $r_{i,\varphi}$ – довжина φ -ої двійкової серії, сформованої для i -го рядка двійкової маски кадру. Формування довжин двійкових серій у прийнятих обмеженнях має такий вигляд:

1) оскільки $q_{01}=0$, де q_{01} – двійковий елемент, що передуює першому елементу першого рядка двійкової маски, тоді, якщо $q_{11}=0$, то $r_{i,1}=2$. В іншому випадку $r_{i,1}=1$;

2) припустимо, що $r_{i,\varphi}=\gamma$. Тоді, якщо $q_{i,r(i/\varphi)+\gamma}=q_{i,r(i/\varphi)+\gamma+1}$, то довжина серії збільшується на одиницю, $r_{i,\varphi}=\gamma+1$. Навпаки, для $q_{i,r(i/\varphi)+\gamma} \neq q_{i,r(i/\varphi)+\gamma+1}$ формується нова серія $r_{i,\varphi=1}=1$.

Використовуються такі позначення:

$r_{i/\varphi}$ – кількість двійкових елементів i -го рядка двійкової маски кадру, що передували початку φ -ої двійкової серії (тобто кількість двійкових елементів $\sum_{\phi=1}^{\varphi-1} r_{i,\phi}$, які містяться в $\Phi_{i/\varphi}$ двійкових серіях);

$\Phi_{i/\varphi}$ – кількість двійкових серій сформованих для i -го рядка двійкової маски кадру, які передують φ -ій серії;

$\sum_{\phi=1}^{\Phi_i-1} r_{i,\phi} + r_{i,\Phi_i} = m_M$ – кількість двійкових елементів у рядку масиву двійкової маски кадру;

Φ_i – кількість двійкових серій утворених для i -го рядка двійкової маски кадру, $1 \leq \varphi \leq \Phi_i$.

Формування двійкових серій закінчується, коли оброблено елемент q_{m_M, n_M} .

Ступінь компресії η_M масиву двійкової маски кадру з виявленням довжин двійкових серій дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{L_M}, \quad (2.1)$$

де L_M – кількість розрядів, які відводяться на подання послідовності довжин двійкових серій, утворених для масиву двійкової маски диференційного кадру, який задається виразом:

$$L_M = \sum_{i=1}^{n_M} \sum_{\phi=1}^{\Phi_i} \ell \log_2 r_{i,\phi},$$

де $\ell \log_2 r_{i,\phi}$ – кількість розрядів на подання серії $r_{i,\phi}$.

У загальному випадку вираз (2.1) не може використовуватися для оцінки ступеня компресії через різні значення величин $r_{i,\phi}$. Тому для їх подання потрібна різна кількість розрядів. Якщо на приймальній стороні не відома кількість розрядів під кожну серію, то процес відновлення буде неоднозначним. Можливі такі стратегії виділення кількості розрядів під довжини серій.

Перший підхід. Виділяється кількість розрядів, виходячи із заздалегідь заданого максимального значення r_{\max} довжини серії для двійкової маски диференційного кадру (або для всього бітового подання стаціонарної складової). Тоді для кодового подання довжин двійкових серій виділяється однакова максимальна кількість розрядів (рівномірний режим) $\log_2 r_{\max}$. У цьому випадку коефіцієнт компресії дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi \log_2 r_{\max}},$$

де Φ – кількість двійкових серій, утворених для двійкової маски кадру.

Основні недоліки підходу:

- між мінімальним та заздалегідь обраним максимальним значенням довжини бітової серії може бути істотна різниця;
- не враховується нерівномірність значень довжин серій;
- існує неоднозначність вибору величини r_{\max} .

Це призводить до нераціонального розподілу розрядів, і, як наслідок, до збільшення початкового об'єму на подання двійкової маски кадру.

Другий підхід. Нерівномірно розподіляється кількість розрядів під довжини двійкових серій (нерівномірним режим). Враховується можлива наявність нерівномірності розподілу ймовірностей появи значень довжин серій. Така стратегія реалізується шляхом арифметичного кодування, в якій немає однозначної відповідності між символами джерела та кодovими

словами. Замість цього вся послідовність символів джерела (тобто весь вектор двійкових серій) співвіднесена з одним арифметичним кодовим словом. Кодове слово задає інтервал дійсних чисел між 0 і 1. Зі збільшенням кількості символів у повідомленні, інтервал, необхідний для їх подання, зменшується, а кількість одиниць інформації, необхідних для подання інтервалу, збільшується.

Величина ступеня компресії двійкової маски диференційного кадру для запропонованої технології кодування залежить від:

- ймовірності зміни двійкових послідовностей;
- точності побудови статистичної моделі джерела довжин двійкових серій;
- довжини маркера між нерівномірними кодовими конструкціями.

Дані характеристики для двійкової маски диференційного кадру залежать від наявності і кількості динамічних об'єктів. Чим більше насиченість об'єктами з динамічно змінюємою сценою (тобто чим менше кореляція між суміжними кадрами), тим більші неоднорідні і нестационарні статистичні та структурні характеристики двійкової маски диференційного кадру. Тому ступінь компресії на основі нерівномірного статистичного кодування буде мінімальною. Залежність ступеня компресії $\eta(\max)_M$ від кореляції між суміжними кадрами ρ наведена на діаграмі (рис. 2.2).

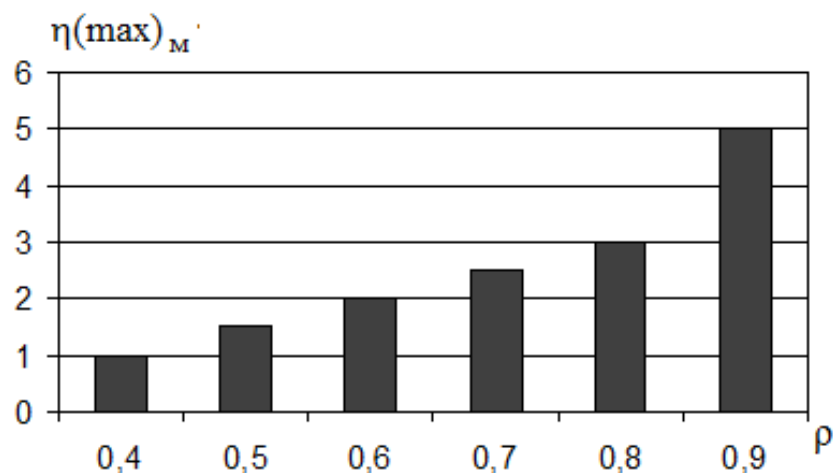


Рисунок 2.2 – Залежність величини $\eta(\max)_M$ від коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами ρ

Як випливає з аналізу рис. 2.2, величина теоретичного максимуму ступеня компресії різко знижується при зменшенні ступеня кореляції між суміжними кадрами. Такий результат пояснюється збільшенням ймовірності зміни двійкових послідовностей для масок кадрів і збільшенням концентрації одиничних елементів в разі обробки кадрів з високою динамічною зміною сцен. Навпаки, зі зростанням розмірів стаціонарної складової величина ступеня компресії збільшується.

Однак реальна ступінь компресії на основі побудови арифметичних кодів буде меншою внаслідок:

- неточності вибору статистичної моделі, що особливо проявляється при обробці сильнонасичених динамікою кадрів;
- додаткової витрати кількості розрядів на подання інформації про можливість розподілу двійкових серій.

Додатковим чинником, що обмежує рівень компресії, є необхідність включення деякого символу закінчення, що дозволяє відокремлювати одну кодову послідовність від іншої.

Практична реалізація технології арифметичного кодування двійкових масок диференційних кадрів має певні труднощі:

- 1) додаткові операції на обчислення статистики, на побудову кодових таблиць і організацію подвійного проходу по оброблюваних даних;
- 2) залежність подальших кодових частин арифметичного коду від попередніх;
- 3) кількість операцій на виконання арифметичного кодування двійкових масок диференційних кадрів досягає 90% від сумарної кількості операцій, які витрачаються на отримання обробленого подання диференційного кадру.

Вказані вище недоліки обмежують прикладні області ефективного використання технологій компресії на основі нерівномірного статистичного кодування.

Третій підхід. Використання обмежень у динамічному діапазоні для довжин двійкових серій. Дана обробка здійснюється з використанням методу Бодо (локально-рівномірний режим кодування). Коефіцієнт компресії щодо представлення довжин серій $\Phi \log_2 r_{\max}$ дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\sum_{i=1}^{n_M} (\Phi \log_2 r_{\max})}$$

де r_{\max} – максимальне значення довжини серії для двійкової маски диференційного кадру.

Недоліками даного підходу є:

- використання роздільників;
- неповне усунення недоліків стратегії поелементного кодування рівномірним кодом, а саме, не враховуються особливості структурного змісту масивів двійкових масок диференційних кадрів.

Звідси технологія кодування двійкових масок стаціонарної складової диференційно-поданих кадрів повинна базуватися на таких принципах:

- 1) можливість адаптації до структурних особливостей двійкових масок кадрів;
- 2) організація процесу кодування, заснованого на принципі гарантованої компресії;
- 3) додаткове скорочення часу обробки, в тому числі і на основі розпаралелювання процесу кодування;
- 4) блокове кодування масивів двійкової маски шляхом адаптації до особливостей їх структурного змісту. Під блоковим кодом розуміється код потужності алфавіту для довжини двійкової серії, тобто блоком є двійкова серія.

2.3 Вибір показників оцінки ефективності, структура та методологія проведення дослідження

Розглянутий сервіс забезпечення якості обслуговування функціонує тільки з позицій підстроювання параметрів транспортної мережі: смуги пропускання S_k , затримки при передачі T_p , джиттера J та втрати пакетів P_{PLR} під задану категорію трафіку, що може бути неприпустимим. Це, в свою чергу, може привести до помилок або навіть втрати даних при передачі.

Вимоги до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення:

- зниження інтенсивності відеопотоку;
- модернізація відеоінформаційних сервісів в КСМ спеціального призначення;
- зменшення обсягів трафіку;
- рівномірне розподілення відеопотоку за часом;
- чутливість до затримок пакетів при передачі;
- чутливість до втрат пакетів при передачі;
- контроль відповідності бітової швидкості джерела відносно пропускнуої спроможності каналів зв'язку;
- врахування поточних характеристик пропускнуої спроможності комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Можливості існуючих методів обробки відеоінформації в КСМ спеціального призначення:

- обмежені обчислювальної потужності комп'ютерних систем та мереж СП при одночасному спрощенні методів їх експлуатації;
- швидке збільшення обсягів інформаційних потоків даних, які обробляються і передаються в КСМ спеціального призначення;
- стрімке збільшення кількості розподілених БД різного призначення, їх стандартизація та інтеграція до сучасного інформаційного простору;

- розширення кількості джерел інформації і кола користувачів, які мають безпосередній доступ до інформаційних ресурсів та широкого спектру послуг, які надають комп'ютерні системи та мережі СП.

Але існує протиріччя між обмеженими можливостями існуючих методів обробки відеоінформації і вимогами щодо оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів у КСМ спеціального призначення.

Отже актуальною науковою проблемою є розвиток теоретичних основ вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Тому процес підвищення якості відеоінформаційного сервісу в КСМ спеціального призначення описується так:

$$Q(S_k, T_p, J, P_{PLR}, V(t)_{comp}) \rightarrow Q_{allowable},$$

де $Q(S_k, T_p, J, P_{PLR}, V(t)_{comp})$ – параметрична функція якості надання відеоінформаційні сервісу;

S_k – смуга пропускання каналу зв'язку;

T_p – затримка при передачі пакетів;

J – джиттер затримки;

P_{PLR} – втрати пакетів при передачі;

$V(t)_{comp}$ – бітова швидкість джерела після компресії;

$Q_{allowable}$ – допустима якість надання відеоінформаційного сервісу.

Тому для вирішення поставленої проблеми необхідно здійснювати контроль за умовами відповідності бітової швидкості $V(t)_{comp}$ джерела щодо пропускної спроможності V_k каналу зв'язку такими, щоб $V(t)_{comp} \rightarrow V_k$ при $T_p \rightarrow \min$, $P_{PLR} \rightarrow \min$, $S_k = \text{const}$, $J = \text{const}$.

Результати проведеного аналізу методів обробки відеоінформації свідчать, що зазначені фактори недостатньо враховані при проектуванні комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Так, у роботах [19, 20, 126 – 132, 136, 137, 190] показано основні напрямки розробки комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення, розвиток яких відбувається в рамках наступних протиріч (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Протиріччя між існуючими методами обробки відеоінформації і вимогами до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Логічний структура та взаємозв'язок методів для вирішення обґрунтованого протиріччя наведений на рис.2.4.

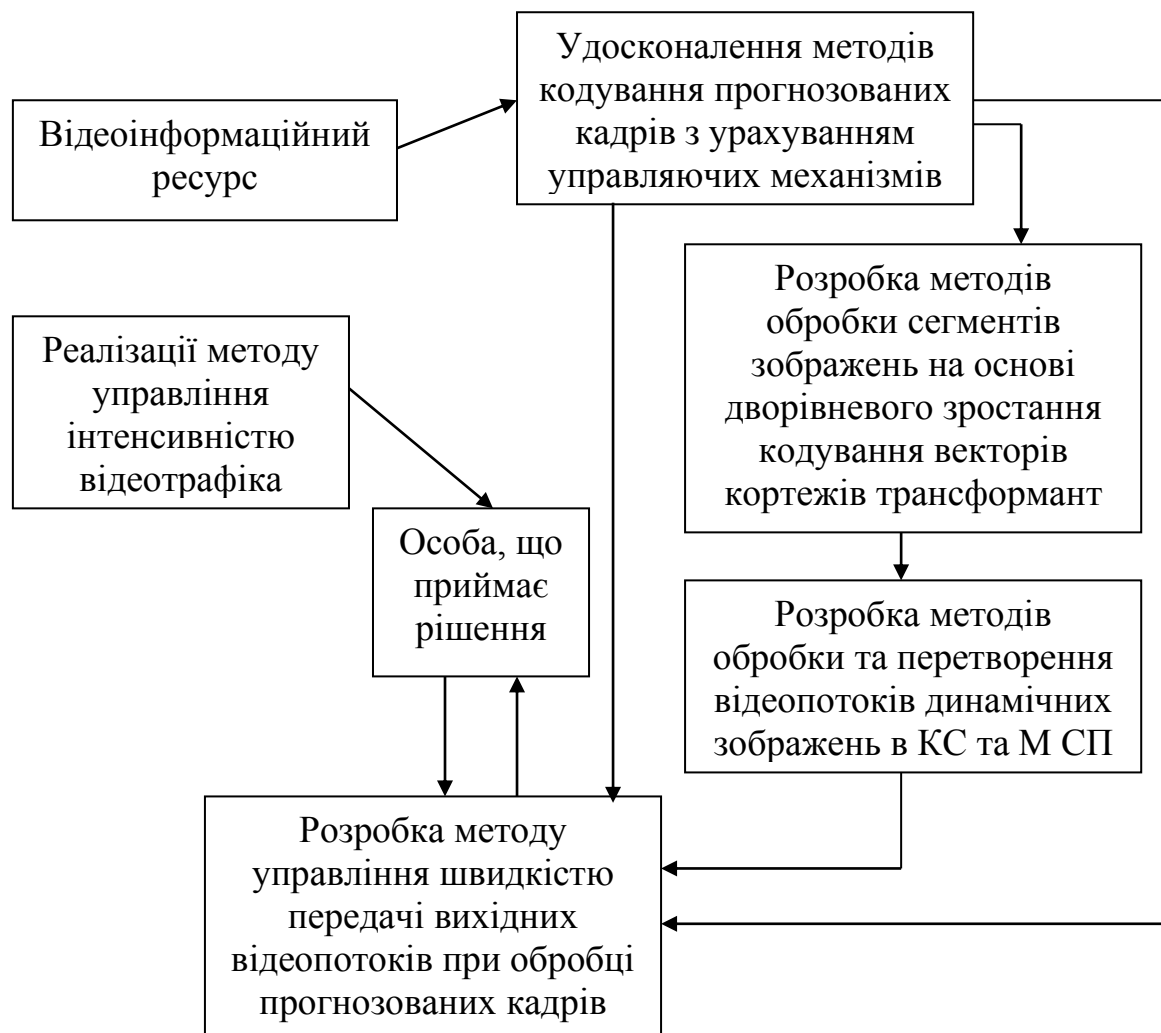


Рисунок 2.4 – Логічна структура та взаємозв'язок методів, що пропонуються в роботі

Для досягнення цілей дослідження в роботі вирішено наступні завдання:

- обґрунтовані вимоги до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;
- удосконалено метод компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів у комп'ютерних системах та мережах;
- удосконалено метод реконструкції прогнозованих кадрів у технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних системах та мереж;
- розроблено метод формування компактного подання сегментованих зображень;

- розроблено метод обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант;
- розроблено методи обробки складових диференційно-поданих кадрів відеоінформаційні потоку;
- розроблено метод обробки службових даних диференційно-поданого кадру;
- розроблено метод контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності;
- розроблено метод управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів;
- оцінено ефективність методу управління інтенсивністю відеотрафіка в комп'ютерних системах та мережах СП;
- оцінено узгодженість характеристик комп'ютерних систем та мереж з трафіком відеоданих.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Обґрунтовано основні принципи побудови технології компактного подання двійкових масок кадрів у диференційному вигляді, що містять такі етапи:

- формування бітового подання двійкової маски диференційного кадру;
- виявлення довжин двійкових серій у двійкових масках диференційного кадру;
- блокове кодування масивів двійкової маски з урахуванням виявлення обмежень в динамічному діапазоні довжин двійкових серій;

2. Обґрунтовано засади для створення методу кодування довжин двійкових серій, що забезпечують потенційні можливості для додаткового збільшення ступеня компресії та скорочення часу на обробку.

3. Протиріччя між обмеженими можливостями існуючих методів обробки відеоінформації і вимогами щодо оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення зумовлює наявність актуальної наукової проблеми. Її змістом є підвищення якості відеоінформаційного сервісу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

4. Запропоновано методологію проведення досліджень, виявлені суперечності між існуючими методами обробки відеоінформації і вимогами до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення. Представлено логічну структуру та взаємозв'язок методів, що пропонуються в роботі для вирішення наукової проблеми.

Результати досліджень другого розділу опубліковані в роботах [43, 46, 49, 50, 171, 178, 179, 190].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОДУВАННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ З УРАХУВАННЯМ УПРАВЛЯЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Основною складністю при роботі з відео є великі обсяги передаваної відеоінформації і чутливість до її затримок при передачі. Для усунення максимальної надмірності при формуванні відеопослідовності використовується три типи кадрів: I, P і B, які формують групу кадрів [51 – 53]. Для типового відеоряду невисокої складності вага кожного P-кадру в потоці приблизно в 3 рази менше ваги I-кадру. Однак при обліку кількості P-кадрів у групі саме вони вносять основний внесок в загальний обсяг відеоданих. Тому можливо модернізувати методи кодування для P-кадрів на основі попередньої ідентифікації типу блоків з подальшим формуванням блокових кодових конструкцій.

Аналіз обробки прогнозованих кадрів у стандарті MPEG дозволив виявити недоліки при компресії відео даних та розробити метод кодування P-кадрів з можливістю вибору типу обробки блоків, де в якості вирішального правила використовується оцінка структурної надлишковості блоку. Таким чином можна додатково управляти бітовою швидкістю відеотрафіка шляхом зміни кількості блоків I- та P-типу.

Удосконалюється метод кодування і реконструкції прогнозованих кадрів шляхом використання блочного кодування, який на відміну від кодів Хаффмана, має більшу завадостійкість і менші бітові та часові витрати при обробці блоків даних.

3.1 Дослідження особливостей обробки відеопотоку стандартом MPEG

Відео формату 720x576 пікселів 25 кадрів за секунду в системі RGB вимагає потоку даних приблизно в 240 Мбіт/с. Тому необхідні різні технології компресії. Однак традиційні алгоритми компресії зображень, орієнтовані на окремі кадри, не рятують ситуації. Так, навіть зменшення потоку в 10 разів, не дозволяє в повній мірі підлаштуватися під динамічно змінюємі характеристики комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Основою всіх алгоритмів компресії є усунення різних видів надмірності відеозображення [64, 168, 172, 173, 179, 182].

1. Структурна надмірність – підсумок особливостей стандарту розкладання зображення в цифровий сигнал. Усунення зі складу цифрового відеосигналу затухаючих імпульсів рядків та полів, які не відновлюються в декодері по опорних сигналах синхронізації, підвищує швидкість передачі відеоданих приблизно на 23% [21, 138 – 143].

2. Спектральна надмірність є результатом надмірно високої частоти дискретизації. Зокрема, прийнята ортогональна структура дискретизації відеозображення в загальному випадку не є оптимальною в частотному просторі. Використовуючи інтерполяцію і передискретизацію певним чином обраних груп відліків відеосигналу, можна, в принципі, видозмінити спектральний склад і знизити частоту дискретизації. Така обробка зазвичай незворотня і, як правило, веде до деякого зниження якості відновленого зображення.

Ці два види надмірності враховуються при формуванні відеопослідовності. Переважна більшість алгоритмів компресії відео є алгоритмами з втратою даних, які використовують при компресії перерахованих нижче типів надмірності.

3. Надмірність за сприйняттям (психофізіологічна) викликана особливістю сприйняття зображення зоровою системою людини, яка нечутлива до дуже високих або дуже низьких просторових частот. Усунення такої надмірності здійснюється спеціальними методами подфільтрації і квантування.

4. Статистична надмірність заснована на подібності значень сусідніх елементів рядка матриці або кадру. Для її скорочення застосовуються статистичні коди, в основному код Хаффмана або арифметичне кодування.

5. Часова надмірність (подібність між кадрами) враховує, що на швидкості 25 кадрів за секунду, як правило, сусідні кадри змінюються незначно. Усунення часової надмірності досягається використанням блокової компенсації руху, яка є різновидом кодування з передбаченням.

6. Просторова надмірність – незначне редагування кольору зображення в сусідніх пікселях. Для скорочення просторової надмірності застосовується кодування з перетворенням і кодування з передбаченням.

Найбільша увага при формуванні обробленого відеопотоку приділяється усуненню просторової та часової надмірності. Два сусідні кадри в більшості випадків відрізняються один від одного незначно (рис. 3.1). Це дозволяє передавати лише частину інформації про наступний кадр де відбулися зміни (рис. 3.2) [22].



Рисунок 3.1 – Сусідні кадри з послідовності, розміри блоків 16x16 - 4x4



Рисунок 3.2 – Міжкадрова різниця

Саме такі кадри (з урахуванням поправки на компенсацію руху) і оброблює кодек. Їх більше 99% в потоці (амплітуди – малі, зображення практично однорідне).

Для задоволення необхідним вимогам та збільшення гнучкості алгоритму і досягнення необхідного ступеня компресії при обробці відео застосовують три типи кадрів (рис. 3.3).

Основу стандартної відеопослідовності складають І-кадри (Initial, опорні). Зазвичай вони виділяються з фіксованим інтервалом, наприклад, 2 рази за секунду (кожні 12, 15 або 30 кадрів). Компресія опорних кадрів виконується тільки із застосуванням внутрішньокадрового прогнозування для усунення просторової надмірності. Надмірність таких кадрів в відеопотоці зменшується найменше.

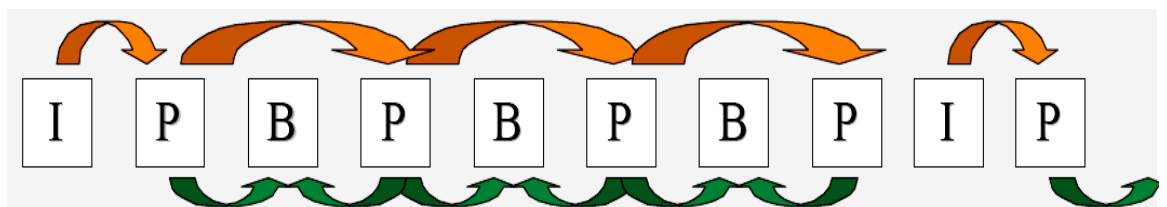


Рисунок 3.3 – Типи кадрів та їх послідовність

Кожен I-кадр розбивається на незалежні макроблоки, всередині яких для блоків виконується ДКП (дискретно-косинусне перетворення) [144 – 146]. За отриманою матрицею спектра відбувається її усічення (зважування елементів, квантизація). Далі проводиться лінеаризація даних і подальша статистична компресія, а отриманий пакет вживлюється безпосередньо в потік. Останній захід забезпечує швидкий доступ до ключового кадру.

Кодування Р-кадрів (Predicted, передбачені) виконується за допомогою алгоритмів компенсації руху і міжкадрового прогнозування вперед по попередніх I або Р-кадрах до тих пір, поки в блоці не буде іншого об'єкту. Після його виявлення знову відбувається перехід до алгоритмів, що використовуються для кодування I-кадрів, тобто до внутрішньокадрового прогнозування. У таких кадрах, крім просторової, усувається також і часова надмірність. Щодо опорних Р-кадри компресуються сильніше за рахунок використання подібності сусідніх кадрів у відеопослідовності. Таким чином, будь-який Р-кадр можна відновити за допомогою попереднього I-кадру, тобто при передачі Р-кадру передається тільки та частина зображення, в якій присутні зміни щодо попереднього опорного кадру.

Залежно від кодувальника, виділяються Р-кадри або з фіксованою частотою (щоб кожен I- або Р-кадр був оточений двома В-кадрами, наприклад, IBVRBVRBVRBVRB ...), або автоматично (за складністю відеоряду). Для типового відеоряду невисокої складності вага кожного Р-кадру в потоці приблизно в 3 рази менше ваги I-кадру. У динамічних сценах або у потоках високої складності (рухомих макроблоків так багато, що їх прогнозувати важко) вага Р-кадрів наближається до ваги ключових.

В-кадри є похідними від найближчих Р- або I-кадрів і складаються виключно з передбачених макроблоків. Виходять ці кадри в результаті "інтерполяції" – двонаправленого прогнозування. При відтворенні зліва послідовність В-кадрів прогнозується щодо найближчого (лівого) I- або Р-кадру. А праворуч послідовність В-кадрів (після прямого прогнозування) піддається корекції помилок прямого прогнозування за результатами

зворотного прогнозування щодо найближчого (правого) Р- або І-кадру. При кодуванні від кадрів, визначених як В, залишається фактично тільки матриця координат векторів руху, отриманих в результаті аналізу переміщення макроблоків. Таким чином, для більшості варіантів відеоряду невисокої складності вага В-кадру в потоці даних не перевищує вагу Р-кадру більш ніж в 2 рази.

Максимальний ступінь компресії забезпечується в кадрах В-типу. Але такі алгоритми є найбільш ресурсоємними, що при роботі з потоковою передачею може призвести до значних часових затримок у КСМ спеціального призначення. Тому можливі варіанти використання тільки перших двох типів кадрів.

Весь конвеєр перетворень відеопослідовності можна представити за допомогою таких пунктів (рис 3.4).

1. Підготовка макроблоків. Для кожного макроблоку визначається, як він буде оброблений. В І-кадрах всі макроблоки обробляються незалежно. У Р-кадрах блок зменшує об'єм незалежно або являє собою різницю з одним з макроблоків у попередньому опорному кадрі, на який посилається Р-кадр.

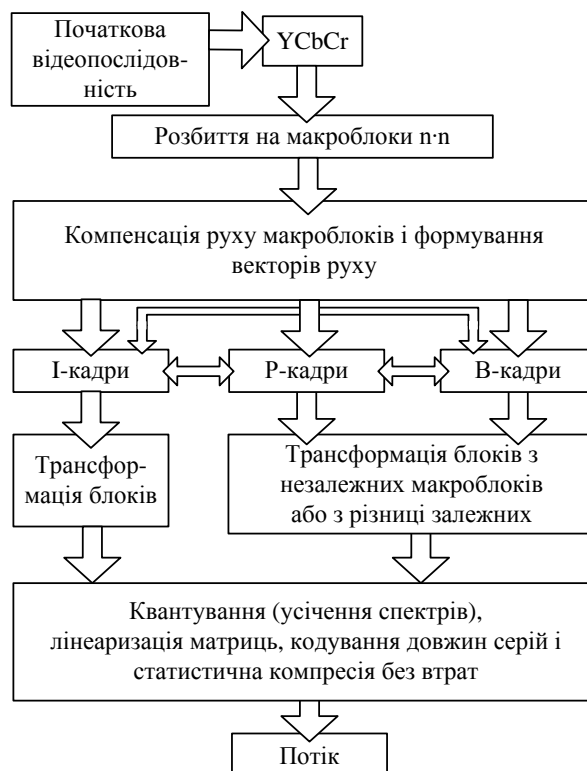


Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм кодування відеопотоку

2. Перехід макроблоку в колірний простір YCbCr. Отримання потрібної кількості матриць 8·8.
3. Обчислення різниці для P- та B-блоків з відповідним макроблоком в опорному кадрі або кодування з прогнозуванням.
4. Трансформація блоків у матриці ДКП або вейвлет-перетворення [64, 65, 66, 67].
5. Квантування.
6. Зигзаг-сканування.
7. Групове кодування.
8. Статистичне стиснення без втрат (кодування Хаффмана або арифметичне).

При декодуванні весь контейнер перетворень повторюється в зворотньому порядку.

Маніпуляція якістю реконструкції і часом обробки відеопотоку досягається на наступних етапах.

Етап 1. Перетворення в колірний простір: при переході до колірного простору YCbCr складові кольоровості (Cb та Cr) містять високочастотну колірну інформацію, яка частково може бути відкинута [23, 147, 148]. У результаті зменшується кількість врахованих пікселів для каналів кольоровості, що веде до підвищення ступеня компресії. Відкидаючи частину інформації можна знизити якість відновленого зображення.

Етап 2. Сегментація зображення спрощує буферизацію даних для їх передачі по каналу зв'язку [24]. Відомі три типи сегментації зображень: проста, пірамідальна та комбінована (рис. 3.5). Залежно від типу сегментації може втрачатися до половини потрібної інформації, що веде до значного скорочення обсягів даних. Зі зменшенням розміру сегмента підвищується швидкість обробки, збільшуються спотворення в підсумковому зображенні.

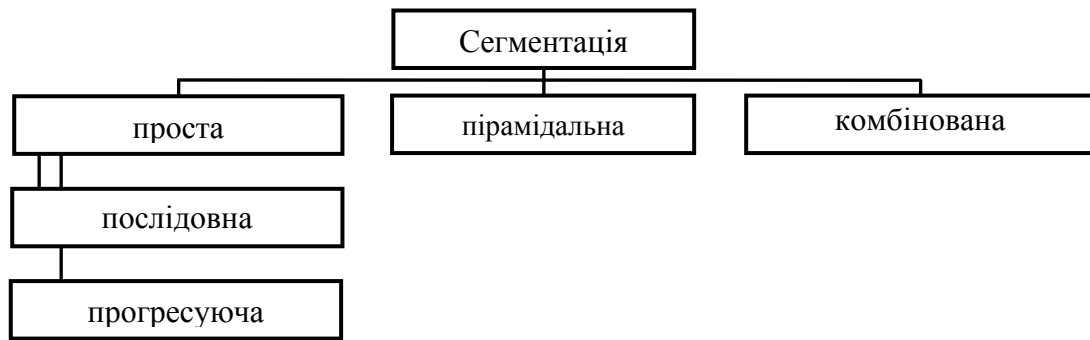


Рисунок 3.5 – Типи сегментації зображення

Етап 3. ДКП [149]. Час необхідний для обчислення кожного елемента матриці ДКП сильно залежить від її розміру через використання двох вкладених циклів. У табл. 3.1 наведені дані щодо кількості операцій (часу виконання) ДКП для кадрів різного розміру з урахуванням яскравості компонент, розмір блоку 8·8.

Таблиця 3.1 - Залежність кількості машинних операцій від розміру кадру

Розмір кадру	Кількість арифметичних операцій для однієї трансформанти	Кількість арифметичних операцій з урахуванням всіх трансформант
512·512	419 430 4	125 829 12
800·600	768 000 0	230 400 00
1024·768	125 829 12	377 487 36

Етап 4. Квантування – ділення робочої матриці на матрицю квантування поелементно. Особливості, властиві етапу квантування: 1) задається ступінь компресії, відбуваються найбільші втрати інформації; 2) задаючи матрицю квантування з великими коефіцієнтами, отримаємо більше нулів (відкидаємо частину інформації), отже, задаємо велику ступінь компресії; 3) до формату JPEG включені рекомендовані матриці квантування, побудовані дослідним шляхом, матриці для більшого або меншого коефіцієнтів стиснення отримують шляхом множення вихідної матриці на

деяке число QF (фактор якості); 4) при великих значеннях коефіцієнта QF втрати в низьких частотах можуть бути настільки великими, що зображення розпадеться на квадрати 8·8; 5) втрати у високих частотах можуть проявитися в "ефекті Гіббса".

Етап 5. Кодування. Застосування методів статистичного кодування (алгоритму Хаффмана і арифметичного кодування), виявляє характерні для них недоліки:

- 1) підвищення складності програмної та технічної реалізації у зв'язку з необхідністю синхронізації і маркування нерівномірних кодових комбінацій;
- 2) труднощі паралельної реалізації статистичних кодів;
- 3) збільшення кількості операцій на обчислення статистики, побудову кодових таблиць і організацію подвійного проходу по оброблюваних даних;
- 4) кількість операцій кодування може перевищувати кількість операцій на виконання перетворень (для режимів, які забезпечують високу якість зображення);
- 5) при відновленні весь фрагмент обробляється тільки після перекодування всіх нерівномірних кодових слів;
- 6) необхідність зберігання кодових таблиць і розділяючих маркерів, які знижують ступінь компресії для кодів Хаффмана;
- 7) для невеликих довжин нульових ланцюжків характерний рівномірний розподіл окремих елементів. Тому статистичне кодування не забезпечить додаткової компресії трансформанти;
- 8) низька завадостійкість як кодів довжин серій, так і статистичних кодів до помилок в каналах зв'язку;
- 9) збільшення часу обробки, особливо для середньо- і сильнонасичених зображень.

Перейдемо до розгляду важливості Р-кадрів в процесі побудови відеопослідовності в КСМ спеціального призначення.

3.2 Обґрунтування значущості прогнозованих кадрів

При формуванні стандартної відеопослідовності групи кадрів можуть становити або фіксований набір з одного опорного I-кадру та 11, 14 або 29 кадрів P- і B-типу, або вибиратися адаптивно залежно від складності відеоряду [151]. Тому для подальшої модернізації методів кодування та управління, необхідно в першу чергу визначити тип кадрів, що найбільше впливає на підсумковий обсяг обробленої відеопослідовності. Для цього проведемо порівняльну оцінку механізму обробки всіх типів кадрів.

Кожен I-кадр розбивається на незалежні макроблоки, всередині яких для 6 або 5 (залежно від моделі YUV: 4: 2: 2 або 4: 2: 0) блоків виконується ДКП. По отриманню матриці спектра відбувається її усічення (зважування елементів, квантизація) При цьому швидкість наростання значення елемента матриці квантування (для MPEG-1 та MPEG-2) або значення всіх елементів матриці (для H.264) буде встановлено залежно від кодувальника. Сам процес зважування полягає, як і в JPEG, в цілочисельному розподілі (з похибкою молодшого розряду) елементів матриці спектра на відповідні елементи матриці квантування. Потім проводиться лінеаризація даних і подальша статистична компресія, а отриманий пакет вставляється безпосередньо в потік. Останній захід забезпечує швидкий доступ до ключового кадру. Схему кодування I-кадрів наведено на рисунку 3.6.

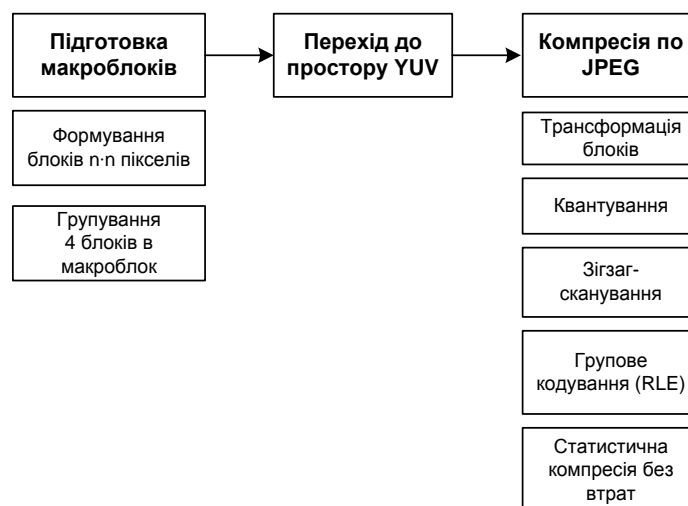


Рисунок 3.6 – Схема кодування I-кадру

P-кадри фактично містять зміни щодо попереднього I- або P-кадру. До числа всіх макроблоків для ДКП в цих кадрах входить невелика кількість незалежних (не піддаються прогнозуванню), основну ж частину кадру складають прогнозовані макроблоки. При відтворенні (також приблизно) для відновлення P-кадру необхідно відновити всі попередні P-кадри та найближчий попередній I-кадр. Результат кодування кожного P-кадру також піддається обробці алгоритмом статистичної компресії і вставляється в потік окремо від I-кадрів та інших P-кадрів. Це так само пов'язано з необхідністю швидких переходів до довільного кадру і перебудови послідовності кадрів у потоці. Схему кодування P-кадрів наведено на рисунку 3.7, вага P-кадрів наближається до ваги ключових.

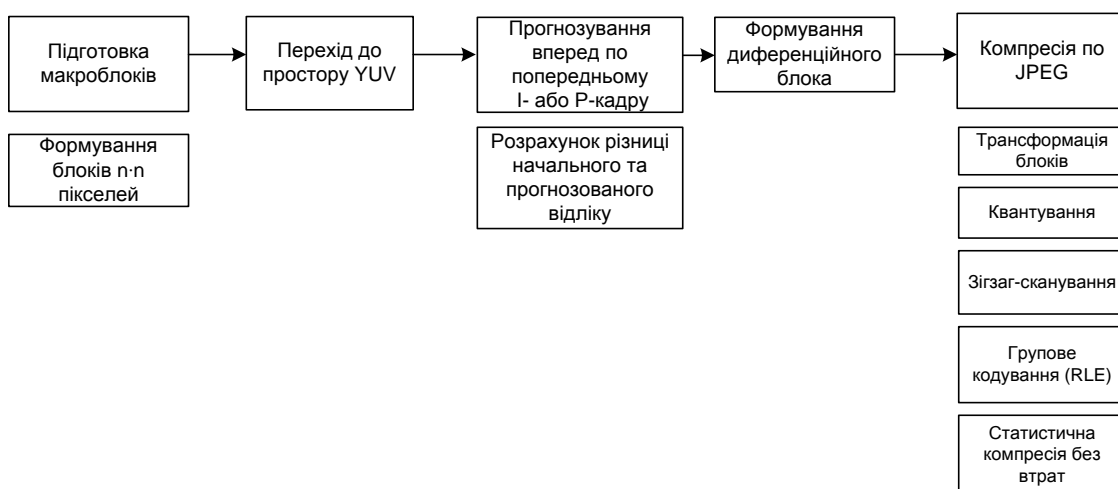


Рисунок 3.7 – Схема кодування P-кадру

B-кадри є похідними від найближчих P- або I-кадрів. Кількість B-кадрів є найбільшою. Тому алгоритми для компресії не дуже динамічних сцен набагато перевершують за ефективністю алгоритми, де всі кадри інтерпретуються як незалежні. У потоці B-кадри зберігаються окремо від P- та I-кадрів. Схему кодування B-кадрів наведено на рисунку 3.8.

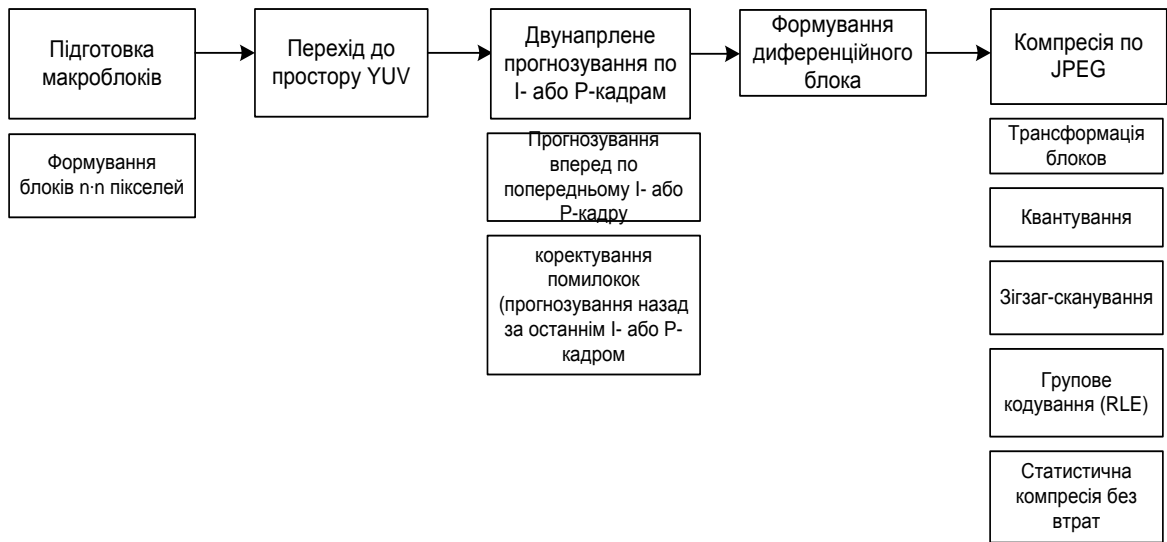


Рисунок 3.8 – Схема кодування В-кадра

Метод обробки відеопослідовності стандарту MPEG відрізняється тим, що кадри перестають бути незалежними: неможливо відновити P- і B-кадри без ключового I-кадру. Ця обставина накладає умову невіддільності на кадри в межах групи одного ключового кадру (рис. 3.9). Крім цього, в стандартах передачі потокового відео після обробки алгоритмом компресії дані кадрів подаються не в порядку відтворення, а у порядку зручності для швидкого потокового декодування [152, 183].

Перш за все, для відновлення необхідні I-кадри (рис. 3.9). Якщо передати перший ключовий кадр, то другий I-кадр потрібний тільки для відновлення всіх кадрів другої групи і двох останніх B-кадрів першої групи, тобто відразу передати досить тільки перший I-кадр.

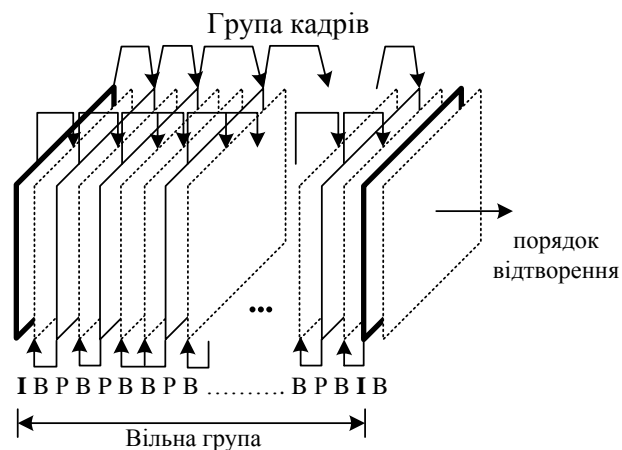


Рисунок 3.9 – Формування групи ключового кадру

Коли відновлюється І-кадр, знадобляться Р-кадри, але, знову-таки, не всі відразу – достатньо передати і відновити тільки перший Р-кадр для початку декодування першого В-кадру. Так завершується перший цикл.

Далі треба передати і відновити другий Р-кадр, від якого залежать другий, третій і четвертий В-кадри, потім вже можна буде і самі ці В-кадри передати для відновлення і т.д. В результаті, для монтажу відеоряду необхідно змінювати порядок послідовність кадрів, а різання та зшивання фрагментів можливо виробляти виключно без розбивки вільно відокремлюваних груп, що розташовані між двох І-кадрів і містять у себе ці І-кадри.

Незважаючи на, те що найбільший обсяг кадру мають опорні І-кадри (рис. 3.10), відеопослідовність складається переважно з Р- та В-кадрів. У результаті найбільший вплив на загальний обсяг трафіку, що передається, мають Р-кадри (рис. 3.11).

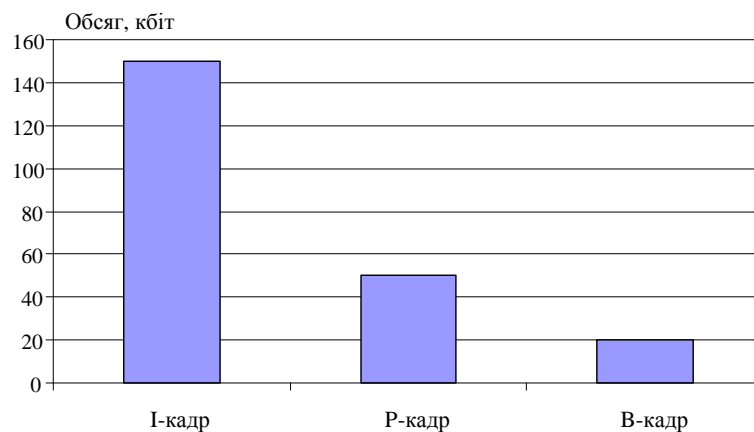


Рисунок 3.10 – Співвідношення обсягів І-, Р-, В-кадрів

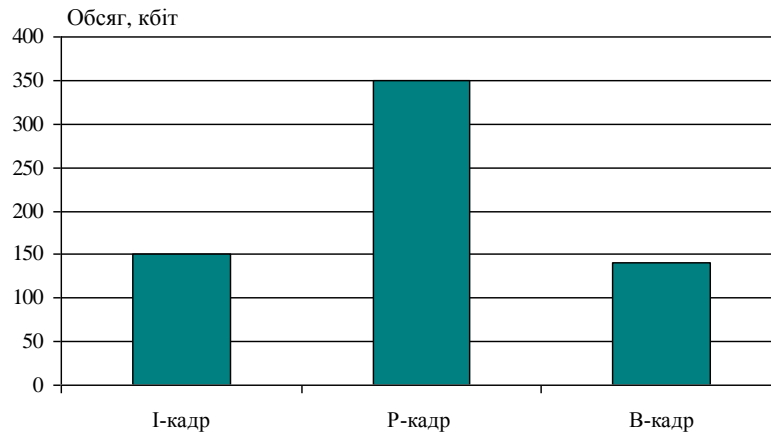


Рисунок 3.11 – Співвідношення обсягів I-, P-, B-кадрів у групі кадру

Можливості при компресії опорних I-кадрів обмежені. Тому для забезпечення достатнього рівня якості при подальшому підвищенні рівня компресії відеоданих детальніше розглянемо процес обробки трансформованих кадрів P-типу.

3.3 Дослідження механізму обробки прогнозованих кадрів у технології компресії трансформованих зображень

У P-кадрах усуваються: просторова (мала зміна кольору в сусідніх пікселях) та часова (подібність між сусідніми кадрами) надмірності. Для скорочення просторової надмірності застосовується кодування з перетворенням, а для часової – кодування з прогнозуванням. Результат кодування кожного P-кадру, також як і в опорних кадрах, піддається обробці алгоритмом статистичної компресії та вставляється в потік окремо від I-кадрів та інших P-кадрів. Це пов'язано з необхідністю швидких переходів до довільного кадру та перебудови послідовності кадрів у потоці.

Залежно від кодувальника, кількість P-кадрів у відеопослідовності може бути фіксованої частоти або визначатися автоматично. При відтворенні відеоряду для реконструкції поточного P-кадру необхідно відновити всі

попередні Р-кадри та найближчий попередній І-кадр. Алгоритм кодування Р-кадрів наведено на рисунку 3.12.

Конвеєр перетворень представляється такими кроками:

1. Підготовка макроблоків. Все зображення розбивається на блоки розміром $8 \cdot 8$, 4 блоки об'єднуються в 1 макроблок $16 \cdot 16$. Для кожного макроблоку визначається порядок обробки, тобто порівнюються блоки в поточному і попередньому кадрах. Якщо різниця не перевищує заданого значення порога ΔD , то в блоці використовується кодування з прогнозуванням (Р-блок). Якщо в блоці з'явився новий об'єкт і різниця перевищує ΔD , то відбувається перехід до алгоритмів, які використовуються для кодування І-кадрів, тобто блок кодується незалежно (І-блок). При виборі типу блоку враховуються умови роботи алгоритму компресії: бітова швидкість, обчислювальна спроможність системи та необхідна якість розглянутого кадру. Відповідно до цих умов вибирається як кількість І-, Р-кадрів у відеопотоці, так і кількість І-, Р-блоків всередині Р-кадру.

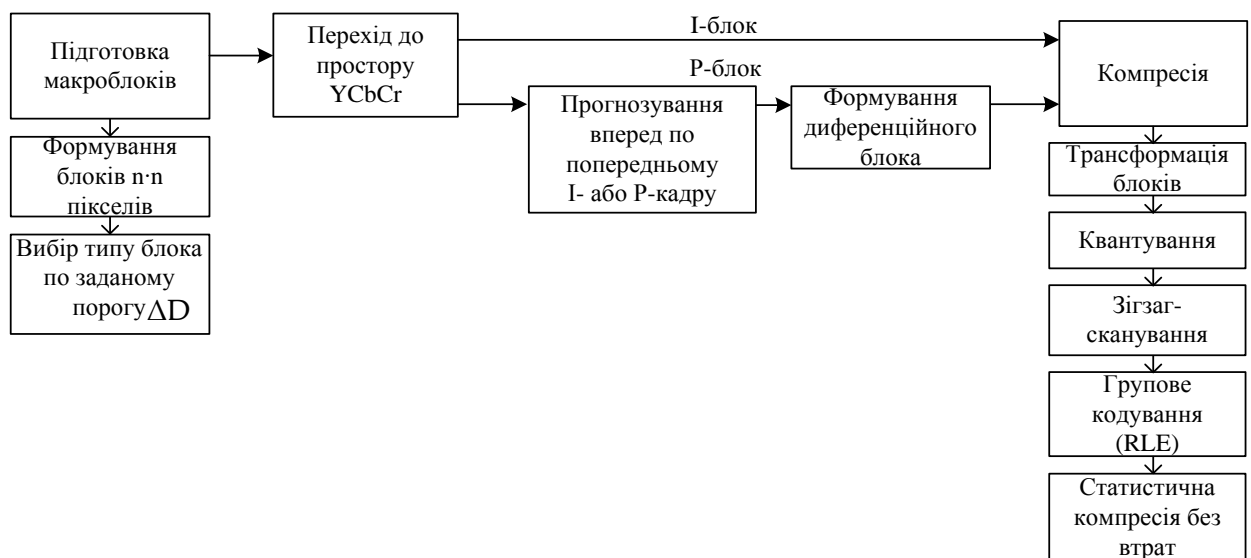


Рисунок 3.12 – Алгоритм кодування Р-кадру

2. Перехід макроблоку до колірному простору YCbCr. Перевага простору YCbCr порівняно з RGB полягає в тому, що кольорорізнісні

компоненти C_b та C_r можна представляти з меншим розрізненням, ніж яскравісну Y .

3. Для P -блоків обчислюється різниця з відповідним блоком в опорному кадрі або кодування з прогнозуванням. Найпростішим варіантом кодування P -блоку є рівномірне кодування, при якому від значення рівня яскравості одного відліку віднімається рівень яскравості наступного та кодується їх різниця. Для їх передачі потрібно менше біт в кодових словах. Різницевий блок формується за формулою:

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - x'_{ij},$$

де x_{ij} – значення пікселя поточного кадру з координатами i та j ;

x'_{ij} – значення пікселя попереднього кадру.

На практиці частіше використовуються методи кодування різниці відліків з прогнозом як у чистому вигляді, так і в поєднанні з іншими видами кодування [25, 150].

Принцип прогнозування показаний на рис. 3.13. На передавальній стороні встановлюється екстраполятор, який за отриманим у попередньому моменті відліку $x(n)$ виробляє (прогнозує) наступний відлік. При надходженні відліку від передавача прогнозоване і справжнє значення порівнюються (віднімаються), і передається помилка прогнозування $e(n)$. У граничному випадку, коли прогнозування повністю вірно, сигнал "помилка - прогнозування" дорівнює нулю. На приймальному кінці встановлюється екстраполятор, який за попереднім відліком, виробляє послідовні значення сигналу (ті ж самі, що й екстраполятор передавача) і коригує (підсумовує) з отриманим сигналом помилки. На виході з урахуванням помилок при передачі формується $x'(n) \approx x(n)$.

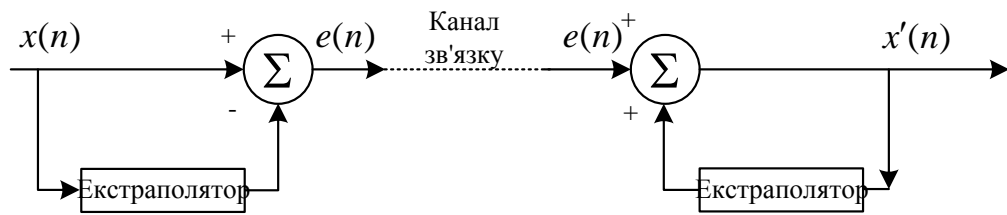


Рисунок 3.13 – Модель прогнозування

Передача диференційного сигналу для когерентних сегментів вимагає меншого числа розрядів. Виграш від обробки вимірюють відношенням потужності кодування при рівномірному і при різницевому квантуванні.

Для прогнозування форми сигналу, яка має досить очікувані ділянки, використовується кодування з адаптивним прогнозуванням. Воно ґрунтується на апроксимації форми сигналу, тобто кодування кривої за допомогою значень цієї кривої в окремих позиціях і відновлення її форми на приймальному кінці з цим окремих відліком. Така апроксимація відображається формулою:

$$x(T) = \sum_{t=1}^p a_t x(T-t), \quad (3.1)$$

де $x(T)$ – відлік на виході в наступний момент часу;

a_t – коефіцієнт апроксимації;

p – порядок моделі.

У процесі прогнозування важливо "збереження попереднього значення", тобто значення попереднього відліку має зберігатися і у наступний момент часу. Тоді вираз (3.1) прийме вигляд:

$$x(T) = a_t x(T-1); a_t = 1. \quad (3.2)$$

А для кодування подається різниця між поточним та попереднім значеннями

$$\Delta x = x(T) - x(T - 1), \quad (3.3)$$

де $x(T)$ – апроксимоване значення сигналу.

Відновлення сигналу на прийомі полягає в тому, що до попереднього значення сигналу додається різниця [153]:

$$x(T) = x(T - 1) + \Delta x.$$

Екстраполятор являє собою простий регістр, який накопичує значення попереднього відліку, а в лінію передається різницевий сигнал. Для визначення наступного різницевого відліку сигнал відновлюється в суматорі складанням цього відліку з попереднім значенням сигналу.

На рис. 3.14 показана одна з реалізацій цього методу.

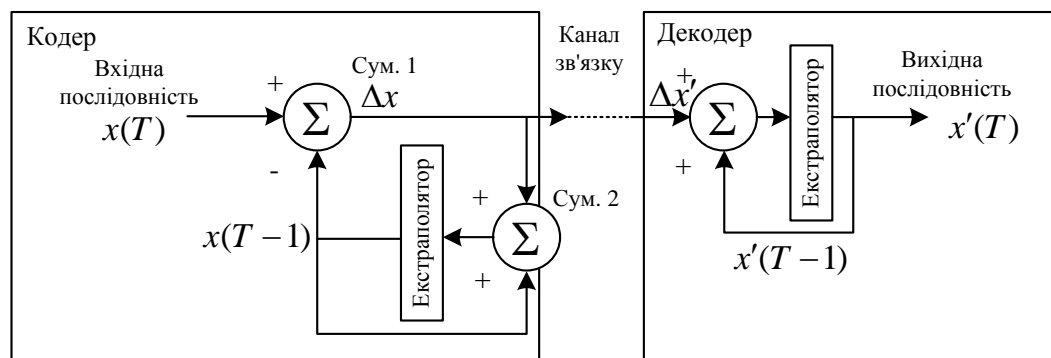


Рисунок 3.14 – Структурно-функціональна схема адаптивного кодування з прогнозуванням

Різновидом цього методу є апроксимування на основі декількох відліків. Збільшення точності апроксимації вимагає пам'яті більшого об'єму для накопичення декількох відліків. При прогнозі, заснованому на припущенні "збереження попереднього значення", коефіцієнти не

змінюються. Тому на приймальному кінці вони ті ж самі, що дозволяє передавати по каналу зв'язку не їх, а лише різницю апроксимованого сигналу.

Ефективність такого кодування оцінюється виграшем від кодування η та вимірюється різницею потужності сигналу, представленого кодами рівномірного кодування різницевого сигналу. При кодуванні з прогнозом такий виграш досягає 5 дБ. Однак це значення змінюється від характеру сигналу і система з різницеvim прогнозуванням стає неефективною при великому значенні диференційного сигналу. Це може статися через зростання різниці сусідніх відліків або через порушення системи прогнозування.

Втрата або спотворення значення різницевих відліків призводять до повного спотворення відновлюваних значень, оскільки помилка в попередньому значенні сигналу викликає розмноження помилок у визначенні наступних. Тому все це вимагає передачі на приймальний кінець величини виграшу η (для контролю якості сигналу) і періодичного оновлення значень коефіцієнтів a_t (при стійкій зміні характеру сигналу).

Реалізація методу прогнозування показана на рис. 3.15 та 3.16.

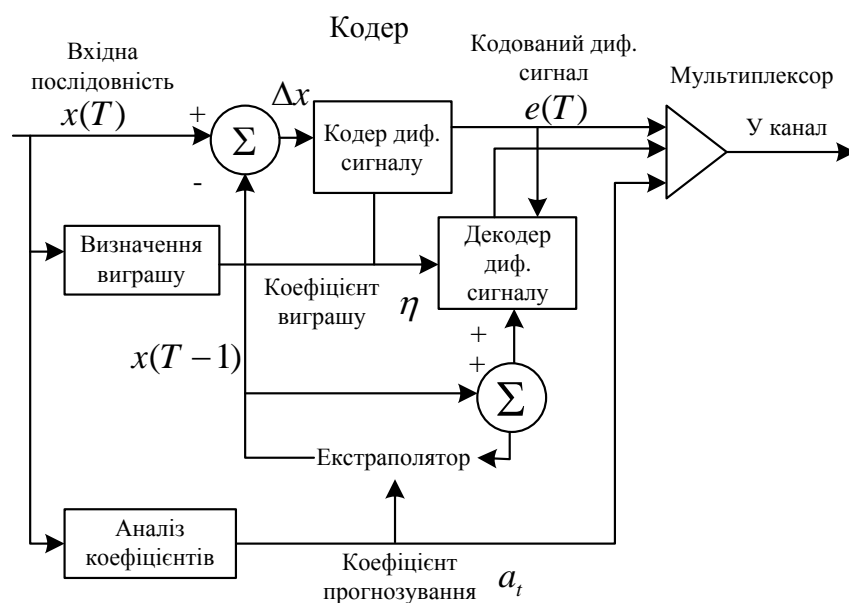


Рисунок 3.15 – Кодер з адаптивним прогнозуванням

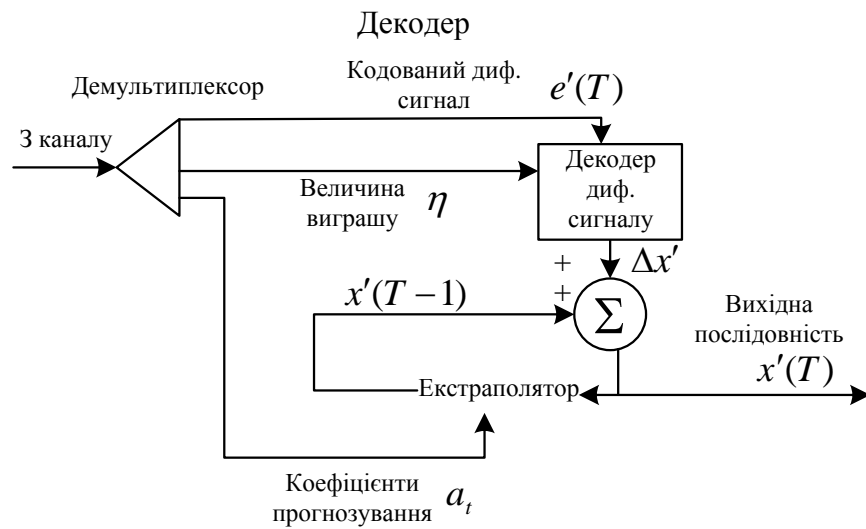


Рисунок 3.16 – Декодер з адаптивним прогнозуванням

Кодер та декодер здатні передавати три блоки інформації: кодований різницевий сигнал $e(T)$, значення виграшу η , коефіцієнти апроксимації a_t . Така схема дозволяє періодично перевіряти якість диференційного кодування та підлаштовувати коефіцієнти апроксимації. У цьому сенсі схема є адаптивною.

Ефективність кодування з адаптивним прогнозуванням залежить від складності адаптивної логіки та кількості відліків для наступного прогнозування. Але є оптимальна точка ефективності прогнозування між великим накопиченням статистики (обережна робота) і швидкістю реакції на зміну (швидке реагування).

Для організації компресії потокового відео в основному застосовуються методи, реалізовані в форматі JPEG. Їх основу складає ДКП, що дозволяє реалізувати кодування з втратами при забезпеченні достатньо високого ступеня компресії при заданій якості зображення.

4. Трансформація блоків зображення здійснюється за допомогою ДКП.

5. Рівномірне скалярне квантування частотних коефіцієнтів. Процедура квантування полягає в порівнянні номера кванта кожному символу

матриці x_{ij} : $z_{ij} = \left\lfloor \frac{x_{ij} + q/2}{q} \right\rfloor$, де q – крок квантування; $\lfloor x_{ij} \rfloor$ – операція

округлення до найближчого цілого, що не перевищує x_{ij} . При цьому низькочастотні компоненти квантуються з більшою детальністю, а високочастотні – з меншою.

6. Зігзаг-сканування або перехід матриці 8·8 до 64-елементного вектора $z_{ij} \rightarrow z_{[n]}$.

7. Групове кодування (RLE). Компресія відбувається за рахунок того, що в отриманій кодовій групі зустрічаються ланцюжки однакових байт. Заміна їх на пари <лічильник повторень, значення> зменшує надмірність даних. Однак такий тип кодування ефективний тільки для чорно-білого зображення, де варіантів кольору всього 2, і кодова послідовність складається з ланцюжків 0 і 1. Таким чином, чим більша колірна гамма переданого зображення та чим більше на ньому неоднорідностей, тим менше ефективність даного коду.

8. Статистична компресія без втрат (кодування Хаффмана або арифметичне). Метод кодування змінної довжини зіставляє потоку вхідних символів певну послідовність кодових слів (коди змінної довжини, VLC – Variable Length Codes). Кожен символ відображається в кодове слово, яке може мати змінну довжину, але кожне з них має цілу кількість біт. Ефект компресії даних починає проявлятися після кодування досить великої кількості вхідних символів. Для досягнення оптимальної компресії необхідно використовувати різні таблиці для послідовностей, що мають різний розподіл ймовірностей векторів. Так як цей код характеризується змінною довжиною, то його застосування вимагає буферного накопичувача даних для вирівнювання швидкості передачі. Таблицю ймовірностей для довгої відеопослідовності (необхідну для побудови дерева Хаффмана) можна визначити тільки після перегляду всієї відеопослідовності. Це може призвести до неприпустимої затримки процесу кодування, передачі і відтворення відео на приймальному кінці. Також даний метод ґрунтується на певних припущеннях про розподіл ймовірностей, що характеризує джерело повідомлень. У тому випадку, коли ці припущення не виконуються, в роботі

кодуєчої системи може настати різке погіршення, що в разі поганого узгодження з джерелом коду може призвести до збільшення середньої витрати двійкових цифр.

Серйозним недоліком кодів, побудованих на основі схеми Хаффмана є їх чутливість до помилок. Спотворення в одному біті послідовності цих кодів може привести до повної втрати синхронізації при декодуванні і до неможливості подальшого правильного декодування послідовності.

З урахуванням описаних недоліків кодування Хаффмана, для необхідного збільшення ступеня компресії і швидкості обробки в Р-кадрах потрібна модернізація існуючих методів обробки відеопослідовностей. Тому пропонується модернізувати метод обробки Р-кадрів, який базується на використанні блокових кодів.

3.4 Розробка методу компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах

Початкове зображення являє собою масив пікселів розмірністю $M \times N$, який перед компресією розбивається на блоки розмірністю $m_\zeta \times n_\gamma$ (рис. 3.17).

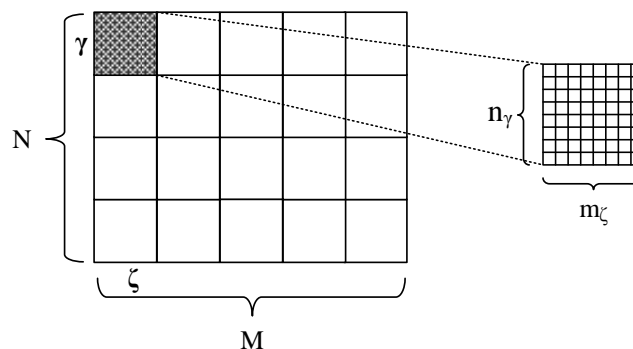


Рисунок 3.17 – Розбиття зображення на блоки

(ζ, γ) – координати блоків в просторі зображення;

m_ζ – розмірність блоку в стовпці;

n_γ – розмірність блоку в рядку.

Основою для формування прогнозованих кадрів є усунення часової надмірності шляхом адаптивного кодування з прогнозуванням вперед. На її підставі обчислюється різниця значень блоку поточного P-кадру з відповідним блоком у попередньому I- або P-кадрі:

$$x(t)_{i,j} = \sum_{t'=1}^p a_t x(t-t')_{i,j}, \quad (3.4)$$

де $x(t)_{i,j}$ – (i, j)-та компонента блоку зображення поточного t-го кадру; $x(t-t')_{i,j}$ – компонента блоку зображення (t-t')-го кадру; a_t – коефіцієнт апроксимації; p – порядок моделі.

З врахуванням "збереження попереднього значення" формула (3.4) перетвориться до

$$x(t)_{i,j} = a_t x(t-1)_{i,j}, \quad a_t = 1. \quad (3.5)$$

Диференційне значення між поточним t та попереднім (t-1) кадрами дорівнює

$$e(t)_{i,j} = x(t)_{i,j} - x(t-1)_{i,j}. \quad (3.6)$$

Тоді для відновлення сигналу на прийомі необхідно до попереднього значення компоненти додати різницю:

$$x'(t)_{i,j} = x'(t-1)_{i,j} + e'(t)_{i,j}.$$

Передбачені різницеві значення представляються у вигляді двовимірного масиву розміром $m_\zeta \times n_\gamma$ елементів:

$$E(t)^{(\zeta, \gamma)} = \begin{vmatrix} e(t)_{1,1} \dots e(t)_{1,j} \dots e(t)_{1,m_\zeta} \\ e(t)_{i,1} \dots e(t)_{i,j} \dots e(t)_{i,m_\zeta} \\ e(t)_{n_\gamma,1} \dots e(t)_{n_\gamma,j} \dots e(t)_{n_\gamma,m_\zeta} \end{vmatrix}, \quad (3.7)$$

де $e(t)_{i,j}$ – (i, j) -та диференційна компонента (ζ, γ) -го блоку зображення поточного кадру.

Перед початком кодування блоку визначається його тип, тобто яким чином він буде оброблений [154, 220]. Для цього задається функціонал $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)})$, який враховує загальний обсяг даних, бітову швидкість та особливості подальшої технології кодування при обробці (ζ, γ) -го блоку. Проводиться порівняння функціоналу отриманого різницевого масиву з заданою межею ΔD . Якщо $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D$, то блок обробляється з використанням кодування з прогнозуванням (Р-тип). Якщо в блоці з'явився новий об'єкт, і значення функціоналу перевищує $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D$, то відбувається перехід до алгоритмів, що використовуються для кодування І-кадрів, тобто він кодується незалежно (І-тип).

Отже за умови $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D$ блоковий код формується на основі матриці прогнозованих різницевих значень $E(t)^{(\zeta, \gamma)}$ (Р-тип). Якщо $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D$, то вихідна послідовність $x(t)_{i,j}$ проходить етап трансформації і квантування.

Трансформація здійснюється за допомогою ДКП. Його суть полягає в перетворенні матриці (ζ, γ) -го блоку зображення в матрицю частотних коефіцієнтів $Y(t)^{(\zeta, \gamma)}$ відповідного розміру.

Процедура квантування полягає в зіставленні номера кванта кожному коефіцієнту (ζ, γ) -ої трансформанти:

$$z(t)_{i,j} = \left\lfloor \frac{y(t)_{i,j} + q/2}{q} \right\rfloor,$$

де $y(t)_{i,j}$ – (i, j) -ий частотний коефіцієнт;

q – крок квантування;

$\lfloor y(t)_{i,j} \rfloor$ – операція округлення до найближчого цілого, що не перевищує $y(t)_{i,j}$.

Залежно від типу блоку при формуванні блочного коду вибирається надмірність, яка буде скорочуватися в результаті блокового кодування [26].

Під одновимірним блоковим кодуванням розуміється процес формування коду $N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ з урахуванням заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ обраної для i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку, тобто:

$$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m \alpha(t)_i \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta; \quad (3.8)$$

$$\alpha(t)_i = \begin{cases} e(t)_i \rightarrow f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D \\ z(t)_i \rightarrow f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D \end{cases},$$

де $\alpha(t)_i$ – елемент одновимірного блочного позиційного числа; $\prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta$ –

ваговий коефіцієнт елемента $\alpha(t)_i$.

Одновимірним блоковим позиційним числом у даному випадку називається одновимірна послідовність (одновимірний вектор) i -го стовпця матриці $A(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \{\alpha(t)_1, \dots, \alpha(t)_i, \dots, \alpha(t)_m\}$, елементи якої задовольняють змішаній системі основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)} = \{w(t)_1, \dots, w(t)_i, \dots, w(t)_m\}$. Одновимірною змішаною системою основ W являє собою одновимірний вектор-стовпець, компонентами якого w_i є довільні цілі числа кінцевої розмірності, при виборі яких необхідно виконання нерівності.

$$\alpha(t)_i \leq w(t)_i - 1, \text{ для } i = \overline{1, m}, \quad (3.9)$$

де m – кількість елементів блочного позиційного числа; $w(t)_i$ – основа i -го елемента одновимірного блочного позиційного числа.

Нехай $H(t)^{(\zeta, \gamma)} = \{h(t)_1, \dots, h(t)_i, \dots, h(t)_n\}$, вектор-стовпець вагових коефіцієнтів (ζ, γ) -го блоку, елементами якого є вагові коефіцієнти $h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$

$$h(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta. \quad (3.10)$$

Під ваговим коефіцієнтом елемента блочного позиційного числа розуміється множник, величина якого вказує на ступінь значущості позиції, займаної даним елементом в кодуемій послідовності. Ваговий коефіцієнт утворюється в результаті накопиченого добутку основ молодших елементів одновимірного блочного позиційного числа. Для i -го елемента одновимірного блочного позиційного числа молодшими елементами будуть елементи $\alpha(t)_\eta$, $\eta = \overline{i+1, n}$. Згідно виразу (3.8), чим більше індекс позиції, тим менше значення вагового коефіцієнта.

Якщо задано вектор вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta, \gamma)}$, то вираз (3.8) для формування коду $N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ одновимірного позиційного числа $A(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ у матричній формі набуде вигляду:

$$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = H(t)^{(\zeta, \gamma)'} A(t)_i^{(\zeta, \gamma)}, \quad (3.11)$$

де H' – транспонований вектор вагових коефіцієнтів одновимірного блочного позиційного числа

$$H(t)^{(\zeta, \gamma)'} = \left\{ \prod_{\eta=2}^n w(t)_\eta, \dots, \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta, \dots, 1 \right\}. \quad (3.12)$$

Верхньою межею h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа для заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ є накопичений добуток основ всіх елементів $\prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta$:

$$N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max} = \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta, \quad (3.13)$$

де $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально можливе значення коду для заданого вектора основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$, який складається з n елементів.

Код блочного позиційного числа називається кодом у нерівномірному базисі значень, компоненти якого задовольняють змішаній системі основ.

Схема формування коду задається двома етапами. На першому етапі кодування для заданого блоку даних визначається система основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$, яка відповідає обмеженням (3.9). Це здійснюється шляхом вибору

максимального елемента $\max \alpha(t)_{1,j} + 1$ для j -го рядка (ζ, γ) -го блоку і подальшим збільшенням його на одиницю. Таким чином, формуються елементи вектора основ для кожного рядка матриці.

На другому етапі задається вектор-стовпець вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta, \gamma)}$ відповідно до формули (3.10). Блочне позиційне число для блоку формується з елементів його стовпців відповідно до виразу (3.8). Елементи такого числа в результаті кодування послідовно збираються в ланцюжок, який далі подається в двійковій або десятичній формі.

Така схема кодування призводить до зниження кількості розрядів на кодове подання масивів відеопослідовності.

Важливою властивістю блокових позиційних чисел є можливість обчислення коду для масиву даних на основі аналітичного виразу. При цьому необхідно знати тільки значення елементів масиву даних і значення компонент вектора основ. Тому не потрібно організовувати формування таблиці допустимих чисел і проводити пошук у таблиці необхідного індексу, відповідного оброблюваному числу.

Використання блокових чисел і їх кодування дозволяє зменшити кількість обчислювальних операцій щодо існуючих статистичних кодів, що дозволяє здійснювати обробку відеоданих у часі близькому до реального.

3.5 Розробка методу реконструкції прогнозованих кадрів в технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних систем та мереж

Сучасні алгоритми компресії мають істотні недоліки при статистичному кодуванні відеопотоку, усунення яких можливо при використанні методу компресії на базі блокового кодування. Такий метод дозволяє формувати код відповідно до заданих значень бітової швидкості, якості реконструкції зображення та зменшення часу кодування порівняно зі статистичними. Тому актуальною є розробка методу відновлення

сегментованих зображень в прогнозованих кадрах. Розроблюваний метод відновлення полягає в отриманні вихідного блоку за значенням коду блочного позиційного числа. Для відновлення блоку необхідна наявність службової інформації про розміри блоку (ζ, γ) і системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$. Вона визначає довжину інформаційної частини обробленого представлення блоку зображення. Її елементи також використовуються як складові аналітичного виразу, на підставі якого декодуються елементи стовпців блоку. Система основ дозволяє визначити верхню межу h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа і відповідно максимальне значення коду:

$$N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max},$$

де $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально можливе значення коду для заданого вектора основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$.

Верхня межа h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа для заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ обчислюється за виразом (3.12). Знання верхньої межі h_{\max} необхідно для визначення довжини кодового представлення $d_i^{(\zeta, \gamma)}$ однієї компоненти $(\zeta; \gamma)$ -го блоку. В цьому випадку приймається умова:

$$d_i^{(\zeta, \gamma)} = [\log_2 h_{\max}] + 1, \quad (3.14)$$

де $d_i^{(\zeta, \gamma)}$ – довжина кодового представлення i -го стовпця $(\zeta; \gamma)$ -го блоку;

$[\log_2 h_{\max}] + 1$ – кількість двійкових розрядів на представлення максимального значення коду $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ одновимірного блочного позиційного числа.

Тоді довжина $d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$ всієї інформаційної частини кодової послідовності складе

$$d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)} = m \left(\left[\log_2 h_{\text{max}} \right] + 1 \right) = m \left(\left[\log_2 \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta \right] + 1 \right), \quad (3.15)$$

де m – кількість стовпців блоку зображення;

$m \left(\left[\log_2 h_{\text{max}} \right] + 1 \right)$ – кількість розрядів на представлення m кодів блокових позиційних чисел.

До структури пакетів входять службова та інформаційна частини. Загальна довжина $d^{(\zeta, \gamma)}$ зібраної кодової послідовності визначається як кількість біт, яким представлена службова частина $d_s^{(\zeta, \gamma)}$ і довжина кодового представлення всіх стовпців (ζ, γ) -го блоку $d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$, $d^{(\zeta, \gamma)} = d_s^{(\zeta, \gamma)} + d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$.

Для проведення декодування блокових позиційних чисел необхідно виділити службову й інформаційну частини зібраної кодової послідовності. Це викликано тим, що довжина інформаційної частини може змінюватися для різних блоків зображення з кількох причин: розміри блоків зображення можуть бути різними; блоки зображення можуть мати різну систему основ, що пояснюється різною змістовною частиною зображення.

Вибірка інформаційної частини із загальної кодової послідовності проводиться, виходячи з особливостей побудови коду. Технологія визначення інформаційної частини полягає в тому, щоб у загальній довжині кодової послідовності визначити межу службової частини.

Після виділення інформаційної частини зібраної кодової послідовності починається процес відновлення зображення, який складається з таких етапів: декодування блочного позиційного числа, визначення типу блоку, декодування диференційного сигналу для блоку Р-типу або деквантування та зворотнє ДКП для блоку І-типу.

Загальна схема процесу реконструкції зображення представлена на рис.3.19. На вхід декодера надходить сукупність $\{W(t)^{(\zeta,\gamma)}; N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}\}$: вектор основ $W(t)^{(\zeta,\gamma)}$ та кодові подання стовпців (ζ, γ) -го блоку $N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}$.

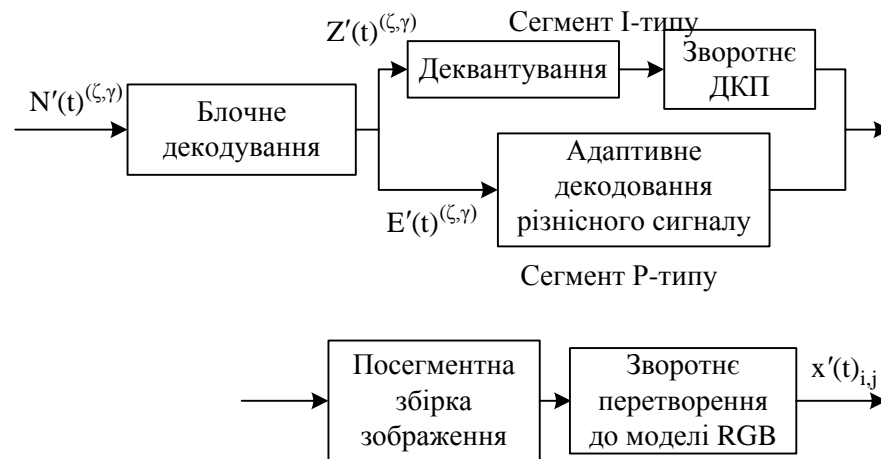


Рисунок 3.19 – Загальна схема відновлення передбаченого кадру

Процес декодування кодового представлення блоку зображення [27, 155 – 157] представлений на рис. 3.20.

Для початку процесу декодування необхідно мати вектор основ $W(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{w(t)_1, \dots, w(t)_i, \dots, w(t)_n\}$ та вектор вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{h(t)_1^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_i^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_n^{(\zeta,\gamma)}\}$ елементів стовпців блоку зображення.

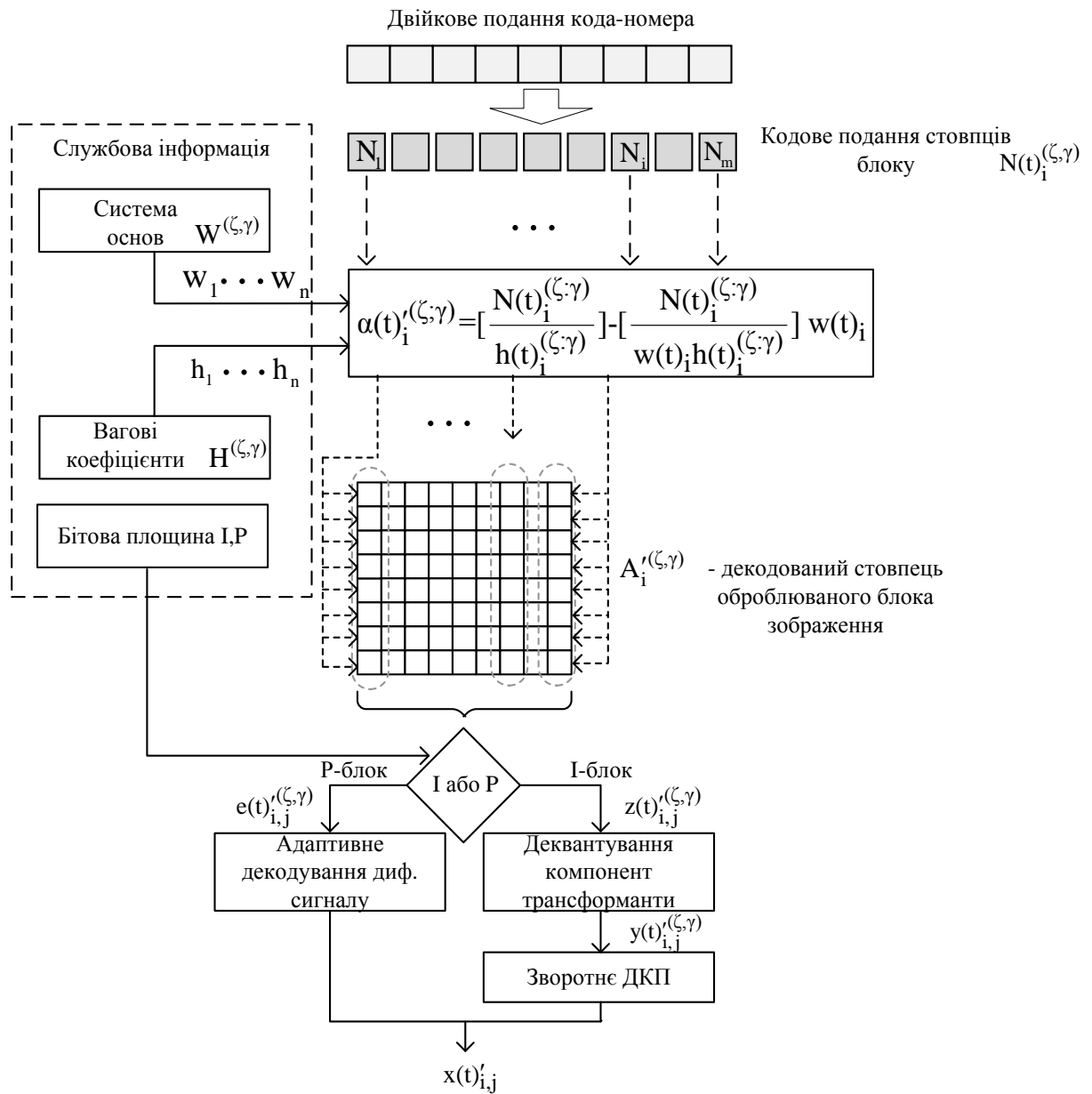


Рисунок 3.20 – Схема декодування елементів стовпців (ζ, γ) -го блоку прогнозуємого кадру

Вагові коефіцієнти для елементів i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку визначаються виразом

$$h(t)_i^{(\zeta,\gamma)} = \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta. \tag{3.16}$$

З урахуванням системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку та вагових коефіцієнтів, процедура декодування компоненти $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанти будується за таким правилом:

$$\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] - \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{w(t)_i h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] w(t)_i, I = 1, m, \quad (3.17)$$

де $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ – декодований елемент i -го стовпця блоку;

$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ – кодове подання i -го стовпця блоку;

$w(t)_i$ – основа елемента i -го стовпця блоку.

Для подальшої обробки необхідно визначити тип декодованого блоку. При формуванні кодової інформації в передавачі можливі 2 варіанти передачі необхідної службової інформації: в першому випадку при формуванні кадрів разом з корисною інформацією передаються деякі характеристики блоку зображення, які дозволяють при прийомі визначити його тип; у другому – у передавачі формується маркер з конкретним показником типу переданого блоку.

Далі, в залежно від типу оброблюваного блоку, проводиться або адаптивне декодування прогнозованого сигналу, або деквантування та зворотнє ДКП. Відновлення значень прогнозованого сигналу полягає в тому, що до попереднього значення компоненти додається отримана різниця $x(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = x'(t-1)_{i,j} + e'(t)_{i,j}$. Для отримання елементів $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ деквантованного блоку $Y(t)^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанти ДКП проводиться множення елементів $z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ декодованого трансформованого блоку $Z(t)^{(\zeta, \gamma)}$ зображення на елементи $q_{i,j}$ матриці квантування $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} \cdot q_{i,j}$. Далі виконується зворотнє ДКП блоку зображення:

$$x(t)_{i,j}' = \frac{1}{\sqrt{mn}} C(i)C(j) \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m-1} y(t)_{i,j}'^{(\zeta,\gamma)} \cos \left[\frac{(2\zeta+1)i\pi}{2n} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2\gamma+1)j\pi}{2m} \right],$$

де $C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & x = 0 \\ 1, & x \neq 0 \end{cases}$, $x(t)_{i,j}'$ – елемент відновленого блоку зображення.

Розроблений метод декодування зображень з використанням блокових чисел у порівнянні зі статистичними декодерами має ряд переваг, а саме:

- немає необхідності у використанні маркерів для поділу службової та інформаційної частин при формуванні пакетів даних;

- підвищення завадостійкості, тому що помилки можуть поширюватися тільки в межах одного коду блочного числа; тобто, їх вплив поширюється тільки на один стовпець, а не на весь блок;

- елементи відновлюваного блоку декодуються незалежно один від одного, що дозволяє застосовувати паралельну обробку даних, що також знижує час на обробку даних;

- немає необхідності у використанні кодових таблиць і алгоритмів пошуку по ним, тому що вся необхідна інформація передається в службовій частині разом з кодом.

Оцінка характеристик процесу відновлення трансформованого блоку зображення базується на оцінці величини середньоквадратичного відхилення і часу виконання операцій реконструкції однієї трансформанти зображення.

Час реконструкції $T^{(\zeta,\gamma)}$ блоку зображення визначається загальним часом декодування (ζ, γ) -го блоку, часом складання блоків зображення та, або адаптивного декодування диференційного сигналу в разі обробки блоку Р-типу, або деквантування та зворотнього ДКП в разі обробки блоку І-типу:

$$T^{(\zeta,\gamma)} = \begin{cases} T_{dc}^{(\zeta,\gamma)} + T_{dr}^{(\zeta,\gamma)} + T_s^{(\zeta,\gamma)}, & \text{якщо Р} \\ T_{dc}^{(\zeta,\gamma)} + T_{dq}^{(\zeta,\gamma)} + T_{odcp}^{(\zeta,\gamma)} + T_s^{(\zeta,\gamma)}, & \text{якщо І} \end{cases}, \quad (3.18)$$

де $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ – час декодування (ζ, γ) -го блоку зображення на основі блочного числа;

$T_{dr}^{(\zeta, \gamma)}$ – час адаптивного декодування диференційного сигналу;

$T_{dq}^{(\zeta, \gamma)}$ – час деквантування (ζ, γ) -го блоку зображення;

$T_{odcp}^{(\zeta, \gamma)}$ – час виконання зворотнього дискретного косинусного

перетворення;

$T_s^{(\zeta, \gamma)}$ – час складання блоків зображення.

Часові витрати на декодування блочного числа одного блоку $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ визначаються часом декодування коду для всіх стовпців (ζ, γ) -го блоку зображення:

$$T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m t_{dci} = m t_{dci}, \quad (3.19)$$

де t_{dci} – час відновлення одного стовпця блоку.

Час декодування t_{dci} одного j -го стовпця, який складається з n елементів, визначається за формулою

$$t_{dci} = \sum_{i=1}^n t_{dci,j} = n t_{dci,j}, \quad (3.20)$$

де $t_{dci,j}$ – час отримання елемента стовпця.

З огляду на вираз (3.20), формула (3.19) набуде вигляду:

$$T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n t_{dci,j} = m n t_{dci,j}.$$

Час реконструкції $T^{(\zeta, \gamma)}$ трансформованого (ζ, γ) -го блоку зображення залежить від загальної кількості арифметичних операцій множення, ділення і віднімання, виконаних на всіх етапах реконструкції блоку.

Завдяки аналізу структури існуючого і розробленого методу виявлені відмінності, які за математичними операціями були оцінені та зведені в таблицю 3.2.

Для декодування однієї компоненти блоку необхідно виконати одну операцію складання в разі перетворення блоку Р-типу, і по дві операції ділення, множення і одну операцію віднімання в разі обробки блоку І-типу.

З табл. 3.2 видно, що при реалізації запропонованого методу декодування кількість арифметичних операцій при декодуванні блоку Р-типу зменшується. Однак, навіть при обробці блоків І-типу, розглянутий метод декодування за кількістю витрачених операцій не перевищує сумарні витрати на деквантування і зворотнє ДКП, що не робить істотного впливу на повний час відновлення зображення.

Таблиця 3.2 – Арифметичні операції, що виконуються при реконструкції блоку

Арифметичні операції	Ділення	Множення	Віднімання (додавання)
Блок Р-типу			
Декодування компоненти блоку (операцій)	2	2	1
Декодування блоку зображення ($m \times n$) (кількість операцій)	$2mn$	$2mn$	mn
Адаптивне декодування диференційного сигналу ($m \times n$) (кількість операцій)	-	-	mn
Блок І-типу			
Декодування компоненти блоку (кількість операцій)	2	2	1
Декодування трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	$2mn$	$2mn$	mn
Деквантування трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	-	mn	-
Зворотнє ДКП трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	-	$2mn \log_2 mn$	$2mn \log_2 mn$

Так, якщо розглядати блоки розмірністю $8 \cdot 8$, то для блоків Р-типу потрібно 389 арифметичних операцій для декодування, а для блоків І-типу – 850. У стандарті MPEG всі блоки обробляються за допомогою ДКП і квантування, тому запропонований метод дозволить зменшити кількість арифметичних операцій на 461 для кожного блоку Р-типу.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

Розроблено метод кодування прогнозованих кадрів з урахуванням управляючих механізмів, а саме:

1. Обґрунтовано вибір прогнозованих Р-кадрів для удосконалення методів обробки через їх серйозний вплив на ступінь компресії відеоінформації. Щодо опорних кадрів обсяг переданих даних у Р-кадрі зменшується в середньому в 2-3 рази. Тому, чим більша кількість Р-кадрів використовується в відеопослідовності, тим сильніша компресія в цілому, але гірша якість зображення. Відповідно, вищим повинен бути рівень контролю за помилками через те, що помилка в одному блоці пошириться на всю групу наступних Р-кадрів.

2. Досліджено недоліки статистичної компресії, заснованої на кодуванні Хаффмана – висока чутливість до помилок, необхідність у буферному накопичуванні, неможливості визначення ступеня компресії до початку кодування, великі затримки при побудові дерева для довгої відеопослідовності. Тому запропонований варіант реалізації алгоритму кодування передбачених кадрів на основі блочного кодування.

3. Розроблено метод кодування, який заснований на використанні двох типів блоків І- та Р-, які вибираються за заданим порогом ΔD з урахуванням функціоналу $f(E(t)^{\zeta, \gamma})$, що відображає рівень інформативності оброблюваного блоку. Таким чином, вводиться додаткова можливість управління бітовою швидкістю відеотрафіка шляхом зміни кількості блоків І- та Р-типу.

4. Розроблено метод кодування відеоданих на основі блочного коду. Важливою властивістю блокових позиційних чисел є можливість аналітичного обчислення коду для масиву даних, що не потребує формування таблиці допустимих блокових позиційних чисел. Додаткове підвищення ступеня компресії також відбувається за рахунок зменшення

довжини кодового подання прогнозованого блоку та адаптивного вибору системи основ блочного числа.

5. Розроблено метод декодування зображень з використанням блокових чисел, який порівняно зі статистичними декодерами має ряд переваг:

- немає необхідності у використанні маркерів для поділу службової та інформаційної частин при формуванні пакетів даних;

- підвищення завадостійкості за рахунок поширення помилок тільки в межах одного коду блочного числа, таким чином, їх вплив поширюється тільки на один стовпець, а не на весь блок;

- елементи відновлюваного блоку декодуються незалежно один від одного, що дозволяє застосовувати паралельну обробку даних для зниження часу на обробку даних;

- немає необхідності у використанні кодових таблиць і алгоритмів пошуку по ним, тому що вся необхідна інформація передається в службовій частині разом з кодом.

Результати досліджень третього розділу опубліковані в роботах [51 – 53, 64, 168, 172, 173, 179, 182, 183, 220].

РОЗДІЛ 4

МЕТОД ОБРОБКИ СЕГМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДВОРІВНЕВОГО ЗРОСТАННЯ КОДУВАННЯ ВЕКТОРІВ КОРТЕЖІВ ТРАНСФОРМАНТИ

Проведено обґрунтування інтерпретації усіченого вектора двохкомпонентних кортежів у вигляді укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементних чисел, утворених для окремих двохкомпонентних кортежів.

Доведена теорема, в результаті чого отримано кодоутворюючі співвідношення, які забезпечують формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною за дворівневою схемою, а саме на першому рівні формується кодове подання для окремих двохкомпонентних кортежів, а на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для кодів, отриманих на першому рівні.

Викладені етапи методу формування компактного представлення сегментованих зображень на основі виявлення вектора двохкомпонентних кортежів для лінеаризованих трансформант.

Запропонована технологія розподілу компонент кортежу по кодограмі в комбінованому режимі, а саме коли будуються нерівномірні кодограми з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двохкомпонентних кортежів.

Розроблений метод обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам, який формуються за комбінованим принципом з встановленими обмеженнями.

4.1 Розробка принципів кодування вектора двокомпонентних кортежів

Для побудови кодового представлення вектора P двокомпонентних кортежів необхідно враховувати такі особливості [28, 63]:

1) кортеж $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$ формується з двох компонент, де ℓ_α – довжина ланцюжка нульових компонент, а c_α – значення компоненти, не рівної нульовому значенню;

2) в напрямку рядків такий масив являє собою структурні елементи трансформанти, що мають неоднорідні властивості, а в напрямку стовпців – однорідні за структурним формуванням кількісні параметри лінеаризованої трансформанти;

3) компоненти кортежу незалежно один від одного приймають значення відповідно в межах таких динамічних діапазонів:

$$1 \leq \ell_\alpha \leq \lambda(\ell) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{\ell_\alpha\}; \quad 1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{c_\alpha\}; \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}}-1};$$

4) обробці піддається не весь вектор, а тільки та його частина P' , яка не містить перший і останній кортежі:

$$P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\}.$$

Отже, усічений вектор P' двокомпонентних кортежів є масивом розмірністю $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$.

При цьому довжина $n_{\text{крт}}$ вектора двокомпонентних кортежів не відома заздалегідь, тому що залежить від кількості і довжин ланцюжків нульових компонент трансформанти ДКП.

Двокомпонентний кортеж $\Theta_\alpha^{(2)}$ відповідно до комбінаторної інтерпретації, яка задається першою та другою властивостями, є перестановкою з повтореннями, на елементи якої накладено обмеження на динамічний діапазон, дорівнюють $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$. У той самий час такі послідовності є двоосновними позиційними числами [48; 54, 55].

Визначення 4.1. Двокомпонентний кортеж, компоненти якого задовольняють властивостям 1 і 2, називається двоелементним числом.

В якості старшого елемента $\theta_{1,\alpha}$ розглядається перша компонента кортежу, а саме довжина ℓ_α ланцюжка нульових компонент. Відповідно молодшим елементом $\theta_{2,\alpha}$ є друга компонента кортежу, тобто значуща компонента c_α лінеаризованої трансформанти.

Для кожного кортежу $\Theta_\alpha^{(2)}$ як двоелементного числа можна сформулювати кодове значення $E(\Theta_\alpha^{(2)})$. Причому, відповідно до властивості двоосновних позиційних чисел, значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ обмежено зверху величиною, що дорівнює добутку основ $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$:

$$E(\tilde{\Theta}_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c).$$

При цьому, оскільки величини $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ є фіксованими в межах оброблюваного вектора, то таке обмеження буде відповідати для всіх кодів, отриманих для двокомпонентних кортежів поточної лінеаризованої трансформанти:

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \text{ для } \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (4.1)$$

Отже, формується послідовність

$$A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\},$$

складена з величин $E(\Theta_\alpha^{(2)})$, для яких виконується обмеження (4.1). Послідовність A з такими властивостями є позиційним числом з основою $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Оскільки елементи $E(\Theta_\alpha^{(2)})$, у свою чергу, є кодами чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$, то складені з них позиційні числа A називаються укрупненими позиційними числами.

У той самий час, відповідно до четвертої властивості, довжина укрупненого позиційного числа заздалегідь не відома, тобто $n_{\text{крт}} = \text{var}$. У зв'язку з чим, сформулюємо таке визначення [158 – 160].

Визначення 4.2. Позиційне число A , кількість елементів якого заздалегідь невідоме, а самі елементи, у свою чергу, є кодами $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ двоелементних чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$ і задовольняють обмеженню 4.1 називаються укрупненим позиційним числом (УПЧ) з невизначеною довжиною (НД).

Для врахування третьої властивості пропонується знижувати динамічний діапазон компонент кортежу до нульового рівня. Вводяться величини ℓ'_α і c'_α :

$$\ell'_\alpha = \ell_\alpha - 1; \quad c'_\alpha = c_\alpha - 1.$$

В результаті значення компонент прийматимуть значення в діапазонах:

$$0 \leq \ell'_\alpha \leq \lambda(\ell) - 1, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}; \quad (4.2)$$

$$0 \leq c'_\alpha \leq \lambda(c) - 1, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (4.3)$$

Для отримання коду відповідного укрупненого невизначеної довжини позиційного числа, складеного з перетрансформованих двокомпонентних кортежів, сформулюємо і доведемо наступну теорему.

Теорема про кодування укрупненого невизначеної довжини позиційного числа. Значення коду $E(P')$ для усіченого вектора P' двокомпонентних кортежів розмірністю $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$, як комбінаторного об'єкту, а саме в напрямку рядків - структурні елементи трансформанти, що мають неоднорідні властивості з основами $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$, а в напрямку стовпців – однорідні за структурним формуванням кількісні параметри лінеаризованої трансформанти, визначається на основі такого співвідношення [161 – 163; 174]:

$$E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_{\alpha} \lambda(c) + c_{\alpha}) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}, \quad (4.4)$$

де $(n_{\text{крт}} - 2)$ – довжина усіченого вектора двокомпонентних кортежів; $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ – відповідно основи компонент векторів довжин ланцюжків нульових компонент і значущих компонент.

Доказ. Відповідно до комбінаторної інтерпретації, двокомпонентний кортеж $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ є двоелементним числом з основами, рівними $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$. Старшим елементом є перша компонента $\theta_{1,\alpha}$ кортежу (довжина ℓ_{α} ланцюжка нульових компонент), а молодшим елементом – друга компонента $\theta_{2,\alpha}$ кортежу (значуща компонента c_{α}). Тоді значення коду $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ для двоелементною числа $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ дорівнює:

$$E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) = (\ell_{\alpha} \lambda(c) + c_{\alpha}). \quad (4.5)$$

Згідно визначення 4.2, сформована на основі значень кодів $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ послідовність A , $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$, є укрупненим позиційним числом з основою рівною $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Тоді допустима кількість $W(A^{(\alpha)})$ укрупнених позиційних чисел, відповідна підпослідовності $A^{(\alpha)}$, складеної з кодів $E(\Theta_\gamma^{(2)})$ молодших щодо α -го коду, тобто $\gamma = \overline{\alpha + 1, n_{\text{крт}} - 1}$, $A^{(\alpha)} = \{E(\Theta_{\alpha+1}^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$, буде визначатися як накопичений добуток основ молодших елементів УПЧ:

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}.$$

З урахуванням чого, значення коду $E(A)$ укрупненого позиційного числа A , елементи якого мають основи рівні $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$, дорівнює:

$$E(A) = E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} E(\Theta_\alpha^{(2)}) W(A^{(\alpha)}).$$

Розписавши в отриманому виразі значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для числа і вагового коефіцієнта $W(A^{(\alpha)})$, отримаємо:

$$E(A) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) W(A^{(\alpha)}) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}. \quad (4.6)$$

У формулі (4.6) величина $W(A^{(\alpha)})$ виступає як ваговий коефіцієнт α -го елемента укрупненого позиційного числа (рис. 4.1).

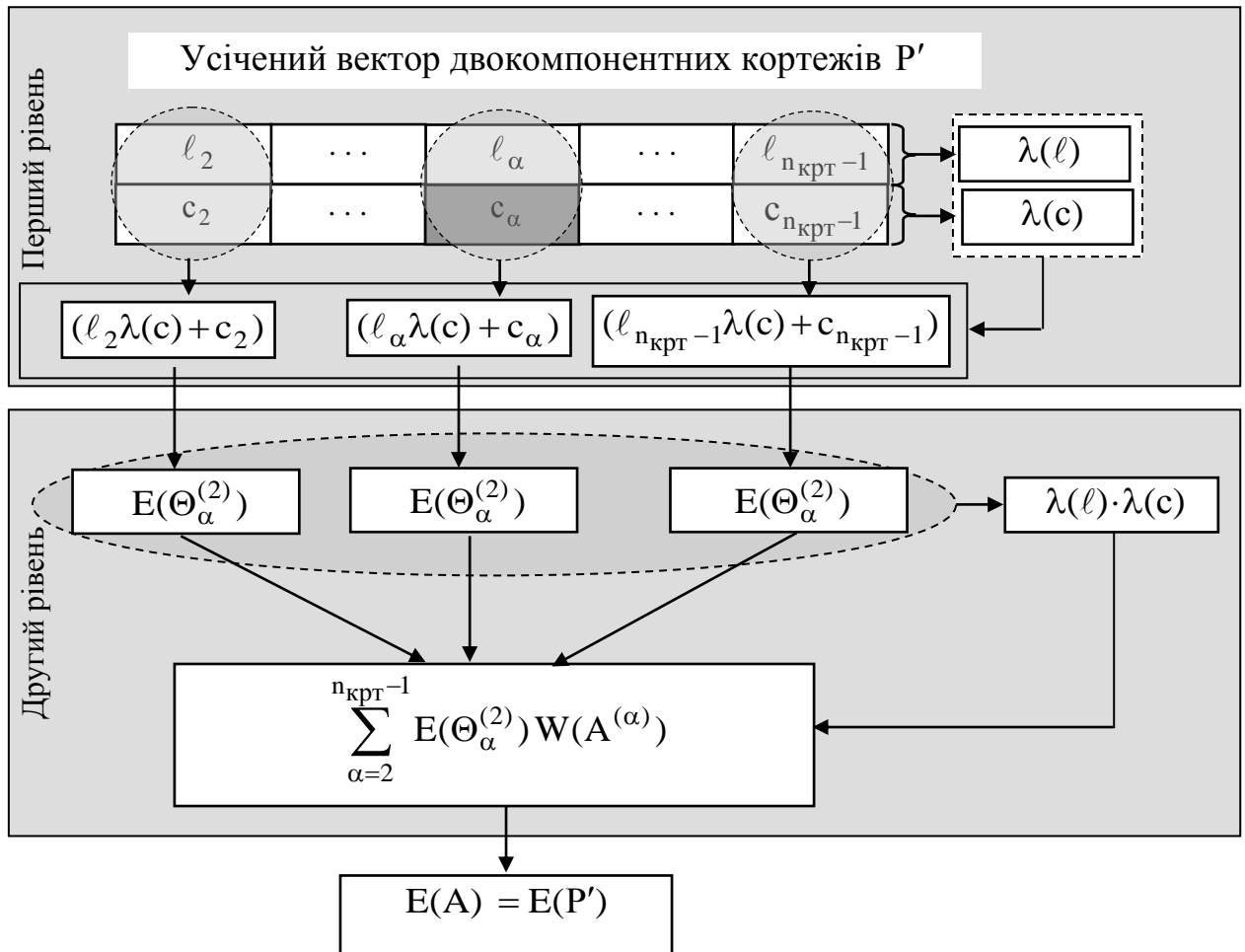


Рисунок 4.1 – Схема дворівневого кодування вектора двокомпонентних кортежів

Отримане співвідношення дозволяє обчислити код $E(A)$ для укрупненого позиційного числа A . У той самий час число A формується як дворівневий позиційний опис усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Тому значення коду для УПЧ є кодовим поданням вектора P' , тобто $E(A) = E(P')$. Теорема доведена.

З доведеної теореми випливає, що кодування усіченого вектора двокомпонентних кортежів здійснюється за дворівневою схемою (див. рис. 4.1). На першому рівні формується кодове подання для окремих двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$. Відповідно на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для отриманих на першому рівні кодів.

В такому випадку структура кодограми складається з двох частин, включаючи службову й інформаційну частини (рис. 4.2)

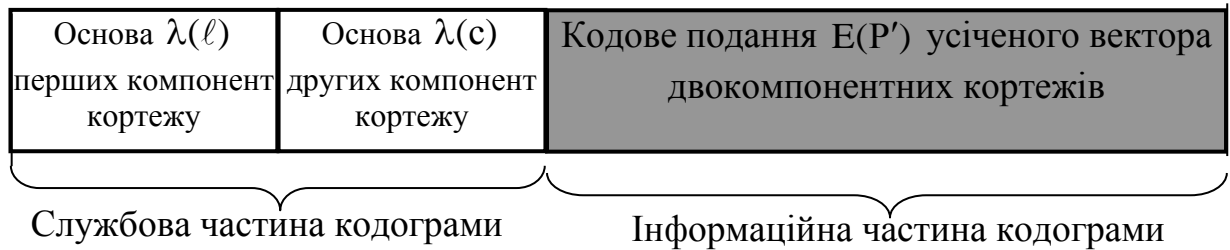


Рисунок 4.2 – Структура кодограми для укрупненого позиційного числа

Інформаційна частина кодограми включає в себе кодове представлення значення коду $E(P')$ усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Службова частина містить основи компонент кортежу.

Отже, обґрунтована інтерпретація усіченого вектора двокомпонентних кортежів як укрупнених позиційних чисел, елементами яких є кодові значення окремих кортежів, що розглядаються як двоелементне число

У результаті доведення теореми отримано кодовий вираз для визначення коду укрупненого позиційного числа з використанням дворівневої схеми. Кодування проводиться без втрати інформації з урахуванням особливостей двокомпонентних кортежів, а саме зниження динамічного діапазону щодо нульового рівня.

4.2. Розробка методу формування компактного представлення сегментованих зображень

Розглянемо особливості інтеграції розробленого кодового представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів лінеаризованої трансформанти в стандарт компресії на JPEG платформі [67, 176; 164; 165].

Тут, з одного боку, необхідно враховувати такі особливості формування обробленого представлення усіченого вектора, а саме:

1) усічений вектор P' формується шляхом виключення першого кортежу, що містить значення низькочастотної DC-компоненти та останнього кортежу, що включає в себе довжину останнього ланцюжка нульових компонент:

$$P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\};$$

2) кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів є змінною величиною, значення якої заздалегідь невідомо, і залежить від змісту сегмента зображення і фактора f втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти:

$$n_{\text{крт}} = \varphi(f) = \text{var};$$

3) значення коду і довжина кодограми усіченого вектора залежить від статистичних, структурних властивостей сегментів зображення, режиму корекції компонент трансформант в процесі квантування;

4) у процесі кодування двокомпонентних кортежів враховуються закономірності структурно-комбінаторної природи, які виявляються для конкретно оброблюваного фрагмента, тобто обробка проводиться адаптивно до структурних властивостей лінеаризованої трансформанти. Значення коду формується на основі лексикографії позиційних чисел. В цьому випадку:

- для обчислення кодового значення не потрібно здійснювати попередню оцінку ймовірносно-статистичних характеристик трансформанти і використовувати таблиці статистичних кодів;

- кодові слова не використовують принцип префіксності, який властивий для нерівномірних статистичних кодів;

5) відмінною службовою інформацією для розробленого кодового представлення усіченого вектора є двокомпонентна система основ, яка

формується для довжин ланцюжків нульових компонент і значущих елементів.

З іншого боку, в процесі такої інтеграції необхідно враховувати вимоги, які пред'являються до систем компресії зображень, а саме, забезпечити зниження бітової швидкості обробленого відеопотоку в умовах обмеженої складності процесу обробки і корекцій частотних складових. Для цього потрібно забезпечити таке [29; 166; 191; 192]:

- 1) компресію в режимі обмежених значень фактора втрати якості;
- 2) виключення використання додаткових службових даних;
- 3) виключення необхідності значного збільшення кількості операцій, які витрачаються на виконання умов інтеграції кодового подання усіченого вектора в систему компресії потоку відеокадрів;
- 4) стійкість кодових комбінацій компактно представленого потоку відеокадрів до помилок в каналі зв'язку.

Схема інтеграції кодового подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів у технологію компресії на базі платформи JPEG представлена на рис. 4.3.

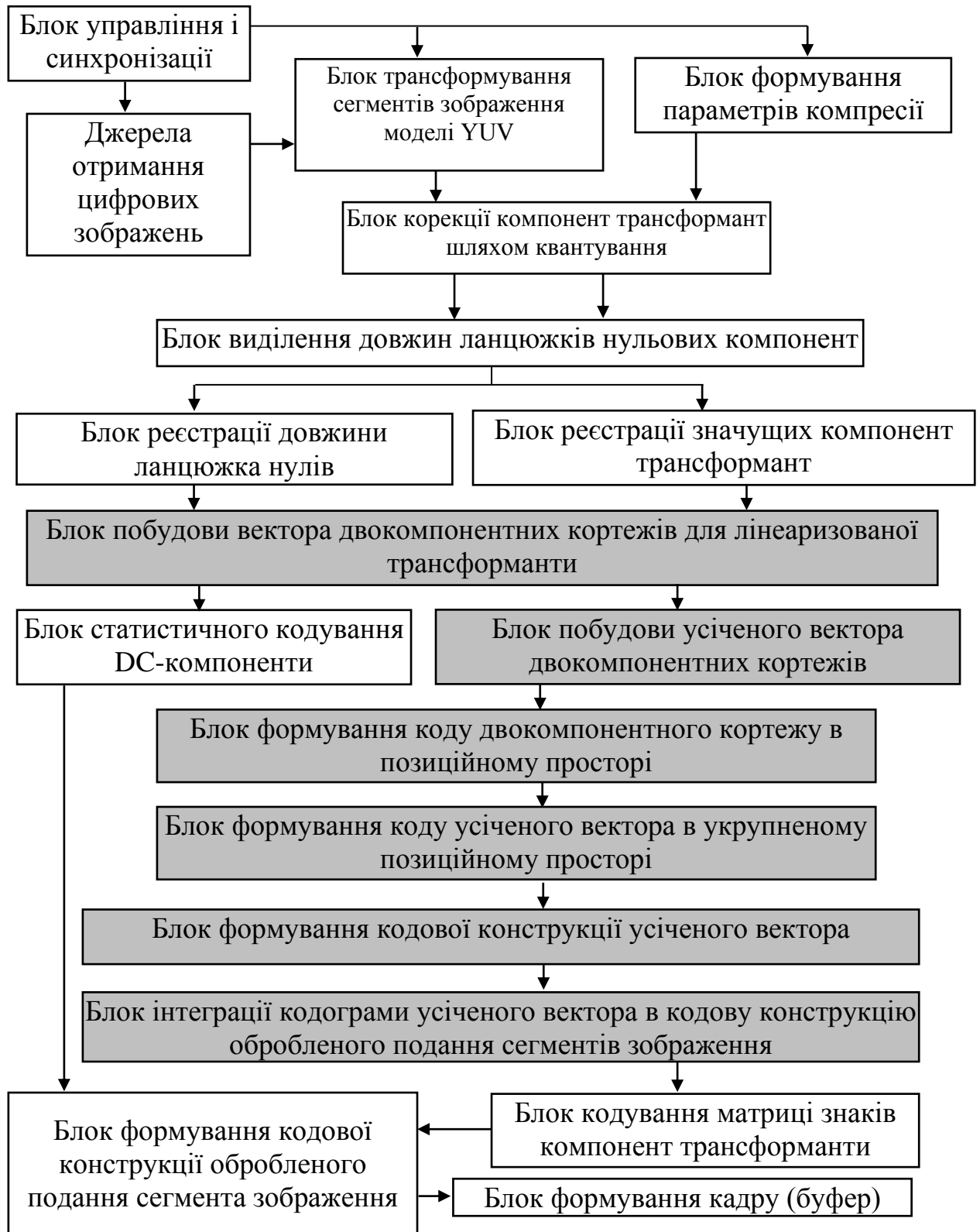


Рисунок 4.3 – Схема інтеграції кодового подання усіченого вектора двокорнетних кортежів у технологію компресії на базі платформи JPEG

Згідно зі схемою інтеграції кодека для платформи JPEG, виконуються такі базові етапи.

Перший етап. Перехід зображення триколірової моделі RGB у кольорорізнісний простір YUV без втрати інформації:

$$y_{ij} = \lfloor (r_{ij} + 2g_{ij} + b_{ij}) / 4 \rfloor; \quad u_{ij} = r_{ij} - g_{ij}; \quad v_{ij} = b_{ij} - g_{ij}, \quad (4.7)$$

де $Y = \{y_{ij}\}$, $U = \{u_{ij}\}$, $V = \{v_{ij}\}$.

У цьому випадку, як формат колірної подання, використовується режим забезпечення високої якості відеосцен.

Це передбачає використання формату 4: 2: 2 – горизонтальні розміри матриць U і V вдвічі менше розміру матриці Y , а вертикальні розміри однакові. Тоді структура макроблоку є неоднорідною і складається з восьми блоків, включаючи: чотири блоки яскравості і чотири блоки кольоровості (по два блоки U і V) у такому порядку:

Y1; Y2; Y3; Y4; U1; V1; U2; V2.

Другий етап пов'язаний з переведенням з просторово-часового подання сегментів в частотно-спектральне. Для цього виконується дискретно-косинусне перетворення сегментів зображення:

$$H(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell} F^T(\ell), \quad (4.8)$$

де $X(i, j)_{k, \ell}$ – масив відеоданих, утворений на базі однієї з площин кольорорізнісних моделей зображення;

k, ℓ – відповідно індекс рядка і стовпця елемента масиву $X(i, j)_{k, \ell}$,
 $k = \overline{1, q_r}$; $\ell = \overline{1, q_c}$;

$H(k, \ell)$ – матриця компонент трансформанти dct-перетворення масиву відеоданих;

$F(k)$, $F^T(\ell)$ – відповідно вектор дискретних значень базисних функцій ДКП і його транспонований вид:

$$F(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{q_\ell}} & \rightarrow k=1; \\ \sqrt{\frac{2}{q_\ell}} \cos \frac{(2q_\ell + 1)k\pi}{2q_\ell}, & \rightarrow k = \overline{2, q_\ell}. \end{cases} \quad (4.9)$$

Двопрохідна реалізація двовимірного ДКП задається такою послідовністю дій:

1) на першому проході в результаті одновимірного ДКП для стовпців сегмента проводиться формування масиву $P(k, \ell)$:

$$P(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell}, \quad (4.10)$$

де $P(k, \ell)$ – проміжний масив розмірності $q_\ell \times q_c$;

2) на другому проході виконується одномірне ДКП для рядків проміжного масиву $P(k, \ell)$:

$$H(k, \ell) = P(k, \ell) F^T(\ell). \quad (4.11)$$

В результаті чого утворюється необхідна трансформанта.

Третій етап полягає в проведенні корекції компонент трансформант відповідно до фактора втрати якості.

На четвертому етапі отримується лінеаризоване подання трансформанти з подальшим виділенням вектора двокомпонентних кортежів.

Кодування низькочастотної DC-компоненти проводиться на п'ятому етапі процесу обробки [70, 195; 196].

Низькочастотна компонента обробляється окремо від інших AC-компонент трансформанти. Дана обробка проводиться з урахуванням незначної зміни когерентності між сусідніми сегментами зображення. В цьому випадку кодування полягає в тому, що поточна DC-компонента $c_{1,r}$ для r -ої трансформанти представляється у вигляді різниці щодо значення компоненти $c_{1,r-1}$ попередньої $(r-1)$ -ї трансформанти [30; 193; 194]:

$$c'_{1,r} = c_{1,r} - c_{1,r-1}, \quad (4.12)$$

де $c'_{1,r}$ – значення різниці між низькочастотними компонентами $c_{1,r}$ та $c_{1,r-1}$.

Перетворення, задане формулою (4.12) дозволяє скоротити діапазон низькочастотних компонент, а, отже, використовувати для їх кодового подання потенційно меншу кількість двійкових розрядів. Дійсно, низькочастотні компоненти, для сусідніх трансформант, змінюються не значно. Тобто виконуватиметься умова:

$$c'_{1,r} < c_{1,r} \text{ і } c'_{1,r} < c_{1,r-1}.$$

Звідси розрядність різниці $c'_{1,r}$ між сусідніми DC-компонентами буде меншою розрядності вихідних DC-компонент $c_{1,r}$ та $c_{1,r-1}$:

$$V(c'_{1,r}) < V(c_{1,r}).$$

де $V(c'_{1,r})$, $V(c_{1,r})$ – кількість двійкових розрядів, яке витрачається відповідно на кодове подання DC-компонент $c'_{1,r}$ та $c_{1,r}$.

Згідно з рекомендаціями технології JPEG, низькочастотні компоненти, представлені в диференційному вигляді, кодуються двома кодовими частинами $[e(c'_{1,r})]_2$ та $[\mu(c'_{1,r})]_2$. Перша складова $[e(c'_{1,r})]_2$ є основною складовою двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$ диференційного предсталення DC-компоненти $c'_{1,r}$.

Основний код – це статистичний префіксний код довжиною $V(e_{1,r})$ біт.

Друга складова являє собою додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$. Додатковий код – це додаткові біти, які формуються з молодших розрядів значення різниці $c'_{1,r}$, записані в двійковому вигляді. Довжина додаткового коду дорівнює $V(\mu_{1,r})$ біт.

Тоді двійковий код $[c'_{1,r}]_2$ для різницевого подання DC-компоненти $c'_{1,r}$ визначається на основі виразу:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2\}.$$

У цій формулі: $[e(c'_{1,r})]_2$ – основна складова двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$; $[\mu(c'_{1,r})]_2$ – додаткова складова двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$.

Схема кодограми DC-компоненти, наведена на рис. 4.4.

Відповідно, довжина $V(c'_{1,r})$ кодового подання компоненти $c'_{1,r}$ дорівнює:

$$V(c'_{1,r}) = V(e_{1,r}) + V(\mu_{1,r}) \text{ (біт)}.$$

Основний код $[e(c'_{1,r})]_2$ утворюється шляхом виконання двох етапів обробки [31].

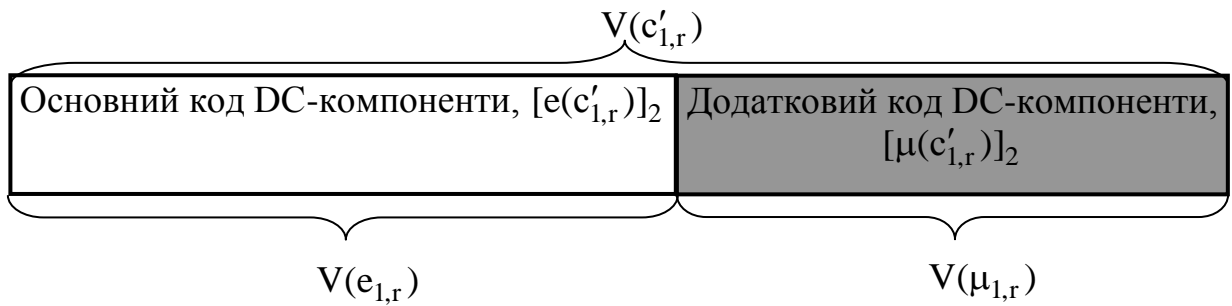


Рисунок 4.4 – Структура кодограми низькочастотної компоненти

На першому етапі визначається категорія ξ , відповідна діапазону значення різниці $c'_{1,r}$. Для цього використовується табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Категорії кодування DC компонент

Діапазон значень DC компонент		Коди розрядності (категорія) для різниці DC компонент
Негативний діапазон	Позитивний діапазон	$\xi = \overline{0; 16}$
$[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$	$[2^{\xi-1}; -2^\xi - 1]$	ξ

У табл. 4.1 прийняті такі позначення: $[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$ – негативний діапазон значення DC компонент, відповідний ξ -ій категорії; $[2^{\xi-1}; -2^\xi - 1]$ – позитивний діапазон значення DC компонент, відповідний ξ -ій категорії; ξ – номер категорії; $\xi = \overline{0; 16}$ – значення категорії від 0 до 16 біт.

Другий етап полягає в тому, що на основі визначення категорії ξ та, використовуючи дані табл. 4.2, здійснюється вибір відповідного статистичного коду $[e(c'_{1,r})]_2$. При цьому основний код $[e(c'_{1,r})]_2$ вказує тільки на порядок різниці. Тому для безпомилкового декодування на приймальній стороні вводиться додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$, уточнюючий категорію до точного значення різниці.

Значення різниці $c'_{1,r}$ може перебувати в одному з діапазонів:

$$c'_{1,r} \in [-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}] \text{ або } c'_{1,r} \in [2^{\xi-1}; -2^\xi - 1].$$

Якщо величина $c'_{1,r}$ належить діапазону $[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$, тобто знаходиться в області негативних чисел, то:

1) показчик знака величини $c'_{1,r}$ дорівнює $z = 1$;

Таблиця 4.2 – Стандартні коди для низькочастотних DC компонент

Категорія кодування DC-компонент	Основний двійковий код	Довжина додаткового коду	Довжина коду значення різниці компоненти $c'_{1,r}$
ξ	$[e(c'_{1,r})]_2$	$V(\mu_{1,r})$	$V(c'_{1,r})$
0	010	0	3
1	011	1	4
2	100	2	5
3	00	3	5
4	101	4	7
5	110	5	8
6	1110	6	10
7	11110	7	12
8	111110	8	14
9	1111110	9	16
A	11111110	10	18
B	111111110	11	20

2) від додаткового коду $[\mu(c'_{1,r})]_2$ віднімається одиниця:

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c_{1,r})]_2 - 1.$$

Навпаки коли значення величини $c'_{1,r}$ належить області позитивних значень, тобто $c'_{1,r} \in [2^{\xi-1}; -2^{\xi} - 1]$, то:

- 1) показчик знака величини $c'_{1,r}$ дорівнює $z = 0$;
- 2) додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$ залишається без зміни.

Розглянемо приклад обробки низькочастотної компоненти. Вихідні дані:

- 1) значення DC-компоненти попередньої трансформанти, $c_{1,r-1} = -17$;
- 2) лінеаризована трансформанта:

$$Y_m = [-26 \ -3 \ 1 \ -3 \ -2 \ -6 \ 2 \ -4 \ 1 \ -4 \ 1 \ 1 \ 5 \ 0 \ 2 \ 0 \ 0 \ -1 \ 2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1 \ \text{КБ}],$$

де КБ – кінець блоку.

Для даного прикладу DC-компонента дорівнює $c_{1,r} = 26$. Згідно формули (4.12), отримаємо значення величини $c'_{1,r}$:

$$c'_{1,r} = c_{1,r} - c_{1,r-1} = 26 - (-17) = 43.$$

Відповідно до табл. 4.1, помічаємо, що величина $c'_{1,r} = 43$ потрапляє в негативний діапазон з категорією $\xi = 4$. Використовуючи табл. 4.2, отримуємо трьохбітний ($V(e_{1,r})=3$) основний код:

$$[e(c'_{1,r})]_2 = \{1; 0; 1\}.$$

Довжина $V(c'_{1,r})$ кодового подання величини $c'_{1,r}$ для категорії $\xi = 4$ становить 7 біт:

$$V(c'_{1,r}) = V(e_{1,r}) + V(\mu_{1,r}) = 3 + 4 \text{ (біт)}.$$

Після утворення основної складової коду результуюча кодограма матиме такий вигляд:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; _ : _ ; _ ; _ \} = \{1; 0; 1; _ : _ ; _ ; _ \}.$$

Молодші розряди, тобто додатковий код, формуємо на основі молодших розрядів різниці:

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0; 1; 1; 1\}.$$

Причому, оскільки різниця негативна, то $z = 1$ та

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c'_{1,r})]_2 - 1 = \{0; 1; 1; 0\}.$$

В результаті отримаємо таку кодограму для DC-компоненти:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2 - 1\} = \{1; 0; 1; 0; 1; 1; 0\}.$$

Розглянемо блок етапів, пов'язаних з інтеграцією кодека для усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Даний блок є основним для кодування трансформованих сегментів у частотно-спектральній області на основі усунення психовізуальної, структурної та статистичної надмірності.

Розглянемо, як впливають особливості кодового подання усіченого вектора на виконання вимог до систем компресії.

Перша особливість полягає в тому, що кількість кортежів $n_{\text{крт}}$ є змінною. У загальному випадку величина $n_{\text{крт}}$ залежить від:

- сукупності $\Omega_{\text{сег}}$ статистичних, структурних властивостей для сегмента зображення;
- фактора f втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти.

Характер такої залежності можна умовно задати деяким функціоналом $\varphi_{\text{крт}}$:

$$n_{\text{крт}} = \varphi_{\text{крт}}(\Omega_{\text{сег}}; f) = \text{var}.$$

Однак конкретний математичний опис даного функціоналу $\varphi_{\text{крт}}$ невідомий. Значить, кількість $n_{\text{крт}}$ кортежів є заздалегідь невизначеною величиною.

У той самий час від кількості кортежів в усіченому векторі залежить значення коду $E(P')$ і довжина кодограми $V(P')_{\text{comp}}$. У результаті їх значення також будуть змінними:

$$E(P') \sim n_{\text{крт}} = \text{var}; V(P')_{\text{comp}} \sim E(P') \sim n_{\text{крт}} = \text{var}. \quad (4.13)$$

При цьому довжина машинного слова та інформаційної частини пакету обмежені, наприклад, величиною V_{max} . Тому можуть виникнути ситуації, пов'язані:

- з переповненням машинного і кодового слова, встановленої довжини V_{max} :

$$V(P')_{\text{comp}} > V_{\text{max}}, \quad (4.14)$$

що призводить до неконтрольованих втрат інформації. Якщо врахувати, що вектор двокомпонентних кортежів несе в собі структурну інформацію про лінеаризовану трансформанту, то навіть незначні спотворення призведуть до лавинного ефекту щодо розмноження спотворень;

- з появою кількості кодової надмірності, обумовленої неповним завантаженням кодового (машинного) слова:

$$V(P')_{\text{comp}} \lll V_{\text{max}}. \quad (4.15)$$

Для таких варіантів буде відбуватися втрата ступеня компресії і підвищення бітової швидкості обробленого потоку відеокадрів.

Тому в процесі інтеграції кодека для вектора необхідно виключити такі ситуації (задані виразами (4.14) та (4.15)).

Для цього пропонується контролювати довжину кодограми $V(P')_{\text{comp}}$ для усіченого вектора на основі таких підходів:

1. Використання принципу формування кодограм рівномірної довжини, коли формується не одна, а кілька кодограм однакової довжини. Але при декодуванні виникають такі недоліки:

а) потрібно використовувати додаткову інформацію про кількість кодограм;

б) для останньої кодограми буде існувати значна кількість кодової надмірності. Це обумовлено неоптимальністю вибору довжини і кількості кодограм. В іншому випадку довелося б додатково передавати інформацію не тільки про кількість кодограм, але і про довжину кожної кодограми.

2. Використання однієї нерівномірної кодограми нерівномірної довжини, але з можливістю визначення її довжини. Але такий підхід має істотні недоліки. Якщо кількість кортежів може перевищувати 8 ($n_{\text{крт}} > 8$), то довжина $V(P')$ кодограми перевищує 64 біта ($V(P') > 64$). В результаті формується кодограма, довжина якої буде перевищувати довжину машинного слова, що неминуче призводить до втрати інформації.

Для виключення такого недоліку пропонується вводити обмеження на максимальну довжину кодограми. В результаті, можуть утворюватися кілька Ψ кодограм, включаючи одну або декілька кодограм заданої довжини V_{max} і

одну кодограму змінної довжини $V(P')_{\Psi}$. Тут Ψ – кількість кодограм, які утворюються для усіченого вектора. Якщо $\Psi=1$, то для усіченого вектора формується одна кодограма нерівномірної довжини. Якщо $\Psi=2$, то для усіченого вектора формується дві кодограми, одна з яких має встановлену довжину V_{\max} , а інша – нерівномірну довжину [197 – 201].

Такий принцип побудови кодограм називається формуванням нерівномірних кодограм з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двокомпонентних кортежів.

У той самий час такий принцип кодоутворення передбачає використання службової інформації, що забезпечує в процесі декодування визначення кількості Ψ кодограм і довжину нерівномірної кодограми.

Для визначення необхідної службової інформації розглянемо механізм формування кодограм. Згідно властивостей позиційного подання, верхньою межею для значення коду $E(A)_{v_{\Psi}}$, отриманого для УПЧ довжиною v_{Ψ} , є величина $W^{(v_{\Psi})}$, що дорівнює добутку основ $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ його елементів:

$$E(A)_{v_{\Psi}} < (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{v_{\Psi}}, \quad (4.16)$$

де $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ – основа елемента укрупненого позиційного числа (УПЧ); $v_{\Psi} = \overline{1, \Psi}$.

Якщо $\Psi = 1$, то будується одна кодограма нерівномірної довжини для всього усіченого вектора, який містить $(n_{\text{крт}} - 2)$ кортежів. Довжина кодограми дорівнює:

$$V(P')_1 = [\log_2 W^{(v_1)}] + 1 = [\log_2 W^{(n_{\text{крт}} - 2)}] + 1. \quad (4.17)$$

Якщо $\Psi \geq 2$, то кодограми будуються за змішаним принципом. Кількість v_Ψ кортежів для побудови кодограм із заданою обмеженою довжиною V_{\max} визначається за принципом виконання нерівності:

$$[\log_2 W^{(v_\Psi)}] + 1 \leq V_{\max}. \quad (4.18)$$

Це забезпечить виключення варіантів переповнення кодового слова.

Тоді кількість v_Ψ кортежів, які беруть участь в побудові кодограми нерівномірної довжини, дорівнює:

$$v_\Psi = (n_{\text{крт}} - 2) - \sum_{\xi=1}^{\Psi-1} v_\xi. \quad (4.19)$$

Відповідно довжина нерівномірної кодограми обчислюється з умови:

$$V(P')_\Psi = [\log_2 W^{(v_\Psi)}] + 1. \quad (4.20)$$

Аналіз співвідношень (4.17) – (4.20) свідчить, що необхідною інформацією є значення кількості $n_{\text{крт}}$ кортежів. Отже, в якості службової інформації, необхідної для інсталяції кодограм комбінованої довжини, є кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів.

Блок-схема технології розподілу кортежів по кодограмі в комбінованому режимі їх побудови на основі використання інформації про кількість елементів наведена на рис. 4.5.

На першому кроці проводиться установка початкових значень поточної кількості оброблюваних кортежів $\gamma=1$, кількості кортежів, для яких формується поточна кодограма $v_\Psi=0$ та поточне значення накопиченого добутку основ $W^{(\gamma)} = \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Другий крок пов'язаний з перевіркою $[\log_2 W^{(\gamma)}] + 1 < V_{\max}$ на можливість завершення відбору кількості кортежів для формування кодограми встановленої довжини V_{\max} . Якщо нерівність виконується і в усіченому векторі є ще необроблений останній кортеж, тобто виконується умова:

$$(\gamma + \sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi}) < (n_{\text{крт}} - 2),$$

то проводиться додавання чергового кортежу. Для чого кількість кортежів збільшується на 1, $\gamma := \gamma + 1$ та обчислюється накопичений добуток

$W^{(\gamma)} = \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\gamma)}$, де $(\gamma + \sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi})$ - кількість оброблених кортежів з

урахуванням кількості $\sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi}$ кортежів, відібраних для попередніх Ψ кодограм.

Якщо нерівність $[\log_2 W^{(\gamma)}] + 1 < V_{\max}$ не виконується, то поточна кількість кортежів є результуючим для формування поточної кодограми: $v_{\Psi} := \gamma$.

Після чого проводиться перевірка нерівності на наявність ще необроблених кортежів, тобто:

$$\sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi} < (n_{\text{крт}} - 2).$$

Якщо нерівність виконується, то здійснюється відбір кількості кортежів для формування чергової кодограми. Для цього проводиться перехід на крок 1. В іншому випадку, якщо нерівність не виконується, то всі кортежі оброблені, а отже, завершений процес розподілу кількості кортежів по кодограмам.

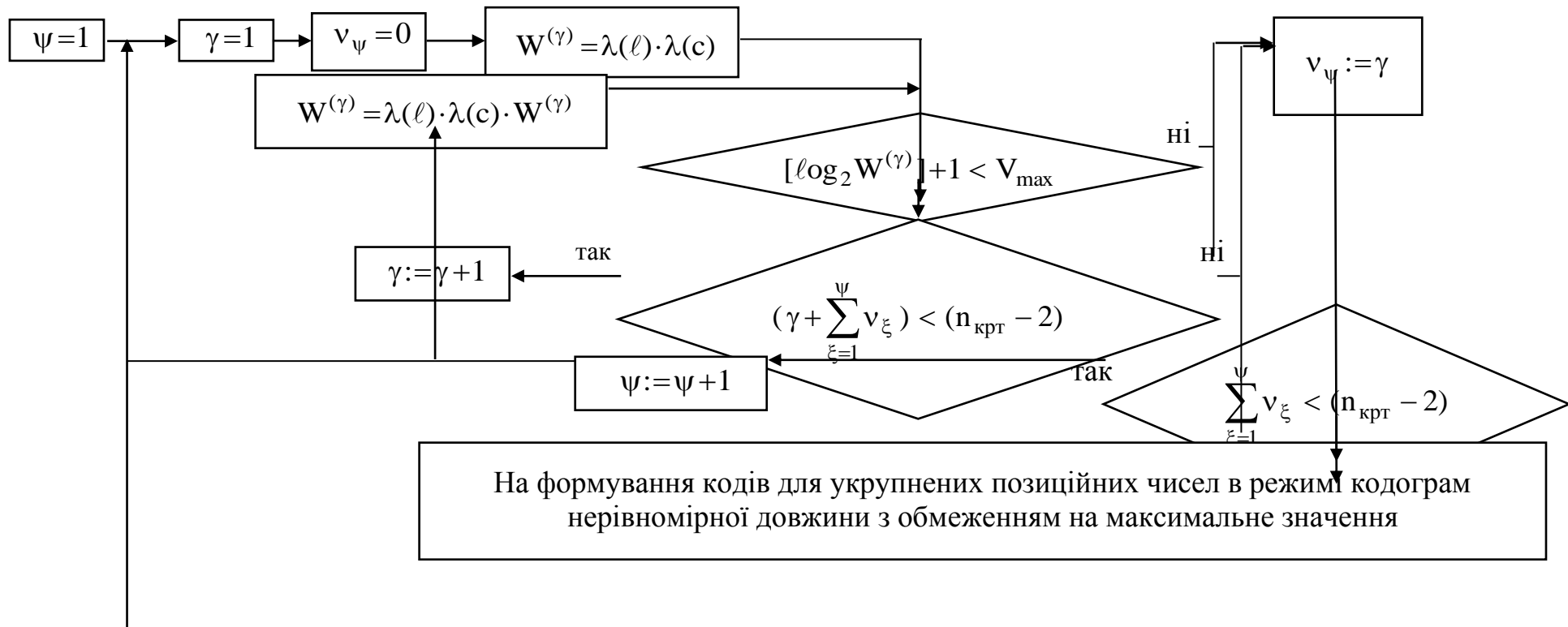


Рисунок 4.5 – Схема технології розподілу елементів укрупненого позиційного числа по кодограмам

В результаті такої технології формується послідовності, які включають кодограми, що мають заздалегідь встановлену довжину V_{\max} та кодограми нерівномірної довжини $V(P')_{\Psi}$:

$$\{\underbrace{V_{\max}, \dots, V_{\max}, \dots, V_{\max}}_{\Psi-1}, V(P')_{\Psi}\}.$$

При цьому, в загальному випадку, кількість кортежів розподіляються по кодограмам нерівномірно:

$$v_1 \neq \dots \neq v_{\Psi} \neq \dots \neq v_{\Psi}.$$

Структура кодової конструкції для обробленого представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів, що включають службові та інформаційні частини, наведена на рис. 4.6. Відповідно службова частина кодової конструкції містить кодові поля з інформацією про кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів, про заснування $\lambda(\ell)$ компонент довжин ланцюжків нульових компонент і основи $\lambda(c)$ значущих компонент.



Рисунок 4.6 – Структура кодограми обробленого представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів

В інформаційній частині такої конструкції міститься Ψ кодівих слів $G(P')_{\Psi}$ з інформацією про кодіві значеннях $E(A)_{v_{\Psi}}$ для складових усіченого вектора.

Значить, другою особливістю процесу інтеграції кодека для усічених векторів двокомпонентних кортежів є формування кодівих складових $E(A)_{v_{\Psi}}$ в умовах формування кодограм за комбінованим принципом. Обчислення кодівих складових $E(A)_{v_{\Psi}}$ пропонується організувати за рекурентною схемою. Така обробка забезпечить обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам, який формується за комбінованим принципом для встановленого обмеження V_{max} .

Блок-схема процесу обчислення кодової складової $E(A)_{v_{\Psi}}$ для відібраної змінної кількості двокомпонентних кортежів розгляднута на рис. 4.7. У процесі

кодування укрупнених позиційних чисел враховується дворівневий принцип обробки.

На першому рівні кодування усічених векторів формуються коди для окремих двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$, тобто $E(\Theta_\alpha^{(2)}) = (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha)$. Після чого проводиться розподіл кількості кодів чисел (двокомпонентних кортежів) для формування кодових складових $E(A)_{\nu_\psi}$ та формування відповідних кодограм $G(P')_\psi$. В цьому випадку якщо на α -му кроці виконується нерівність

$$[\log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 < V_{\max}, \quad (4.21)$$

то поточне значення $E(A)_\alpha$ для ψ -ої кодової складової дорівнює:

$$E(A)_\alpha = E(\Theta_\alpha^{(2)}) \cdot W(A^{(\alpha)}) + \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_\gamma^{(2)}) W(A^{(\gamma)}), \quad (4.22)$$

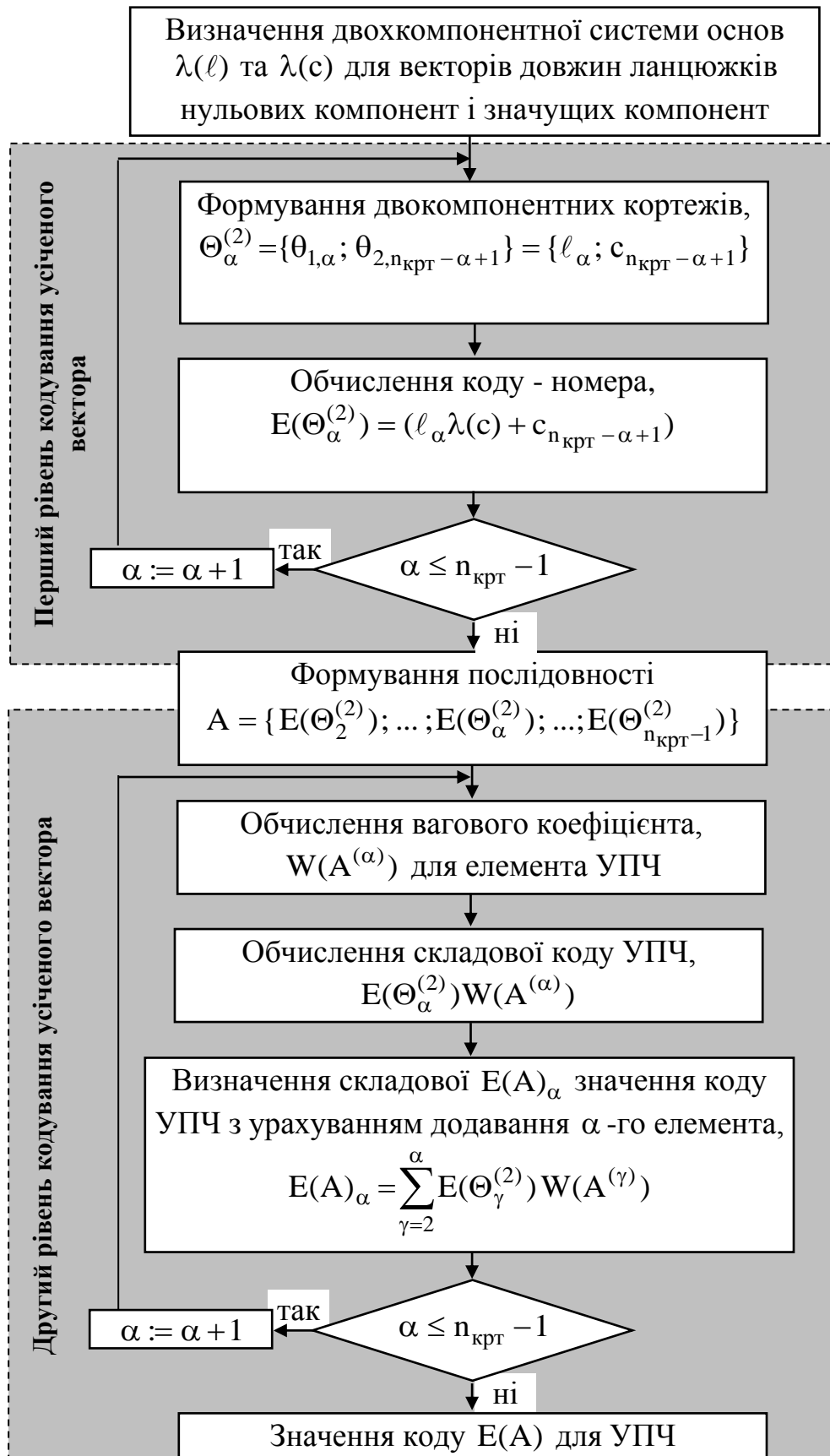
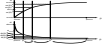


Рисунок 4.7 – Блок-схема формування коду для усіченого вектора за дворівневою схемою

де $\sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_{\gamma}^{(2)}) W(A^{(\gamma)})$ – значення кодової складової, отриманої для  кортежів; $E(A)_{\alpha}$ – значення кодової складової з урахуванням додавання α -го коду $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ числа.

Якщо на α -му кроці нерівність (4.21) не виконується, то процес відбору кількості кортежів та обчислення кодової складової вважається закінченим. У результаті чого кількість кортежів для ψ -ої кодової складової дорівнюватиме $v_{\psi} = \alpha - 1$, а відповідне значення величини $E(A)_{v_{\psi}}$ визначається як:

$$E(A)_{v_{\psi}} = E(A)_{\alpha-1} = \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_{\gamma}^{(2)}) W(A^{(\gamma)}). \quad (4.23)$$

Якщо виконується нерівність

$$\left(\alpha + \sum_{\xi=1}^{\psi} v_{\xi}\right) > (n_{\text{крт}} - 2),$$

то кількість необроблених кортежів відсутня, а значення кодової складової визначається за формулою (4.23) для $\psi = \Psi$.

Для варіанту, коли одночасно виконуються нерівності

$$[\log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 > V_{\max} \quad \text{і} \quad \sum_{\xi=1}^{\psi} v_{\xi} < (n_{\text{крт}} - 2),$$

то α -ий кортеж (код числа) є першим елементом $(\psi + 1)$ -го кодового значення. Відповідно, будується нова кодограмм $G(P')_{\psi+1}$.

Кодування, задане виразами (4.21) – (4.23) забезпечує без втрати інформації та без внесення кодової надмірності формування кодових складових

для усічених векторів в умовах дворівневої обробки і побудови кодограм за комбінованим принципом.

В результаті рекурентної обробки формується послідовність кодів для УПЧ в режимі побудови кодограми по комбінованому принципу з обмеженням на максимальне значення рівне V_{\max} :

$$\{E(A)_{v_1}, \dots, E(A)_{v_\psi}, \dots, E(A)_{v_{\psi-1}}, E(A)_{v_\psi}\},$$

де $E(A)_{v_\psi}$ – значення коду для ψ -ої складової УПЧ, яке має довжину v_ψ .

Розроблений метод обробки сегментів дозволяє сформувати кодові конструкції їх подання (рис. 4.8).

Довжина V_c кодової конструкції обробленого представлення сегмента визначається за таким співвідношенням:

$$V_c = V(\tilde{P}')_{\text{comp}} + V(n_{\text{крт}}) + V(\lambda) + V(f) + V_{\text{DC}} + V_{\text{мз}}, \quad (4.24)$$

де $V(\tilde{P}')_{\text{comp}}$ – довжина інформаційної частини кодограми обробленого подання усіченого вектора двокортежних кортежів;

$V(n_{\text{крт}})$ – довжина коду, що містить інформацію про кількість кортежів утворених для лінеаризованої трансформанти;

$V(\lambda)$ – кількість біт на подання основ $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ компонент кортежу.

Для $n=8$ $V(\lambda) = 6 + 8$ біт;

$V(f)$ – кількість біт на подання значення фактора f втрати якості;

V_{DC} – довжина статистичного коду низькочастотної DC-компоненти;

$V_{\text{мз}}$ – оброблене подання матриці знаків.

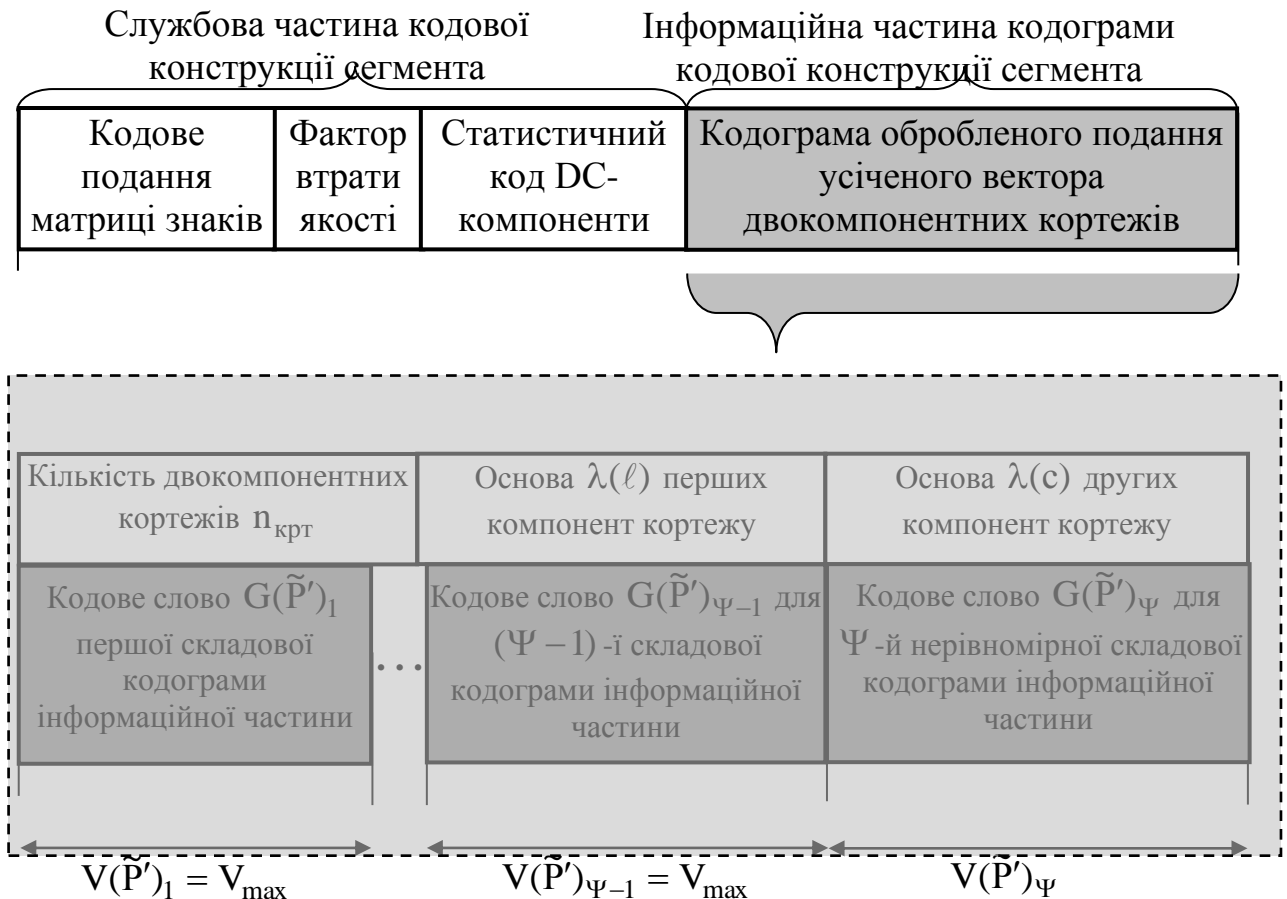


Рисунок 4.8 – Структура кодової конструкції обробленого подання сегмента зображення

Відповідно, довжина $V(\tilde{P}')_{\text{comp}}$ інформаційної частини кодової конструкції обробленого подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів дорівнює:

$$V(\tilde{P}')_{\text{comp}} = (\Psi - 1) \cdot V_{\text{max}} + V(\tilde{P}')_{\Psi} \text{ (Біт)}. \quad (4.25)$$

де $(\Psi - 1)$ – кількість кодових складових на оброблене подання усіченого вектора, довжина яких дорівнює максимальному допустимому значенню V_{max} ; $V(\tilde{P}')_{\Psi}$ – довжина нерівномірної складової обробленого представлення усіченого вектора.

4.3. Розробка методу обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант

Основні вимоги до методу реконструкції оброблених зображень [185; 186]:

- уникнути неконтрольованих втрат інформації;
- забезпечити відновлення зображень з необхідною якістю візуального сприйняття на основі використання тільки тієї службової інформації, яка формується в процесі компресії;
- організувати реконструкцію зображень, використовуючи кількість операцій, що не перевищує кількості операцій, які витрачаються на компресію.

Структурно-функціональна схема методу реконструкції зображень, яка враховує дані вимоги, наведена на рис. 4.9.

Основними особливостями процесу компресії послідовності кадрів є такі [202]:

- 1) формування заздалегідь невідомої кількості кодограм комбінованого типу, а саме, перший тип – з обмеженою заздалегідь встановленою довжиною, другий тип - нерівномірної заздалегідь невідомої довжини;
- 2) кодове подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів формується як код укрупненого позиційного числа за дворівневою схемою;
- 3) кодове значення формується для змінної довжини складової укрупненого позиційного числа;
- 4) двокомпонентні кортежі кодуються як двоелементне число.

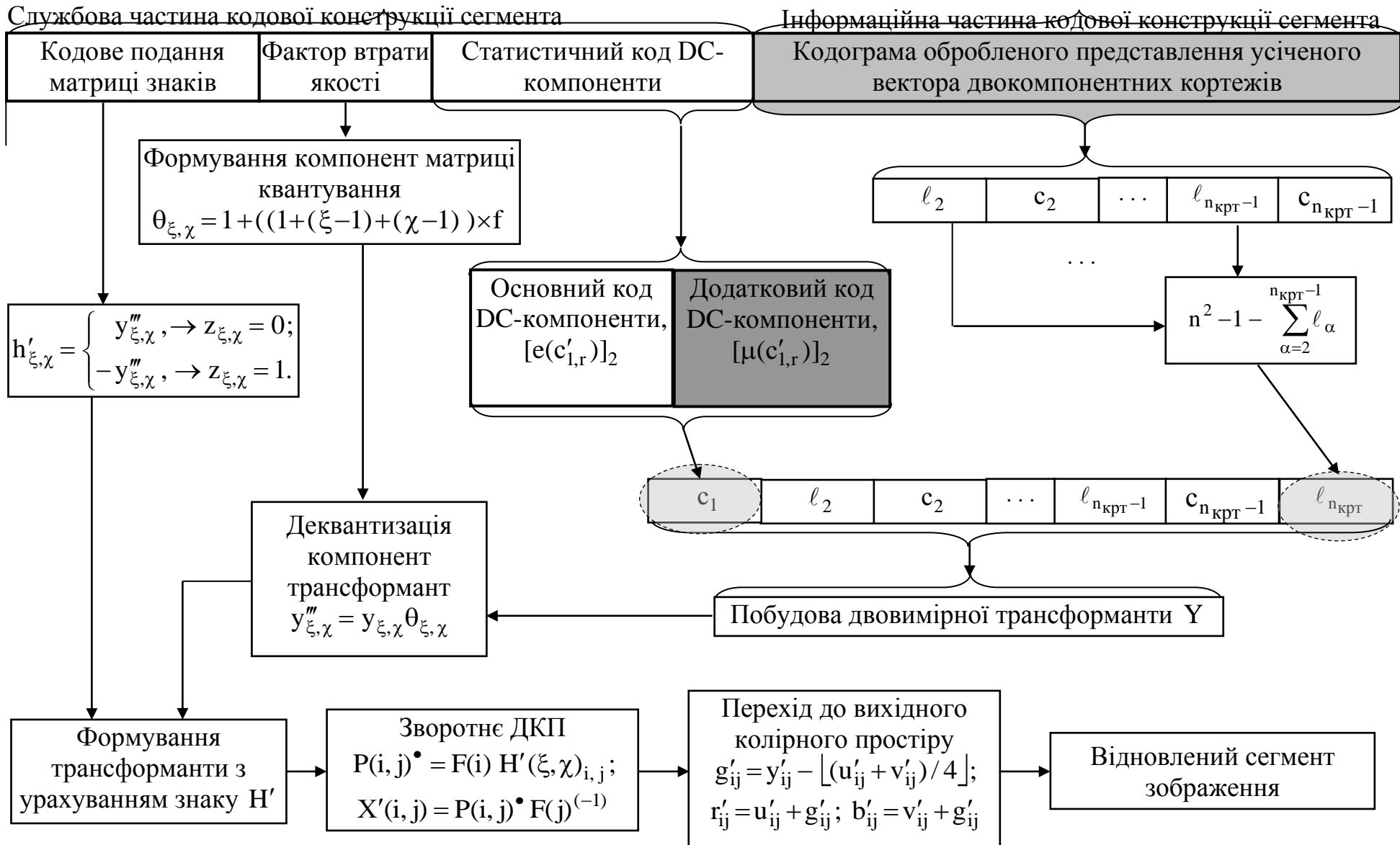


Рисунок 4.9 – Структурно-функціональна схема процесу реконструкції усіченого вектора двокомпонентних кортежів

5) лінеаризована трансформанта подається в композиційному вигляді на основі вектора двокомпонентних кортежів, що містять довжину ланцюжка нульових компонент і значущу компоненту;

6) обробка компонент трансформант здійснюється з урахуванням корекції їх значень під особливості зорового сприйняття зображень.

Згідно зі схемою методу, наведеного на рис. 4.9, на першому етапі процесу відновлення інсталюється кодова конструкція. Для уникнення неконтрольованих втрат інформації потрібно [32]:

- ідентифікувати у всьому відеопотоці службову й інформаційну частини кодової конструкції обробленого подання поточного сегмента зображення;

- визначити змінну кількість Ψ кодограм, сформованих для кодового подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів, та довжину $V(\tilde{P}')_{\Psi}$ нерівномірної кодограми.

На першому етапі інсталяції кодової конструкції виділяється службова частина, враховуючи такі особливості побудови кодових слів службової частини (див. рис. 4.9):

- кодове подання для матриці знаків формується як для двійкової послідовності заздалегідь заданої довжини. Це дозволяє заздалегідь знати інформацію про довжину кодового слова на оброблене подання матриці знаків;

- кількість розрядів на подання значення фактора втрати якості є постійною величиною, яка враховує обмежену кількість режимів, в які встановлюється процес квантування;

- довжина кодового слова під DC-компоненту визначається на базі використання статичних таблиць, які відомі як на передавальній, так і на приймальній сторонах.

Дані властивості службової частини забезпечують визначення початкової позиції інформаційної частини кодової конструкції обробленого подання сегмента зображення.

Після чого проводиться другий етап інсталяції кодової конструкції. Схема декомпозиції інформаційної частини кодової конструкції наведена на рис. 4.10.

Інформаційна частина кодової конструкції сегмента зображення являє собою кодограми для усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Така кодограма містить службову й інформаційну частини. Службова частина кодограма формується на базі таких кодових полів (рис. 4.10) [207]:

1) кодове поле, що містить інформацію кількості $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів;

2) кодове поле, що містить інформацію про основи $\lambda(\ell)$ перших компонент кортежу;

3) кодове поле, що містить інформацію про основи $\lambda(c)$ других компонент кортежу.

Для відомого розміру n сегмента зображення довжини кодових полів є відомими на приймальній стороні без використання додаткової інформації. Наприклад, якщо $n = 8$, то довжини кодових полів службової частини вибираються з таких принципів:

- максимальна кількість кортежів для усіченого вектора дорівнюватиме $n_{\text{крт}} \leq 62$. Тому довжина кодового поля вибирається рівного 6 біт;

- максимальна довжина ланцюжка нульових компонент не перевищуватиме $\ell_{\text{max}} \leq 63$. Звідси довжина відповідного кодового поля дорівнюватиме 6 біт;

- максимальне значення значущої компоненти, виключаючи DC-компоненту, вміщуватиметься в 8-бітну послідовність. Відповідно кодове поле під подання основи вибирається рівним 8 біт.

Це дозволяє достовірно встановити початкову позицію інформаційної частини кодограми, що містить інформацію про кодове подання усіченого вектора.

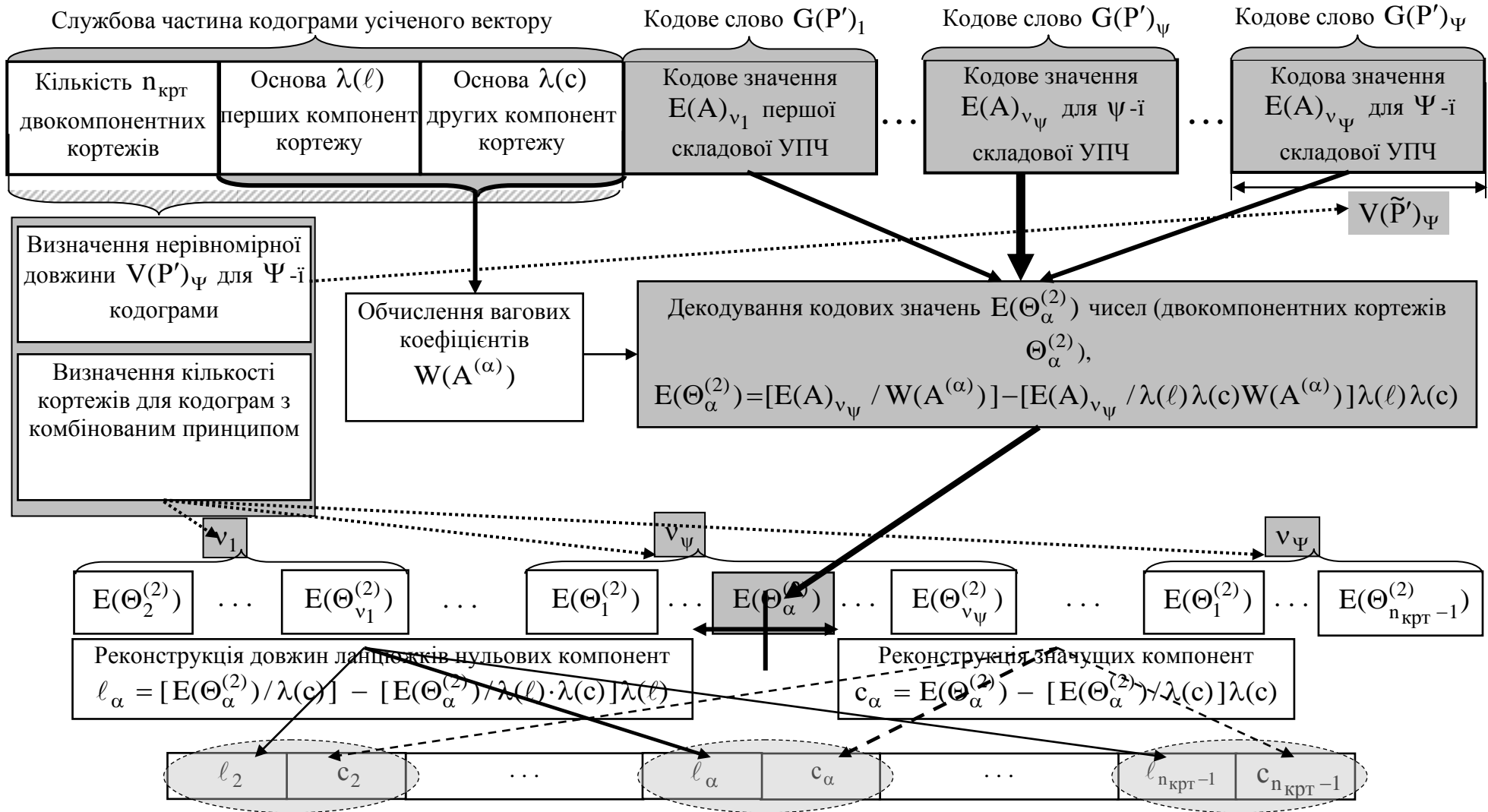


Рисунок 4.10 – Структурно-функціональна схема процесу реконструкції усіченого вектора двокомпонентних кортежів

Декомпозиція інформаційної частини кодограми, містить в собі змінну кількість кодових слів $G(P')_{\Psi}$, які несуть інформацію про кодове значення $E(A)_{v_{\Psi}}$ складової укрупненого позиційного числа. Тому ключовим етапом декомпозиції є визначення:

- 1) кількості Ψ кодових слів;
- 2) нерівномірної довжини $V(P')_{\Psi}$ для Ψ -й кодограми.

Дана інформація визначається з використанням такої інформації:

- основи $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ відповідно для довжин ланцюжків нульових компонент і значущих компонент лінеаризованої трансформанти (передається в складі кодової конструкції);

- про встановлену максимальну довжину V_{\max} кодограми (така інформація відома на передавальній і приймальній сторонах).

Знаючи цю інформацію і використовуючи технологію нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам (див. рис. 4.5), забезпечується знаходження відповідної послідовності:

$$\Psi; \{v_1; \dots; v_{\Psi}; \dots v_{\Psi}\}.$$

На цій основі визначається і довжина $V(P')_{\Psi}$ для Ψ -ої нерівномірної кодограми:

$$V(P')_{\Psi} = [\log_2 W^{(v_{\Psi})}] + 1 = [\log_2 (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{v_{\Psi}}] + 1.$$

Далі здійснюється вилучення кодових слів $G(P')_{\Psi}$ та декодування відповідних кодових значень $E(A)_{v_{\Psi}}$. Тут необхідно враховувати, що процес декодування проводиться за дворівневою схемою (рис. 4.11), а елементами укрупнених позиційних чисел є кодові значення $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ двоелементних чисел, утворених для відповідних кортежів $\Theta_{\alpha}^{(2)}$.

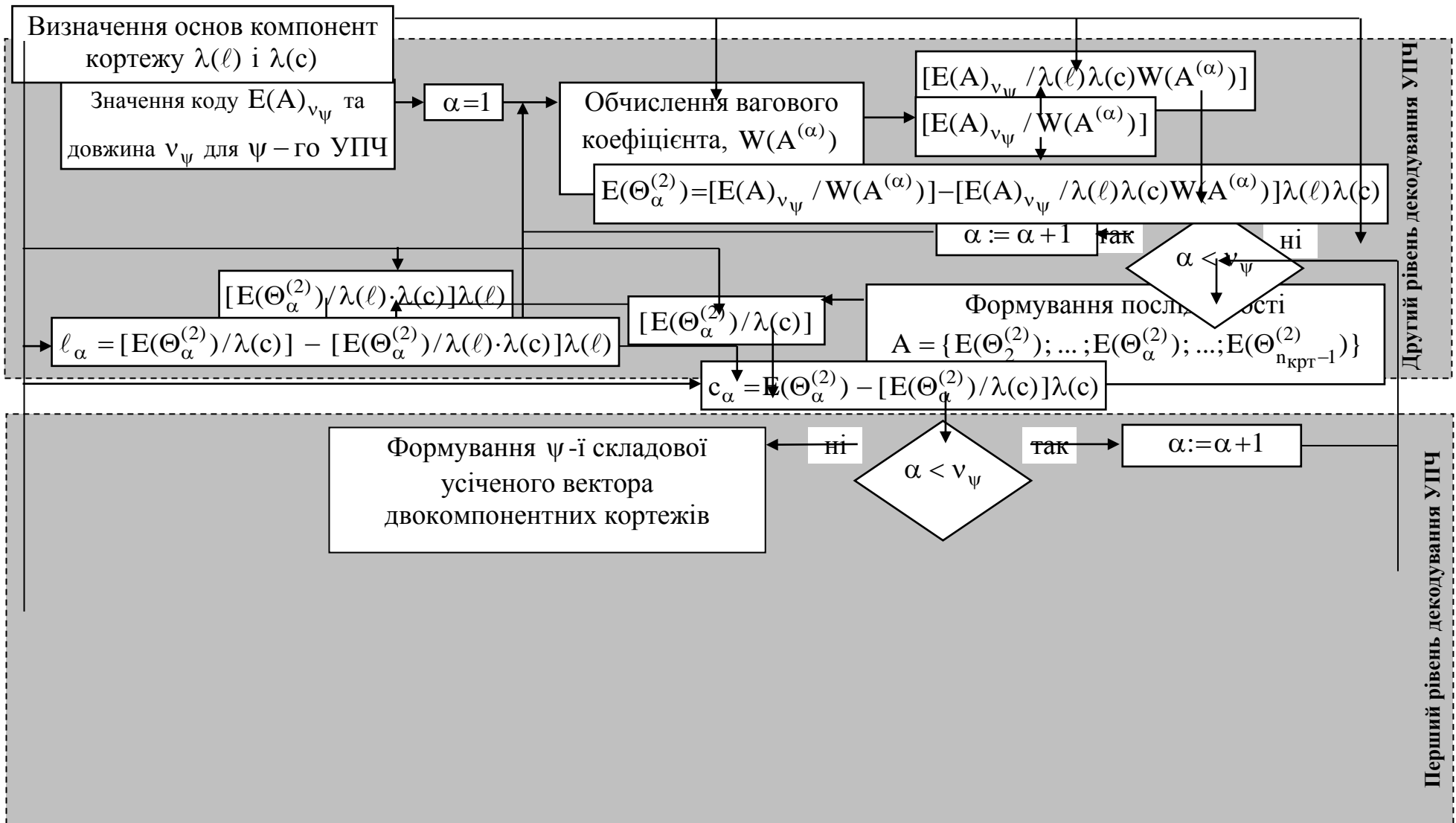


Рисунок 4.11 – Структурно-функціональна схема дворівневого декодування укрупнених позиційних чисел

Розглянемо верхній рівень декодування укрупнених позиційних чисел, на якому потрібно виконати такі кроки (на прикладі обробки коду $E(A)_{v_\Psi}$):

1. Обчислення вагового коефіцієнта $W(A^{(\alpha)})$ для α -го елемента УПЧ:

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell)\lambda(c))^{v_\Psi - \alpha},$$

де v_Ψ – кількість кортежів, які беруть участь у формуванні коду $E(A)_{v_\Psi}$.

2. Відновлення значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для числа, побудованого для кортежу $\Theta_\alpha^{(2)}$:

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) = [E(A)_{v_\Psi} / W(A^{(\alpha)})] - [E(A)_{v_\Psi} / \lambda(\ell)\lambda(c)W(A^{(\alpha)})] \lambda(\ell)\lambda(c).$$

3. Процес декодування на верхньому рівні закінчується, коли відновлений останній елемент $E(\Theta_{v_\Psi}^{(2)})$ для УПЧ. В результаті виходить укрупнене позиційне число $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$.

Елементи $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ укрупненого позиційного числа є кодами відповідних двоелементних чисел.

Тому для реконструкції двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)} = \{\ell_\alpha; c_\alpha\}$ потрібно провести декодування відповідних кодів чисел. Це реалізується на нижньому рівні загального процесу декодування кодів УПЧ шляхом виконання таких етапів:

1. Визначення компоненти $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(c)]$.
2. На основі використання компоненти $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(c)]$ визначення величини $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)] \lambda(\ell)$.
3. Відновлення першої компоненти ℓ_α кортежу, що здійснюється як отримання старшого елемента числа з основами, рівними $\lambda(\ell)$ і $\lambda(c)$:

$$\ell_{\alpha} = [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)] - [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)]\lambda(\ell).$$

4. Відновлення другої компоненти c_{α} (значущої компоненти) кортежу, як для молодшого елемента числа. Тоді, на основі відомої величини $[E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)]$, отримаємо:

$$c_{\alpha} = E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) - [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)]\lambda(c).$$

Аналогічно організовується відновлення інших компонент кортежів (див. рис. 4.10).

Результатом є усічений вектор P' двокомпонентних кортежів.

Як показано на рис. 4.9, наступним етапом процесу реконструкції сегмента зображення є відновлення повного вектора. Для цього необхідно отримати:

- 1) інформацію про довжину $\ell_{n_{\text{крт}}}$ останньої ланцюжка нульових компонент;
- 2) інформацію про низькочастотної компоненті c_1 трансформанти.

За умовою формування лінеаризованої трансформанти довжина останнього ланцюжка нульових компонент визначається на основі відомих довжин ланцюжків для усіченого вектора:

$$\ell_{n_{\text{крт}}} = n^2 - 1 - \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} \ell_{\alpha},$$

де $\sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} \ell_{\alpha}$ – сумарна кількість компонент, для якого формується усічений вектор.

Розглянемо реконструкцію DC-компоненти, використавши інформацію про склад кодограми низькочастотної компоненти, яка складається з двох частин – основного двійкового коду $[e(c'_{1,r})]_2$ та додаткового коду $[\mu(c'_{1,r})]_2$ [30]:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2\}.$$

Тому процес декодування DC-компоненти полягає у визначенні основного та додаткового двійкових кодових слів. Далі на основі використання статичних таблиць кодів отримується диференційне подання поточної низькочастотної компоненти.

Приклад. На приймальну сторону надійшло кодове слово $\{1;0;1;0;1;1;0\}$.

Декодер починає побітове сканування зліва направо, поки не виявить код. Це буде основний код $[e(c'_{1,r})]_2$, який дорівнює $[e(c'_{1,r})]_2 = \{1;0;1\}$.

Основний код $\{1,0,1\}$ знаходиться в категорії 4, тобто $\xi = 4$, і залишилися 4 біта – це додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$, тобто $[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0,1,1,0\}$.

За причини, що додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$ знаходиться в негативному діапазоні $-2^\xi + 1, \dots, -2^{\xi-1}$, то необхідно до додаткового коду додати 1, тобто $[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c'_{1,r})]_2 + 1$.

Звідки отримаємо $[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0;1;1;1\}$.

З табл. 4.1 видно, що додатковий код $\{0;1;1;1\}$ уточнює категорію до точного значення різниці і відповідає значенню (-9).

Після отримання інформації про величину c_1 завершується процес формування вектора P двокомпонентних кортежів:

$$P = \{c_1; (\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1}); \ell_{n_{\text{крт}}}\}.$$

Блок подальших етапів процесу відновлення сегмента зображення полягає в зворотній трансфакції та отриманні сегментів для вихідної колірної моделі подання. Процес складається з таких етапів (див. рис. 4.9).

1. Побудова двовимірного подання трансформанти шляхом декомпонування вектора двокомпонентних кортежів в лінеаризовану трансформанту. Після чого по діагональному обходу утворюється двовимірний опис трансформанти Y .

2. Деквантизація компонент трансформанти у два кроки. На першому кроці за заданим значенням фактора втрати якості f формується матриця квантування:

$$\theta_{\xi, \chi} = 1 + ((1 + (\xi - 1) + (\chi - 1)) \times f).$$

На другому кроці з відомих елементів $\theta_{\xi, \chi}$ матриці квантування здійснюється деквантизація:

$$y''_{\xi, \chi} = y_{\xi, \chi} \theta_{\xi, \chi}.$$

В результаті утворюється проміжна трансформанта Y''' .

3. Завершення процесу відновлення трансформанти ДКП шляхом визначення знаків компонент трансформанти Y''' . Відповідно, на першому кроці використовуються дані $z_{\xi, \chi}$ матриці знаків, що на другому кроці дозволяє розставити знаки для відповідних компонент трансформанти:

$$h'_{\xi, \chi} = \begin{cases} y'''_{\xi, \chi}, & \rightarrow z_{\xi, \chi} = 0; \\ -y'''_{\xi, \chi}, & \rightarrow z_{\xi, \chi} = 1. \end{cases}$$

В результаті отримаємо трансформанту H' .

4. Використовуючи трансформанту H' та виконуючи за два етапи зворотнє двовимірне дискретне косинусне перетворення:

$$P(i, j) \bullet = F(i) H'(\xi, \chi)_{i, j} \text{ і } X'(i, j) = P(i, j) \bullet F(j)^{(-1)},$$

відновлюємо сегмент X' зображення в колірному поданні.

5. Відтворення сегмента X' у вихідному RGB просторі організовується без внесення додаткових спотворень на основі таких виразів

$$g'_{ij} = y'_{ij} - \lfloor (u'_{ij} + v'_{ij}) / 4 \rfloor \quad r'_{ij} = u'_{ij} + g'_{ij}; \quad b'_{ij} = v'_{ij} + g'_{ij}.$$

Всі зображення відновлюється після того, як отримані всі сегменти.

Таким чином:

- розроблений метод реконструкції сегментів зображення на основі декодування усічених векторів двокомпонентних кортежів, складається з таких етапів:
 - інсталяція кодової конструкції обробленого представлення сегмента зображення;
 - декодування за дворівневою схемою кодових значень складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів;
 - реконструкція двокомпонентних кортежів на основі декодування обробленого файлу.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. Обґрунтовано інтерпретацію усіченого вектора двокомпонентних кортежів як укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементного числа, утворені для окремих двокомпонентних кортежів.

2. В результаті доведеної теореми отримано кодоутворюючі співвідношення, які забезпечують формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною за дворівневою схемою. На першому рівні формується кодове подання для окремих двокомпонентних кортежів, на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для кодів, отриманих на першому рівні.

Вперше отримано кодоутворюючі співвідношення для компактного представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів як комбінаторного об'єкту. Відмінність полягає в тому, що кодові значення формуються за дворівневою схемою для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною, елементами якої є коди чисел, утворених для двокомпонентних кортежів. Це дозволяє сформувати компактне подання для лінеаризованої трансформанти без втрати інформації.

3. Розроблено метод формування компактного подання сегментованих зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованої трансформанти. Кількість двокомпонентних кортежів є змінною заздалегідь не відомою величиною і залежить в загальному випадку від змісту сегмента зображення та фактору втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти. Кодове значення і довжина кодограми для усіченого вектора двокомпонентних кортежів залежить від статистичних, структурних властивостей сегментів зображення і режиму корекції компонент трансформанти в процесі квантування.

Метод забезпечує компресію в режимі обмежених значень фактору втрати якості; виключення використання додаткових службових даних; виключення необхідності значного збільшення кількості операцій, які витрачаються на

виконання умов інтеграції кодового подання усіченого вектора в систему компресії потоку відеокадрів, і базується на виконанні таких етапів:

1) виконання двовимірного дискретного косинусного перетворення для сегмента зображення;

2) корекція компонент трансформанти відповідно до фактора втрати якості візуального сприйняття зображень;

3) формування вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованої трансформанти;

4) кодування DC-компоненти на основі диференційного подання відносно низькочастотної складової попередньої трансформанти з подальшим формуванням коду на основі використання статичних таблиць;

5) формування послідовності кодових значень для складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів за рекурентною дворівневою схемою на основі укрупненого позиційного кодування в умовах формування кодограм за комбінованою схемою, а саме побудова кодограми з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину і змінної довжини останньої кодограми.

4. Запропонована технологія розподілу компонент кортежу по кодограмі в комбінованому режимі, а саме, коли будуються нерівномірні кодограми з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двокомпонентних кортежів.

Обґрунтовано, що для такого принципу утворення кодограми достатньо використовувати інформацію про кількість кортежів.

5. Розроблено метод обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмі, який формується з комбінованого принципу для встановленого обмеження V_{\max} .

6. Побудована технологія формування кодових конструкцій обробленого сегмента зображення в умовах інтеграції послідовності кодограм, які містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів.

Результати досліджень четвертого розділу опубліковані в роботах [48, 54, 55, 63, 67, 70, 174, 176, 185, 186].

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ДИНАМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ

Розроблений метод компресії відеопотоку динамічних зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки стаціонарної, динамічної складових та матриці знаків. Обробка динамічної складової проводиться на основі позиційного кодування з адаптивним вибором основи. Обробка двійковій маски диференційно-поданого кадру здійснюється на основі кодування за потужністю двох алфавітів довжин двійкових серій. Кодування матриці знаків реалізується на базі кодування за потужністю алфавіту з урахуванням структурної подібності з матрицею двійковій маски. Показано, що розроблені методи кодування забезпечують скорочення обсягу, збільшення ступеня компресії динамічних зображень стаціонарного фону і скорочення часу на їх обробку. Викладається побудова методу відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону на основі реконструкцій матриці двійковій маски, динамічної складової та матриці знаків. Розглядається побудова технології відновлення поточного кадру в вихідному динамічному просторі без втрати інформації на основі відновлення поточного диференційно-поданого кадру та інформації про базові кадри.

5.1 Розробка методу кодування диференційно-поданих кадрів відеоінформаційного потоку

Метод складається з таких етапів [56 – 58].

Перший етап. Формування диференційно-поданого кадру в умовах стаціонарного формування відеоінформації, здійснюється за схемою (рис. 5.1.).

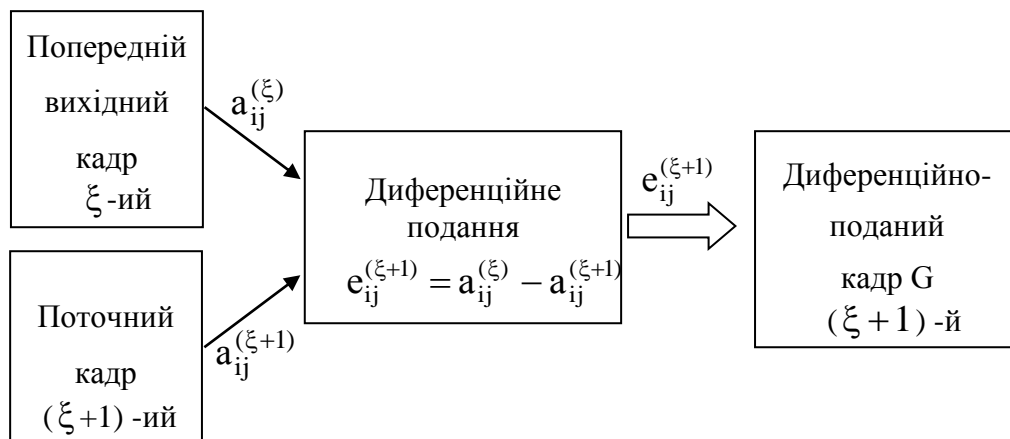


Рисунок 5.1 – Схема формування диференційно-поданого кадру

Попередній вихідний кадр і поточний кадр утворюють формат диференційно-поданого кадру, який структурно складається з двох складових, що описують стаціонарний фон і динамічні об'єкти.

Однак формування кадрів здійснюється в умовах зміни освітленості об'єктів; вібрації камери і спотворень у процесі перетворення аналогового сигналу в цифровий.

Тому елементи стаціонарного фону відрізняються від нульового значення. Для усунення флуктуацій і для підкреслення стаціонарної складової фону диференційно-поданого кадру пропонується проводити його попередню фільтрацію [33, 203 – 206].

Другий етап – фільтрація з порогом, суть якої полягає у виявленні елементів диференційно-поданого кадру, які містять імпульсну заваду. Це дозволить визначити стаціонарну чи динамічну складові. Для скорочення кількості операцій на обробку використовується скалярна порогова фільтрація з порогом ΔP (рис 5.2).

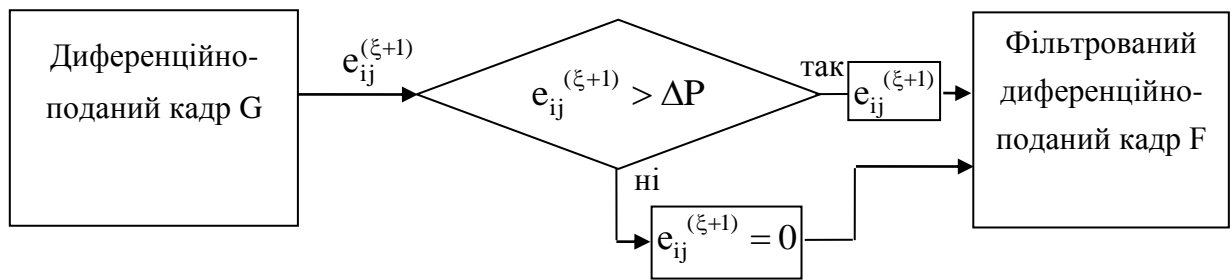


Рисунок 5.2 – Схема порогової фільтрації диференційно-поданого кадру

Скалярна порогова фільтрація проводиться за таким правилом. Кожен оброблюваний елемент e_{ij} порівнюється з величиною порога ΔP . Якщо значення елемента менше величини порога ($e_{ij} \leq \Delta P$), то даний елемент вважається елементом стаціонарної складової, $e_{ij} \in I_{ст}$, та $e_{ij} = 0$. Навпаки, якщо значення елемента перевищує величину порога $e_{ij} > \Delta P$, то даний елемент належить динамічній складовій $e_{ij} \in I_{дин}$.

В результаті такої фільтрації структура диференційно-поданого має дві складові:

1. Нульові значення відповідають елементам стаціонарного фону.
2. Значення елементів, відмінних від нуля, належать елементам динамічної складової.

Третій етап – формування та обробка масивів динамічної складової:

1. Розподіл елементів динамічної складової по масивах, а саме:
 - а) розбиття динамічної складової на масиви з урахуванням наявної інформації про кількість елементів динамічної складової. На процес розбиття динамічної складової на масиви D_u впливає максимальне значення d_{max} елемента $I_{дин}$ і кількість $n_{дин}$ стовпців. Це обумовлено тим, що код формується не для окремого елемента, а для рядка масиву динамічної складової. Тому на значення коду позиційного числа $N(u)_j$ і на довжину його кодограми L_j впливає адаптивна основа, яка вибирається відповідно до величини d_{max} і кількості елементів в позиційному числі, що визначається величиною $n_{дин}$. При цьому можна управляти

тільки величиною $n_{\text{дин}}$. Величина d_{max} визначається окремо для кожної динамічної складової;

б) визначення розмірів масивів D_u динамічної складової шляхом обрання довжини рядка масивів динамічної складової рівної 6, тобто ($n_{\text{дин}} = 6$), якщо $n_{\text{дин}} \leq v_{\text{дин}}$, де $v_{\text{дин}}$ – кількість елементів у динамічній складовій.

Сумарна кількість рядків розбивається на окремі масиви. Так як кількість рядків в одному масиві $n_{\text{дин}} = 6$, то кількість $v_M^{(\text{дин})}$ масивів, на які розбивається вся динамічна складова дорівнює:

$$v_M^{(\text{дин})} = \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right].$$

в) заповнення масивів D_u динамічної складової. Для скорочення кількості основ позиційних чисел, які обирають для кожного масиву окремо, пропонується така процедура:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} < 3.$$

Тоді останній повний масив заповнюється рядками, які залишилися з неповного масиву.

В іншому випадку, коли:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \geq 4,$$

формується неповний масив.

У загальному випадку повний масив D_u динамічної складової має вигляд:

$$D_u = \begin{pmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,n_{\text{дин}}} \\ & & \dots & & & \\ d_{i,1} & d_{i,2} & \dots & d_{i,j} & \dots & d_{i,n_{\text{дин}}} \\ & & \dots & & & \\ d_{m_{\text{дин}},1} & d_{m_{\text{дин}},2} & \dots & d_{m_{\text{дин}},j} & \dots & d_{m_{\text{дин}},n_{\text{дин}}} \end{pmatrix},$$

де $d_{i,j}$ – (i ; j)-ий елемент масиву динамічної складової;

$m_{\text{дин}}$, $n_{\text{дин}}$ – відповідно кількість рядків і стовпців в масивах D_u .

Потрібно зауважити, що масив D_u може бути заповнений не повністю.

2. Обробка масивів динамічної складової.

Для запропонованого представлення масивів D_u схема обчислення позиційних чисел для рядків $D_{u,j} = \{d_{1,j}; d_{2,j}; \dots, d_{i,j}, \dots, d_{j,n_{\text{дин}}}\}$ цих масивів з урахуванням адаптивного вибору основи λ_u задається виразами:

$$\lambda_u = \max_{\substack{1 \leq j \leq n_{\text{дин}} \\ 1 \leq i \leq m_{\text{дин}}}} \{d; j\} + 1;$$

$$P_j = \lambda_u^{(n_{\text{дин}} - j)};$$

$$N(u)_j = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} d_{i,j} P_j,$$

де $N(u)_j$ – значення коду для j -го позиційного числа, отриманого для j -го стовпця u -го масиву динамічної складової;

P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа;

λ_u – основа u -го масиву динамічної складової.

Позиційні коди дозволяють компактно подати масиви динамічної складової, якщо відповідні максимальні значення λ_u мають обмежені значення ($\lambda_u < d_{\max}$, $u = \overline{1, v_{\text{дин}}}$), де d_{\max} – максимальне числове значення динамічної складової.

Таким чином, в результаті запропонованого кодування масиви динамічної складової замінюються послідовністю кодових значень позиційних чисел з адаптивною основою $\{N(u)_1, \dots, N(u)_j, \dots, N(u)_{n_{\text{дин}}}\}$.

Структурно-функціональна схема обробки динамічної складової наведена на рис. 5.3.

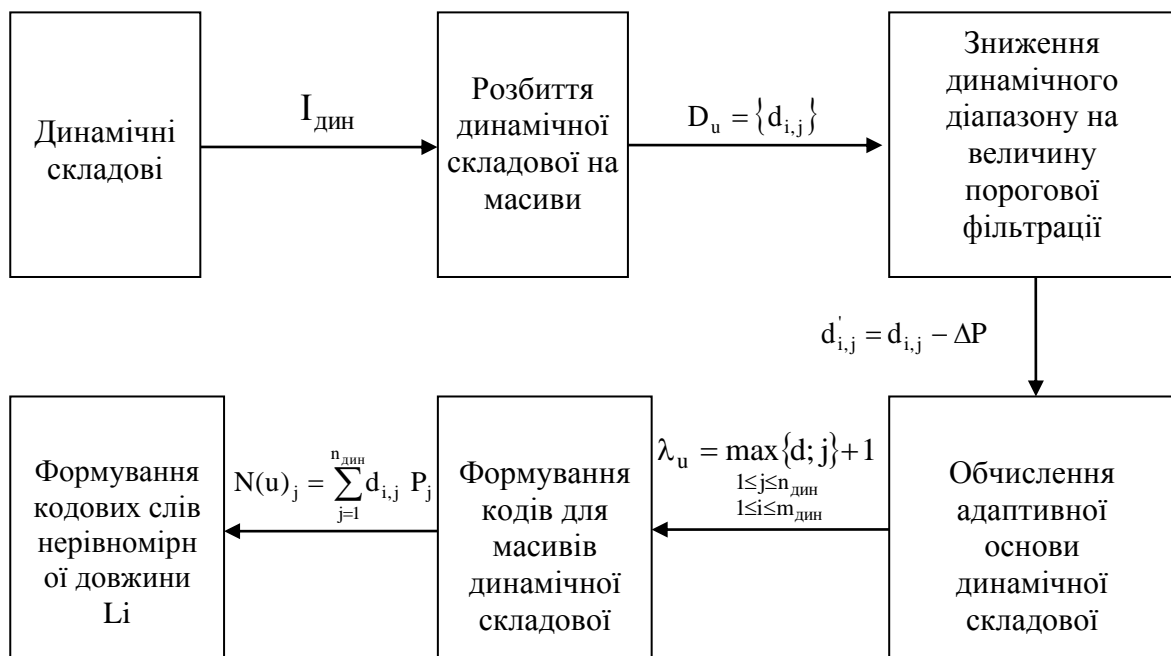


Рисунок 5.3 – Структурно-функціональна схема обробки динамічної складової

Четвертий етап – побудова й обробка двійкової маски диференційно-поданого кадру. Інформація про стаціонарну складову міститься в елементах диференційно-поданого кадру, які приймають нульові значення. У зв'язку з чим формується двійкова маска. З урахуванням роздільної обробки диференційно-поданий кадр розбивається на три складові (рис. 5.4).

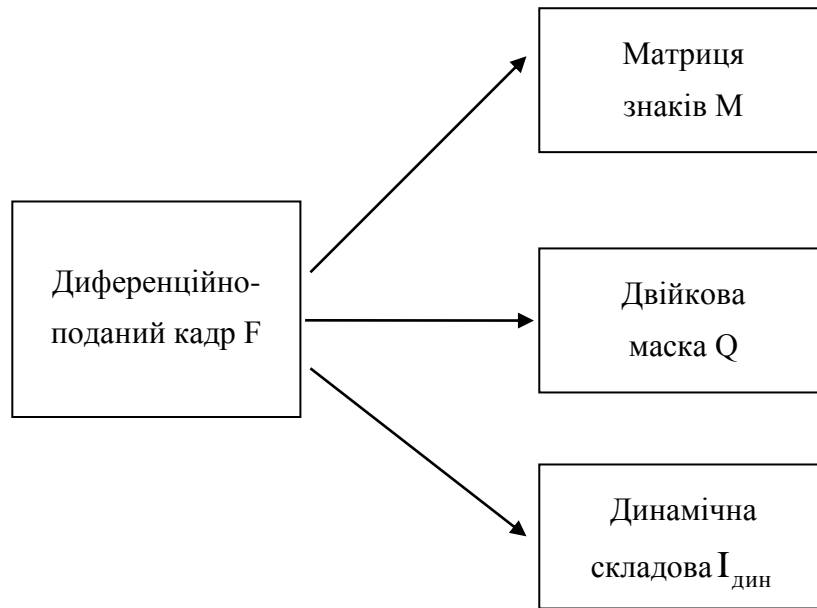


Рисунок 5.4 – Схема розбивки диференційно-поданого кадру на складові

Схема матриці двійкової маски диференційно-поданого кадру наведена на рис. 5.5.

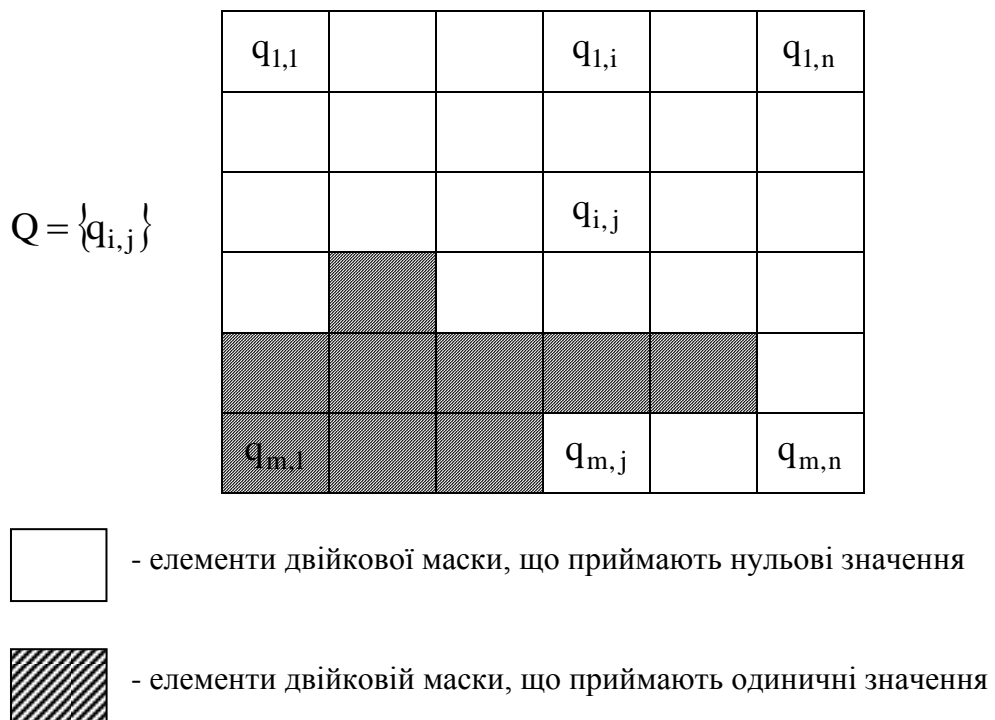


Рисунок 5.5 – Схема матриці двійковій маски диференційно-поданого кадру

Обробка двійкової маски диференційно-поданого кадру здійснюється на таких етапах:

1. Виявлення послідовностей довжин двійкових серій, що задається виразом $\Theta = \{r_1, \dots, r_\Phi\}$.

2. Розбиття послідовності довжин двійкових серій на підпослідовності довжин серій нулів $\Theta^{(0)} = \{r(0)_1, \dots, r(0)_{\Phi_0}\}$ та довжин серій одиниць $\Theta^{(1)} = \{r(1)_1, \dots, r(1)_{\Phi_1}\}$.

3. Визначення максимальних довжин двійкових серій для підпослідовностей $\Theta^{(0)}$ та $\Theta^{(1)}$, що задається формулами $r(0)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r(0)_i)$ та $r(1)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r(1)_i)$.

Даний етап забезпечує формування потужності двох алфавітів, утворених довжинами серій нульових і одиничних елементів.

4. Формування елементарного коду для послідовностей довжин двійкових серій $\Theta^{(0)}$ та $\Theta^{(1)}$ задається виразами $L(r(0)) = \lceil \log_2 r(0)_{\max} \rceil + 1$ та $L(r(1)) = \lceil \log_2 r(1)_{\max} \rceil + 1$.

5. Обчислення сумарної кількості розрядів на представлення довжин серій нулів та одиниць за виразами $L(r(0))_{\Sigma} = \Phi_0 \log_2 r(0)_{\max}$ та $L(r(1))_{\Sigma} = \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}$.

6. Побудова кодових конструкцій обробленого подання матриць двійковій маски.

Схема обробки довжин серій двійкової маски показана на рис. 5.6.

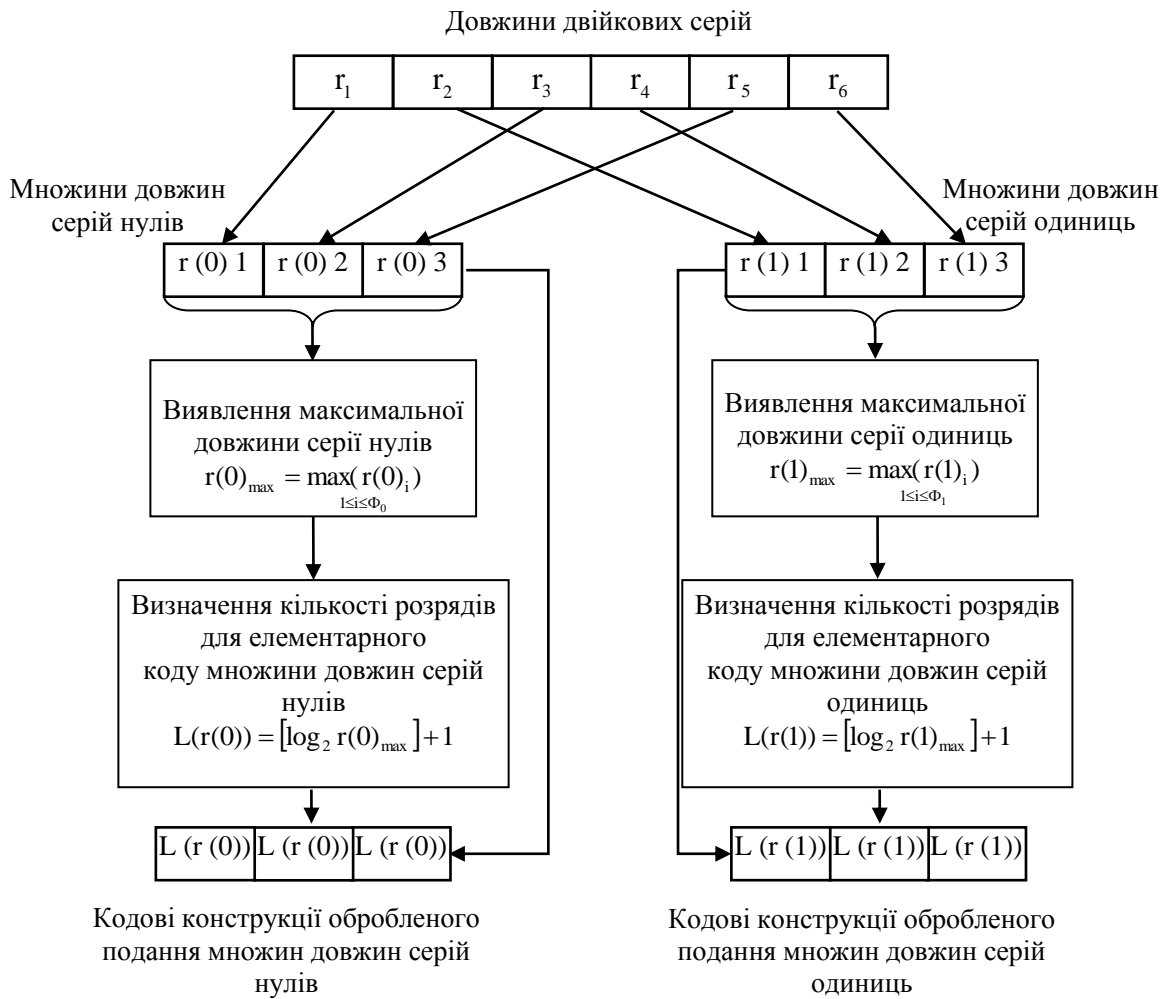


Рисунок 5.6 – Схема обробки довжин двійкових серій двійкової маски

Для двохалфавітного коду потужності щодо довжин двійкових серій двійкової маски диференціального кадру забезпечується скорочення початкового обсягу. Ступінь компресії оцінюється як:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi_0 \log_2 r(0)_{\max} + \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{\Phi} r_i}{\log_2 (r(0)_{\max}^{\Phi_0} \cdot r(1)_{\max}^{\Phi_1})}$$

Структурно-функціональна схема обробки двійкових масок диференційно-поданого кадру наведена на рис. 5.7.

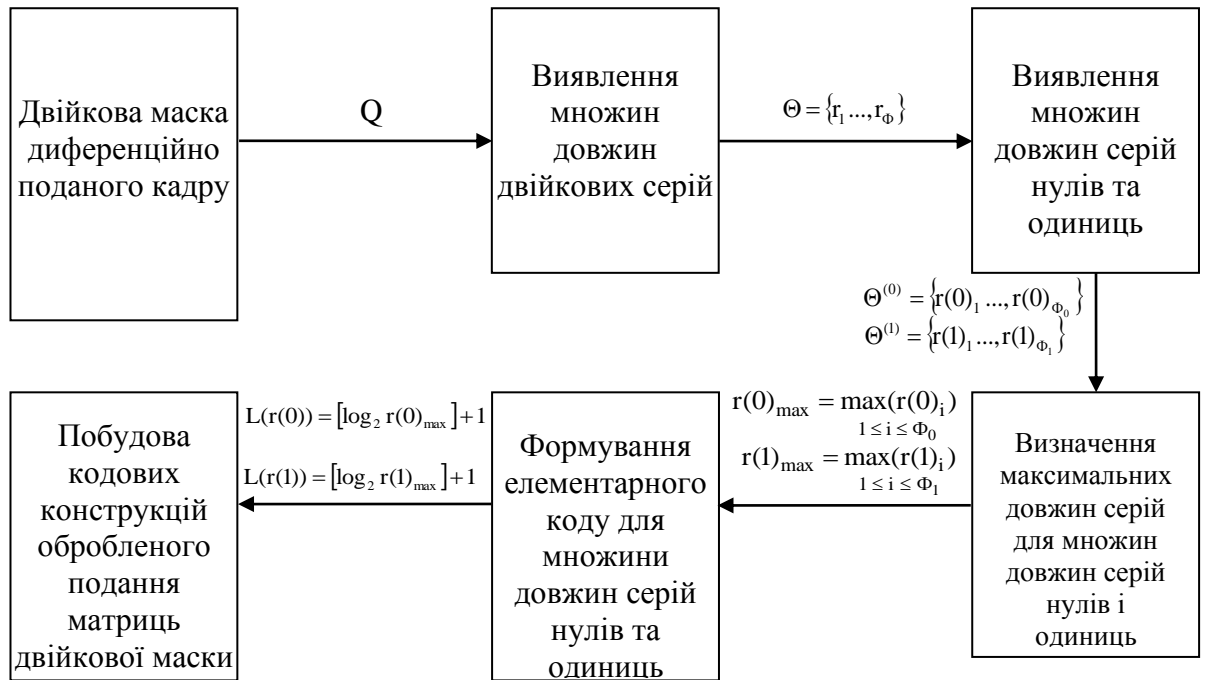


Рисунок 5.7 – Структурно-функціональна схема обробки двійкових масок диференційно-поданого кадру

П'ятий етап – формування та обробка матриці показників знаків. Елементи динамічної складової можуть мати як позитивні, так і негативні значення. Тому для скорочення інформації про знаки, пропонується формувати матрицю показників знаків, використовуючи двійковий показник. Тоді якщо елемент динамічної складової є позитивним, то використовується нульовий показник в матриці показників знаків. І – навпаки, якщо елемент динамічної складової є негативним, то використовується одиничний показник:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \rightarrow q_{ij} > 0; \\ 1, & \rightarrow q_{ij} < 0. \end{cases}$$

де $W = \{w_{ij}\}$ – двійковий вектор показників знаків.

Обробка матриці показників знаків проводиться з урахуванням структурної подібності з матрицею двійкової маски і полягає у виконанні таких етапів:

1. Виявлення послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h) = \{r(h)_1, \dots, r(h)_{\Phi(h)}\}$.

2. Визначення максимальної довжини двійкової серії для послідовності $\Theta(h)$ за формулою $r(h)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi(h)} (r(h)_i)$.

3. Формування елементарного коду для послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h)$ задається виразом $L(r(h)) = \lceil \log_2 r(h)_{\max} \rceil + 1$.

4. Обчислення сумарної кількості розрядів на подання всієї послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h)$, а саме $L(r(h))_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{\Phi} L(r(h))_i$.

5. Побудова кодових конструкцій обробленого подання двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової.

Вихідна структура побудови кодових конструкцій обробленого масиву диференційно-поданого кадру матиме такий вигляд (рис. 5.8):



Рисунок 5.8 – Структурна схема побудови кодових конструкцій обробленого виду диференційно-поданого кадру

Загальна схема кодового подання диференційно-поданого кадру показана на рис. 5.9.

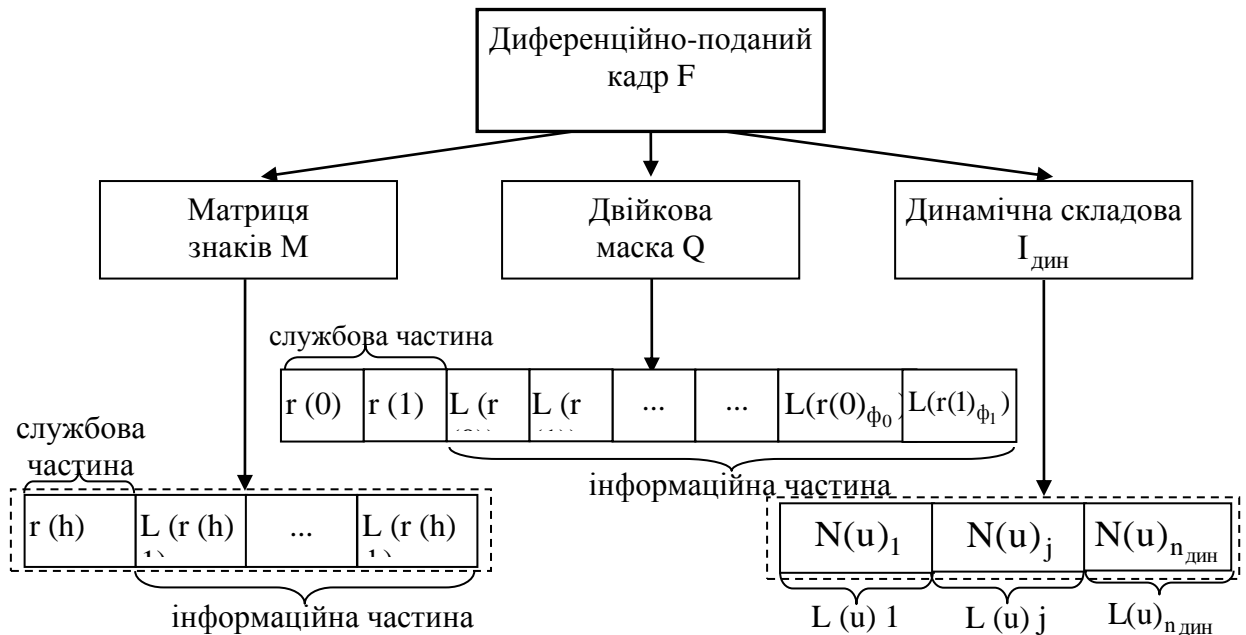


Рисунок 5.9 – Загальна схема кодового виду диференційно-поданого кадру

Таким чином розроблений метод кодування диференційних кадрів відеоінформаційного потоку базується на обробці динамічної та стаціонарної складових з виділенням двійкової маски покажчиків, а саме:

1. Розроблено метод компресії кадрів відеоінформаційного потоку, який базується на таких концептуальних складових:
 - а) виділення в диференціальному кадрі динамічної та стаціонарної складових на базі формування двійкової маски покажчиків;
 - б) побудова матриці знаків для збереження інформації про знаки елементів диференціального кадру;
 - в) кодування матриці двійкової маски на основі двошалфавітного коду потужності.

Це дозволяє:

- врахувати структурні особливості диференційного кадру, а саме різну ступінь насиченості динамічних складових і великі розміри областей стаціонарного фону;

- скоротити кількість кодової надмірності в результаті адаптації вибору потужності алфавіту до структури двійкової маски. Обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру щодо одноалфавітного коду знизиться в середньому на 17%;

- знизити час на обробку в результаті формування поелементних універсальних кодів;

г) кодування динамічної складової на основі сегментації по масивах з подальшим кодуванням по адаптивній заданій основі з урахуванням зниження динамічного діапазону на величину порога фільтрації. Обсяг динамічної складової знижується в середньому на 38%;

д) упаковки вектора знаків з урахуванням наявності структурної подібності з двійковою маскою стаціонарного фону на основі одноалфавітного коду потужності.

2. Показано, що зі збільшенням коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами збільшується ступінь компресії двійкової маски диференційно-представленого кадру. Кількість розрядів на представлення службової інформації в середньому скоротиться на 70%.

5.2 Розробка методу відновлення динамічних зображень стаціонарного фону

Процес реконструкції динамічних зображень стаціонарного фону полягає у послідовному виконанні таких етапів [62, 66, 208 – 211].

Перший етап – реконструкція матриці двійкової маски Q .

Другий етап – реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$.

Третій етап – реконструкція матриці знаків M .

Відновлення матриці двійкової маски Q необхідно проводити в першу чергу. Це пов'язано з тим, що реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$ та матриці знаків M неможливо провести без відновленої двійкової маски.

Зміст першого етапу.

Отримання інформації двійковій маски дозволяє:

1. Визначити позиції динамічних та стаціонарних складових у диференційному кадрі.
2. Визначити кількість елементів динамічної та стаціонарної складових.
3. Отримати структурні елементи, необхідні для реконструкції двійкового вектора покажчиків знаків.

Процес реконструкції матриці двійкової маски полягає у виконанні наступних дій.

Перша дія. Отримання службової інформації про потужності алфавітів довжин серій нулів і одиниць. Ця інформація визначається на основі заданої довжини коду, що відводиться під значення потужності алфавіту, який визначається за умови максимально допустимої довжини двійкової серії. Максимальна довжина двійкової серії дорівнює кількості елементів у двійковій масці. У свою чергу, розмір двійкової маски збігається з розміром вихідного кадру. Тому максимальна довжина двійковій серії r_{max} дорівнює розміру кадру та визначається виразом $r_{\text{max}} = m \cdot n$ (біт).

Звідси довжина коду $L(r)$ під потужність алфавіту дорівнює $L(r) = [\log_2(m \cdot n)] + 1$.

Знаючи розмір кадру можна визначити ту частину кодової конструкції, в якій міститься інформація про потужності алфавіту довжин серій нулів та одиниць.

Друга дія. Отримана інформація про потужності алфавітів дозволяє перейти до безпосереднього декодування довжин двійкових серій. Для цього:

- 1) використовується умова, що нульовою серією в матриці двійкової маски є серія нулів. Тоді, якщо довжина першої серії дорівнює одиниці, то ця

серія відповідає серії одиниць. В іншому випадку, якщо довжина серії більше або дорівнює двом, то дана серія є серією нулів:

якщо $q_{11} = 0$, то $r_{i,1} \geq 2$;

якщо $q_{11} = 1$, то $r_{i,1} = 1$;

2) використовується інформація про потужності алфавітів Ω_0 та Ω_1 . Це дозволяє визначити розмір кодового подання $L(r(0))$ довжин серій нулів $r(0)$ та довжину кодового подання $L(r(1))$ довжин серій одиниць $r(1)$:

$$L(r(0)) = [\log_2 r(0)_{\max}] + 1; \quad L(r(1)) = [\log_2 r(1)_{\max}] + 1;$$

3) використовується умова, що в матриці двійкової маски серії нулів та одиниць чергуються один з одним.

Дані умови дозволяють провести реконструкцію двійкової маски без втрати інформації (рис. 5.10.).

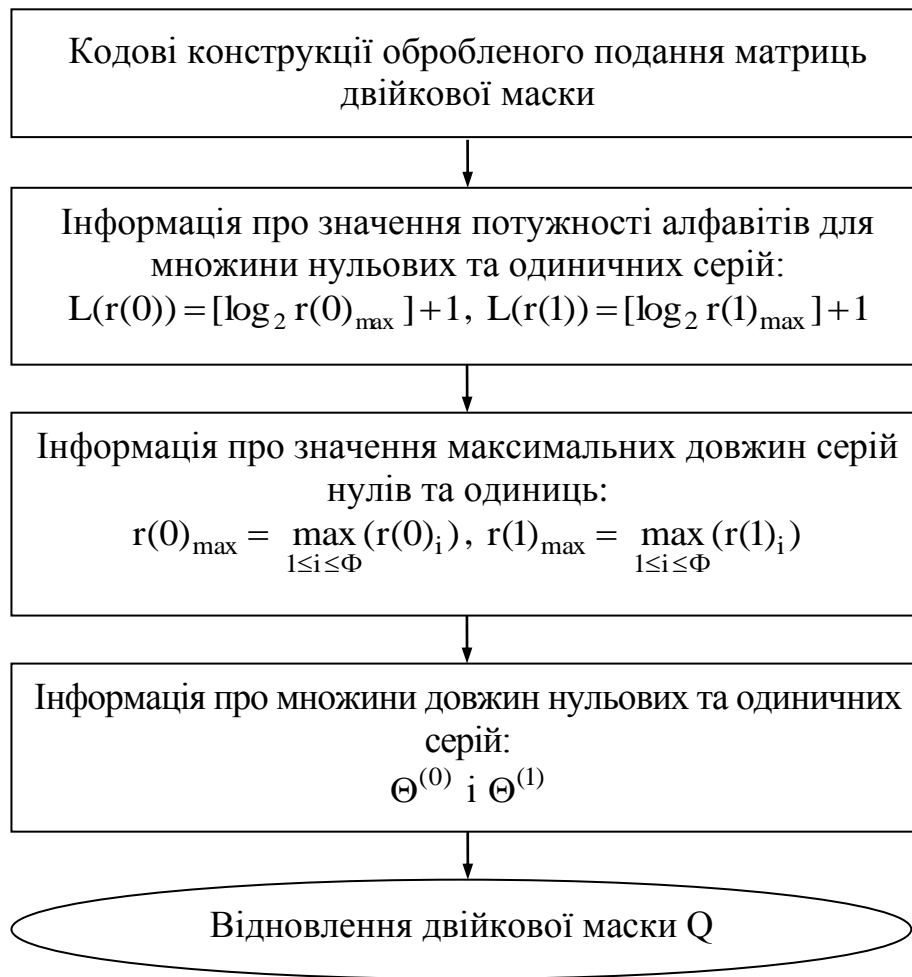


Рисунок 5.10 – Схема реконструкції двійкової маски

Зміст другого етапу.

Відновлена двійкова маска дозволяє визначити кількість та позиції елементів динамічної складової диференційного кадру. Кількість елементів динамічної складової $v_{\text{дин}}$ дорівнює кількості одиниць двійкової маски. Для реконструкції динамічної складової $I_{\text{дин}}$ використовується:

- 1) інформація про величину порога фільтрації ΔP ;
- 2) обраний розмір масиву, на який сегментується динамічна складова;
- 3) величини адаптивних основ, кількість яких визначається з інформації про сумарну кількість елементів динамічної складової та розмірі масивів;
- 4) значення кодів сформованих для стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$, яке визначається із загальної кодової конструкції.

Оскільки для кожного масиву динамічної складової D_u значення основи λ_u вибирається адаптивно, то довжина кодів слів $L(u)_j$ є рівномірною тільки в межах окремого масиву.

Тут працює принцип локально рівномірної довжини кодового слова. Для отримання довжини кодового слова в межах одного масиву необхідно використовувати інформацію про величину основи λ_u та кількість рядків $m_{\text{дин}}$ у масиві динамічної складової.

При наявності даної інформації довжина кодового слова дорівнює:

$$L(u)_j = [\log_2 \lambda_u^{n_{\text{дин}}} - 1] + 1,$$

де $L(u)_j$ – кількість розрядів на подання значення коду позиційного числа, який формується адаптивно для кожного рядка масиву динамічної складової D_u ;

$\lambda_u^{n_{\text{дин}}}$ – накопичений добуток основ u -го масиву динамічної складової D_u .

Сумарно-кодова довжина для поточного масиву динамічної складової $L(u)_\Sigma$ визначається за формулою:

$$L(u)_\Sigma = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} L(u)_j.$$

Очевидно, нам необхідна інформація про довжину одного кодового слова та їх кількість, яка дорівнює кількості стовпців $n_{\text{дин}}$ у масиві динамічної складової D_u . Сумарна довжина кодового подання $L(u)_\Sigma$ поточного масиву дозволяє визначити першу позицію кодового виду чергового масиву динамічної складової (рис. 5.11);

5) довжиною кодового слова є інформацію про значення коду адаптивно-позиційного числа. Після чого на основі інформації про адаптивну основу λ_u та величину порога фільтрації ΔP можна безпосередньо перейти до відновлення елементів d окремих стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$.

Оскільки масиви динамічної складової розглядаються як адаптивно-позиційні числа, то для їх реконструкції використовується технологія позиційного декодування. Тоді елемент масиву динамічної складової визначається як елемент позиційного числа з відомою основою.

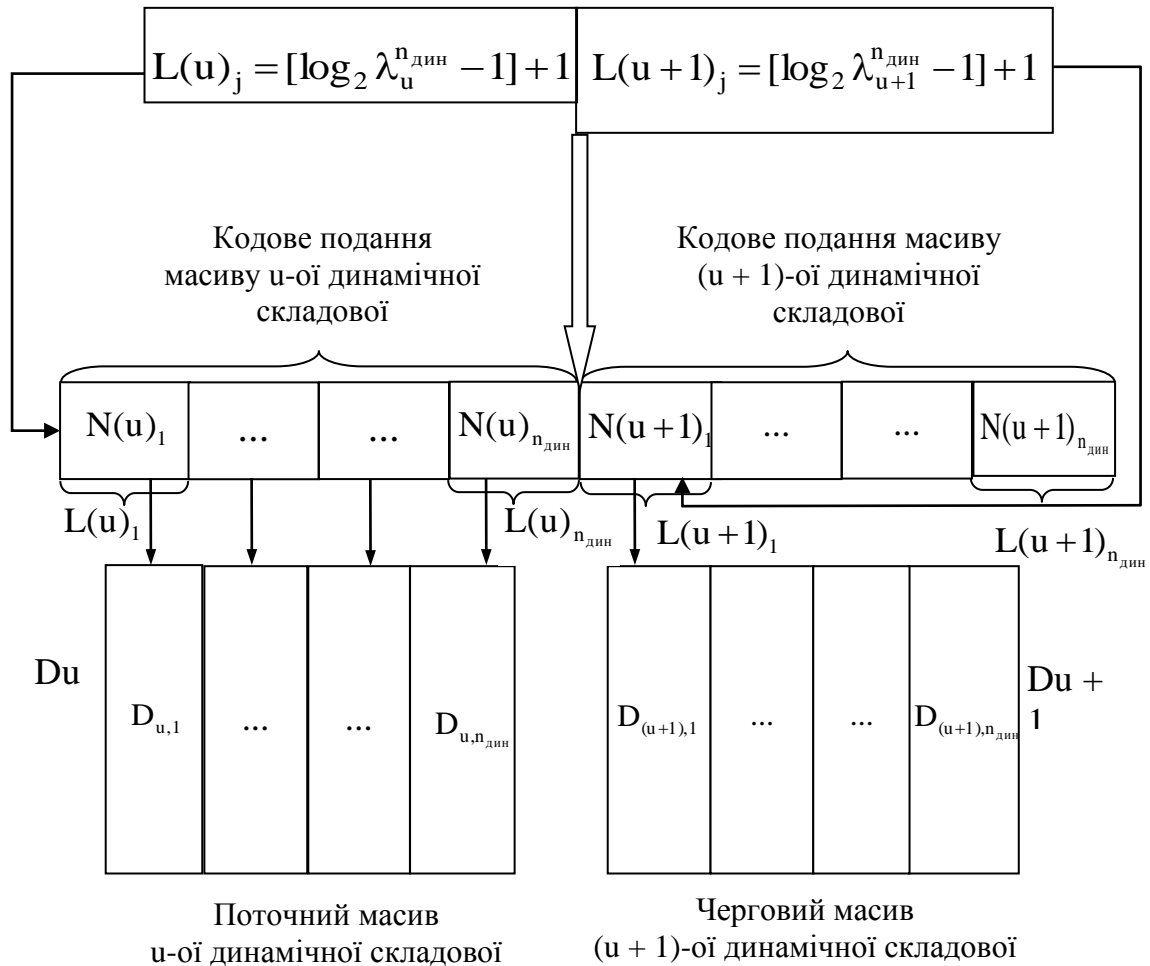


Рисунок 5.11 – Схема реконструкції масивів динамічної складової

У свою чергу, елемент позиційного числа розраховується як:

$$d'_{i,j} = \left\lceil \frac{N(u)_j}{P_j} \right\rceil - \left\lceil \frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_j} \right\rceil \cdot \lambda_u,$$

де $d'_{i,j}$ – (i ; j)-ий елемент масиву динамічної складової; $N(u)_j$ – значення коду для i -их позиційних чисел отриманих для j -го стовпця u -го масиву динамічної складової;

P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа; λ_u – адаптивна основа u -го масиву динамічної складової.

Тоді отримана формула для відновлення інших елементів стовпця динамічної складової прийме такий вигляд:

$$d'_{1,j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_1} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_1} \right] \cdot \lambda_u; \quad d'_{m_{\text{дин}},j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_{m_{\text{дин}}}} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_{m_{\text{дин}}}} \right] \cdot \lambda_u,$$

де $d'_{1,j}$ – $(1; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової; $d'_{m_{\text{дин}},j}$ – $(m_{\text{дин}}; J)$ -ий елемент масиву динамічної складової; P_1 – ваговий коефіцієнт 1-го елемента позиційного числа; $P_{m_{\text{дин}}}$ – ваговий коефіцієнт $m_{\text{дин}}$ -го елемента позиційного числа.

Схематично процес реконструкції стовпця масиву динамічної складової наведений на рис. 5.12.

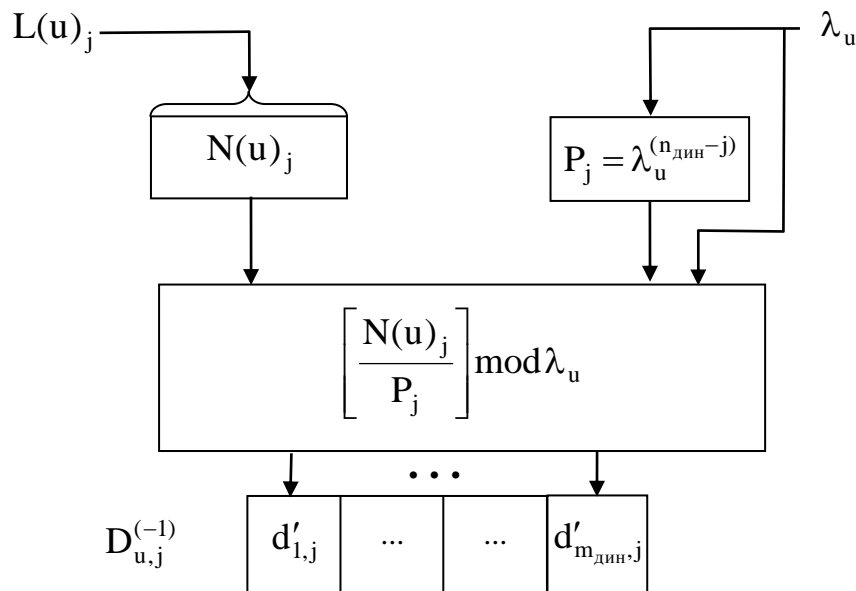


Рисунок 5.12 – Схема реконструкції стовпця масиву динамічної складової

Після реконструкції елементів стовпця масиву динамічної складової $d'_{i,j}$ необхідно відновити їх вихідний динамічний діапазон. Для цього проводиться постфільтрація динамічного діапазону, яка приводить елементи складової $I_{\text{дин}}$ відповідно до порога фільтрації ΔP . Для цього отримані

значення елементів динамічної складової повинні бути збільшені на величину порога ΔP , що задається формулою $d_{i,j} = d'_{i,j} + \Delta P$.

Така процедура дозволить отримати динамічну складову з вихідним динамічним діапазоном. Весь процес реконструкції динамічної складової $I_{\text{дин}}$ показаний на рис. 5.13.

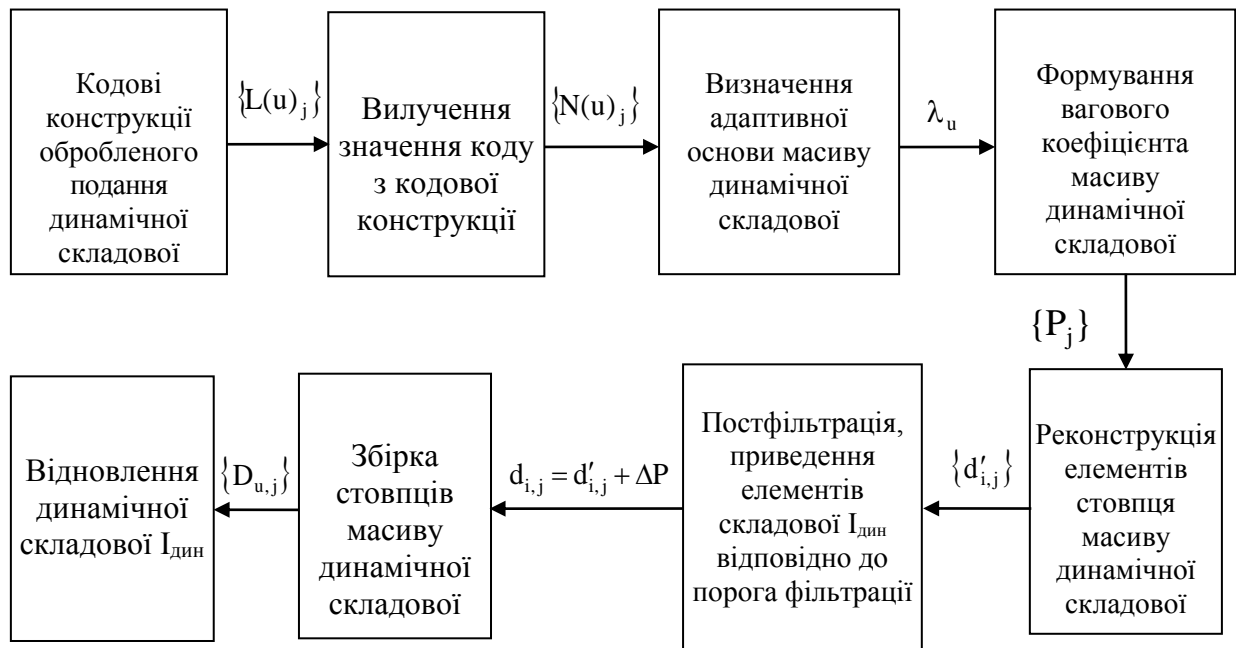


Рисунок 5.13 – Структурно-функціональна схема реконструкції динамічної складової

Повне відновлення динамічної складової, необхідне для реконструкції вихідного кадру, забезпечується, коли відома інформація про знаки компонента. Тому третій етап пов'язаний з відновленням вектора показників знаків компонента.

Зміст третього етапу. Він присвячений реконструкції двійкового вектора показників знаків.

Реконструкція двійкового вектора показників знаків W проводиться на основі інформації про потужність алфавіту Ω . Це дозволяє визначити довжину кодового подання $L(r(h))$ для множини довжин двійкових серій $\Theta(h)$, яка задається формулою $L(r(h)) = [\log_2 r(h)_{\max}] + 1$.

Для визначення позицій знаків у кадрі зображення застосовується структурна подібність з матрицею двійкової маски, а саме довжина і позиції серії нульових елементів для матриці покажчиків знаків збігаються з довжиною і позиціями серії нульових елементів для матриці двійкової маски:

$$r(0)_i = r(M)_0,$$

де $r(0)_i$ – значення довжини серії нульових елементів i -го рядка двійкової маски;

$r(M)_0$ – значення довжини серії нульових елементів матриці знаків.

Відповідно серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування і довжину негативних елементів динамічної складової. У той самий час серія одиничних елементів двійкової маски вказує не тільки на негативні значення елементів динамічної складової, а й на позитивні значення. Тоді довжина $r(1)_i$ серії одиничних елементів двійковій маски для i -го рядка містить у собі довжину $r(M)_-$ серії негативних елементів матриці покажчиків знаків і довжину $r(M)_+$ серії позитивних елементів матриці покажчиків знаків, тобто $r(1)_i = r(M)_- + r(M)_+$.

Дані умови дозволяють провести реконструкцію двійкового вектора покажчиків знаків без втрати інформації. Процес відновлення двійкового вектора покажчиків знаків представлений на рис. 5.14.



Рисунок 5.14 – Схема реконструкції двійкового вектора показчика знаків динамічної складової

На завершальному етапі на основі отриманої інформації проводиться відновлення поточного диференційно-поданого кадру (рис. 5.15).

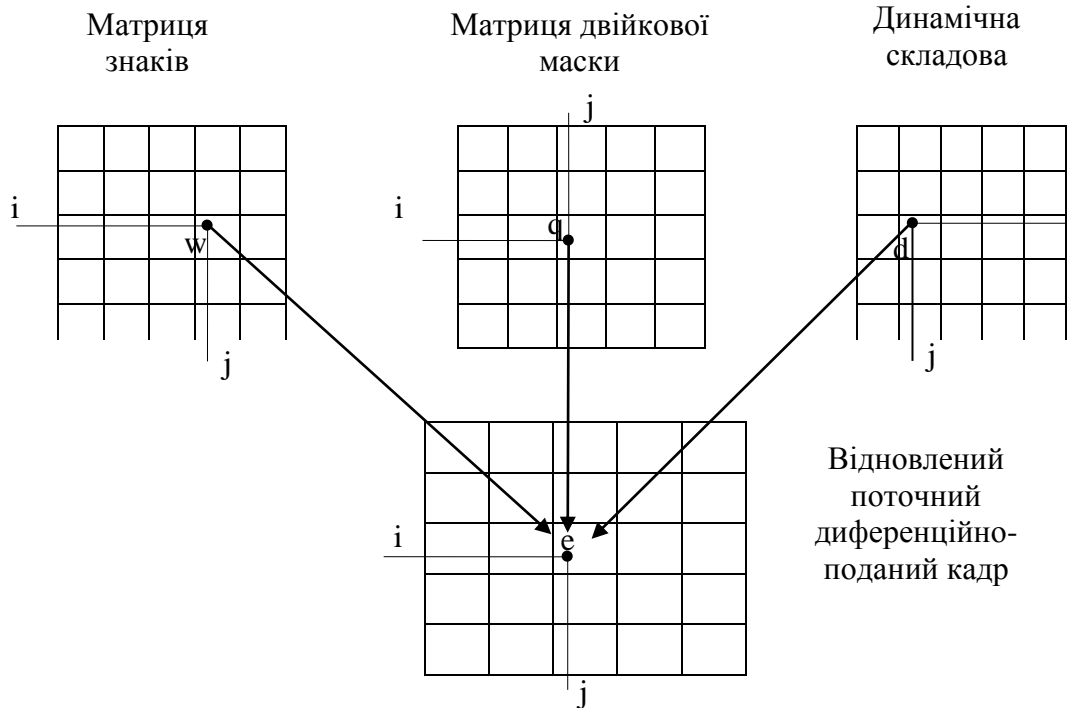


Рисунок 5.15 – Схема відновлення поточного диференційно-поданого кадру

Даний етап забезпечується за рахунок таких перетворень:

$$e_{i,j} = \begin{cases} \frac{\Delta P}{2}, & \text{якщо } q_{i,j} = 0; \\ -d_{i,j}, & \text{якщо } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 1; \\ d_{i,j}, & \text{якщо } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 0, \end{cases}$$

де ΔP – величина порога фільтрації;

$d_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової;

$q_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент матриці двійкової маски;

$w_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент двійкового вектора покажчиків знаків.

Після отримання диференційно-поданого кадру на основі інформації про базовий кадр Y забезпечується побудова поточного кадру у відеопослідовності (рис. 5.16).

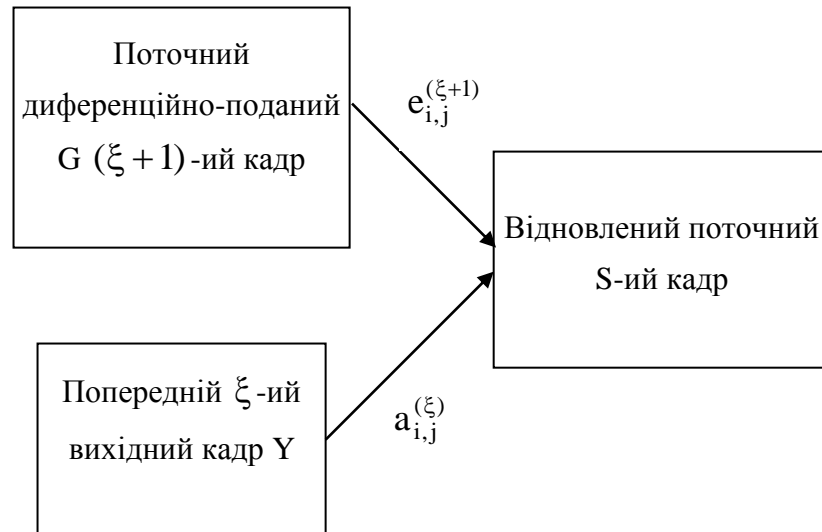


Рисунок 5.16 – Схема відновлення поточного кадру у відеопослідовності

Даний етап формально описується так:

$$a_{i,j}^{(\xi+1)} = e_{i,j}^{(\xi+1)} + a_{i,j}^{(\xi)},$$

де $a_{i,j}^{(\xi)}$ – $(i; j)$ -ий елемент попереднього вихідного кадру;

$e_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i; j)$ -ий елемент поточного диференційно-поданого кадру;

$a_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i; j)$ -ий елемент поточного кадру у відеопослідовності.

Таким чином, розроблено метод відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону без втрати інформації, що містить такі етапи:

1) реконструкція матриці двійкової маски Q за рахунок:

- отримання службової інформації про потужності алфавітів довжин серій нулів Ω_0 та одиниць Ω_1 ;

- використання умови про те, що нульова серія в матриці двійкової маски є серія нулів. Тоді якщо довжина першої серії дорівнює одиниці, то ця серія відповідає серії одиниць. В іншому випадку, якщо довжина серії більше або дорівнює двом, то дана серія є серією нулів;

- визначення довжини кодового подання довжин серій нулів та довжини кодового подання довжин серій одиниць;

- використання умови про те, що в матриці двійкової маски серії нулів та одиниць чергуються один з одним;

2) реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$ на основі:

- інформації про величину порога фільтрації ΔP ;
- обраного розміру масиву, на який сегментується динамічна складова;
- величини адаптивних основ;
- значення кодів сформованих для стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$;
- відомої довжини кодові слова можна вважати інформацію про значення коду адаптивно позиційного числа.

3) реконструкція матриці знаків M виконується за рахунок:

- інформації про потужності алфавіту Ω двійкового вектора покажчиків знаків;
 - інформації про визначення позицій знаків в кадрі зображення на основі структурної подібності з матрицею двійкової маски.
- 4) відновлення поточного диференційно-поданого кадру G ;
- 5) відновлення поточного кадру S у відеопослідовності.

5.3 Розробка методу представлення масиву стаціонарної складової диференційно-поданого кадру

Для виявлення закономірностей у послідовності довжин серій обґрунтуємо інформативну ознаку, яка володіє такими властивостями [36, 68, 169, 215 – 217]:

1) бути інформативним для довжин двійкових серій з урахуванням адаптації до особливостей формування масивів двійкової маски диференційного кадру. Необхідно забезпечити потенційну можливість для скорочення надмірності для довільного змісту бітової площині;

2) не вимагати значних обчислювальних витрат для оцінки і виявлення закономірностей, що не перевищують порядку $O(n)$;

3) забезпечити врахування різких структурних відмінностей для двійкових показників стаціонарної та динамічної складових диференційно поданого кадру.

Розробемо підхід для скорочення надмірності в масивах двійкової маски диференціального кадру на основі висунутих вимог.

Для врахування запропонованих вимог пропонується використовувати підхід для кодового подання послідовності довжин двійкових серій маски на основі виявлення закономірностей у потужності алфавіту Ω . Під алфавітом джерела даних розуміється набір значень, які можуть приймати елементи повідомлень. Тоді потужністю $|\Omega|$ алфавіту джерела повідомлень є кількість різних елементів в алфавіті. Одним з простих і в той самий час ефективних кодів, що забезпечують врахування обмежень на потужність алфавіту, є коди Бодо. Код Бодо відповідає першим двом вимогам.

Простий поелементний код Бодо передбачає наявність відомостей про:

- розміри осередку машинної пам'яті;

- максимальне значення r_{\max} довжини серії в масивах двійкової маски

диференційного кадру.

Якщо задана послідовність довжин двійкових серій, тобто $\Theta = \{r_1, \dots, r_\Phi\}$, то простий код Бодо формується за три етапи:

Етап 1. Відшукується максимальне значення довжини двійкової серії:

$$r_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r_i). \quad (5.2)$$

Етап 2. Визначається кількість $L(r)$ біт, яка потрібна для подання максимального значення довжини двійковій серії r_{\max} :

$$L(r) = \lceil \log_2 r_{\max} \rceil + 1. \quad (5.3)$$

Етап 3. Величина $L(r)$ записується на початку кодового подання та є службовою інформацією, що вказує на межі кодового опису сусідніх елементів зображення. Після чого під кожну довжину двійкової серії відводиться на кодове подання рівно $L(r)$ біт. Сумарна кількість $L(r)_{\Sigma}$ біт, яка потрібна для подання всіх довжин двійковій серії, задається виразом:

$$L(r)_{\Sigma} = \Phi \cdot L(r). \quad (5.4)$$

Простий блоковий код Бодо полягає в поданні в кожному кодовому слові кількох елементів вихідного фрагмента зображення. Наприклад, така ситуація виникає в разі подання кількох елементів кодуємої послідовності в одне машинне слово (один регістр зовнішньої пам'яті).

Звідси випливає, що метод Бодо є одноалфавітним. Тобто всі елементи оброблюваної послідовності належать одному алфавіту.

Однак код Бодо не відповідає третій вимозі. Це обумовлено тим, що двійкова маска диференційно-поданого кадру в умовах ведення зйомки стаціонарною камерою має значну неоднорідність структурного змісту. Під неоднорідністю структурного змісту розуміється те, що стаціонарна складова може займати значний простір з незначними за розміром елементами динамічної складової. У цьому випадку довжини $r(0)$, які сформовані для нульових послідовностей, будуть переважати за значенням довжини $r(1)$ сформованих для послідовностей одиничних елементів. Для такої ситуації використання коду потужності за одним алфавітом призведе до утворення кодової надмірності. Дійсно, відповідно до кода потужності одного алфавіту для всіх довжин серій, незалежно від їх походження, формуються кодові послідовності однакової довжини $L(r)$. У цьому випадку сумарна кількість розрядів $L(r)_{\Sigma}$ на подання всієї послідовності довжин двійкових серій дорівнюватиме:

$$L(r)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{\Phi} L(r)_i,$$

де $L(r)_i$ – кількість розрядів на подання i -го елемента послідовностей довжин двійкових серій маски;

Φ – кількість довжин двійкових серій, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру.

У той самий час, в силу неоднорідності структурного змісту, реальна кількість двійкових розрядів $L(r)'_{\Sigma}$, необхідна для отримання всієї послідовності довжин двійкових серій, буде значно менше величини $L(r)_{\Sigma}$:

$$L(r)'_{\Sigma} \lll L(r)_{\Sigma}.$$

Це призводить до наявності кодової надмірності R (рис. 5.17):

$$R = L(r)_{\Sigma} - L(r)'_{\Sigma}.$$



Рисунок 5.17 – Схема наявності кодової надмірності в послідовності довжин двійкових серій

Така ситуація обумовлена тим, що для кодового подання довжин серій одиниць потрібна значно менша кількість розрядів порівняно з кодовим поданням довжин серій нулів:

$$L(r(1)) \lll L(r(0)),$$

де $L(r(1))$ – кількість розрядів для кодового подання довжин серій нулів;

$L(r(0))$ – кількість розрядів для кодового подання довжин серій одиниць.

Отже, для усунення кодової надмірності пропонується використовувати для послідовності Θ довжин двійкових серій два алфавіта. Перший алфавіт Ω_0 визначається для довжин серій нулів, другий алфавіт Ω_1 – для довжин серій одиниць. Такий підхід дозволяє врахувати наявність різкої неоднорідності в структурному змісті масиву двійкової маски. Відповідно, формування коду потужності для таких послідовностей реалізовуватиметься за двоалфавітною схемою. Суть схеми:

1. Формуються довжини серій нулів та одиниць на основі масиву двійкової маски.

2. Вся послідовність довжин двійкових серій розбивається на дві підпослідовності довжин серій нулів та одиниць відповідно:

$$\Theta^{(0)} = \{r(0)_1, \dots, r(0)_{\Phi_0}\};$$

$$\Theta^{(1)} = \{r(1)_1, \dots, r(1)_{\Phi_1}\}.$$

Тоді сумарна кількість розрядів на подання підпослідовностей довжин серій нулів та одиниць відповідно дорівнюватиме:

$$L(r(0))_{\Sigma} = \Phi_0 \log_2 r(0)_{\max}; \quad (5.5)$$

$$L(r(1))_{\Sigma} = \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}. \quad (5.6)$$

3. Для кожної підпослідовності формується свій алфавіт, відповідно Ω_1 і Ω_0 .

4. Код потужності будується відповідно до побудованих алфавітів.

Визначення 5.1. Код потужності, побудований за розглянутою вище схемою, називається двоалфавітним кодом. Іншими словами, двоалфавітним кодом потужності називається код за потужністю, який формується для двоалфавітних послідовностей.

У відповідності з властивостями двоалфавітного коду потужності його місце в системі класифікації методів бітового кодування показано на рис. 5.18.

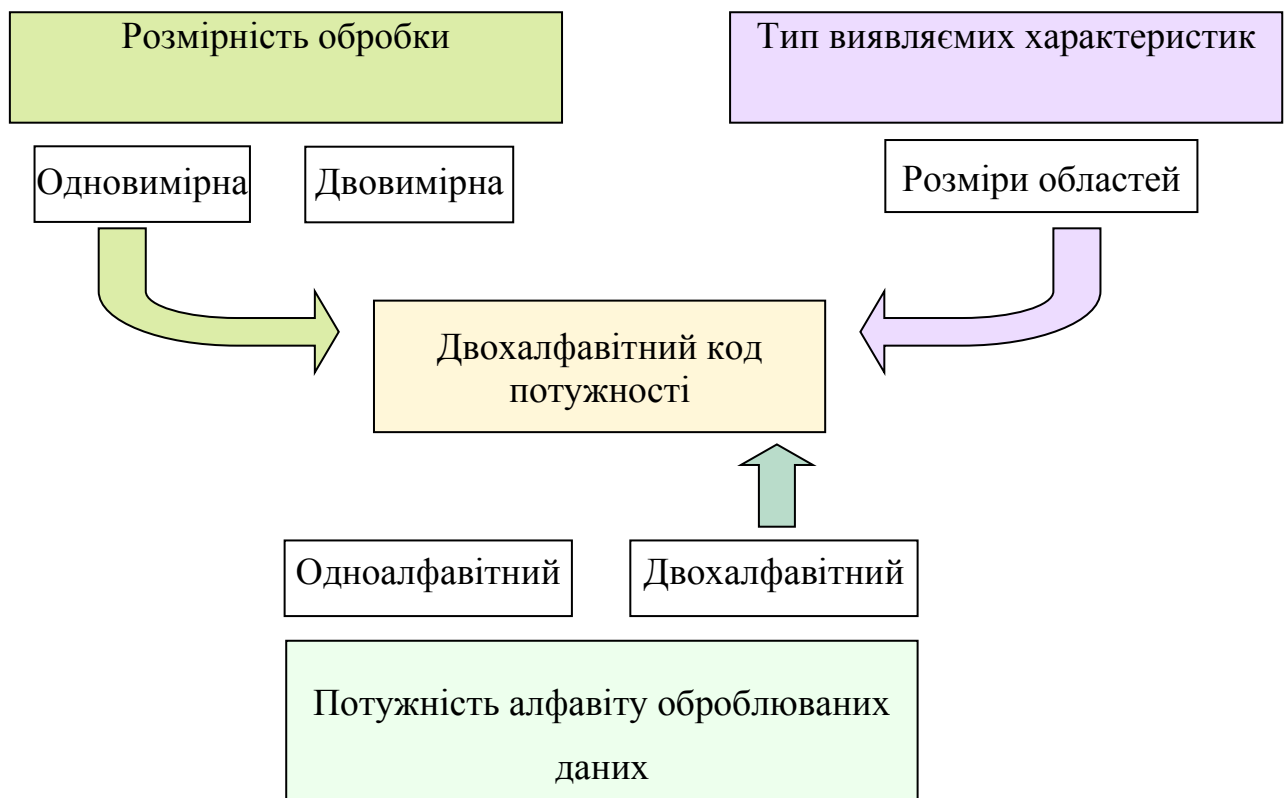


Рисунок 5.18 – Місце двоалфавітного коду потужності в системі класифікації методів бітової обробки

Розміри двійкових областей враховуються в результаті виявлення довжин двійкових серій. Покажемо, що для двоалфавітного коду потужності щодо довжин двійкових серій двійкової маски диференціального кадру виконується умова, тобто забезпечується ступінь компресії:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi_0 \log_2 r(0)_{\max} + \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{\Phi} r_i}{\log_2 (r(0)_{\max}^{\Phi_0} \cdot r(1)_{\max}^{\Phi_1})},$$

де Φ_0 – кількість довжин серій нулів для двійкової маски диференційно-поданого кадру;

Φ_1 – кількість довжин серій одиниць для двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Експериментальна оцінка величини η_M щодо масиву двійкової маски диференційно-поданого кадру для відеоінформаційного потоку стаціонарної камери наведена на рис. 5.19.

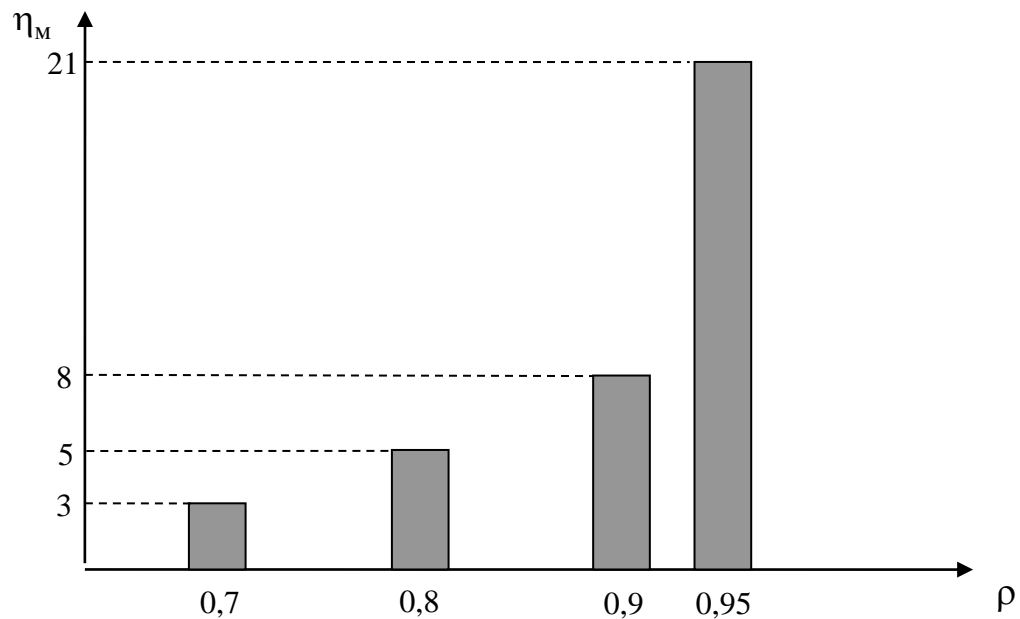


Рисунок 5.19 – Експериментальна оцінка величини η_M щодо масиву двійкової маски диференційно-поданого кадру для відеоінформаційного потоку стаціонарної камери

З урахуванням виявлених особливостей структурна схема методу двофазового кодування матриці двійкової маски диференційно-поданого кадру приведена на рис. 5.20.

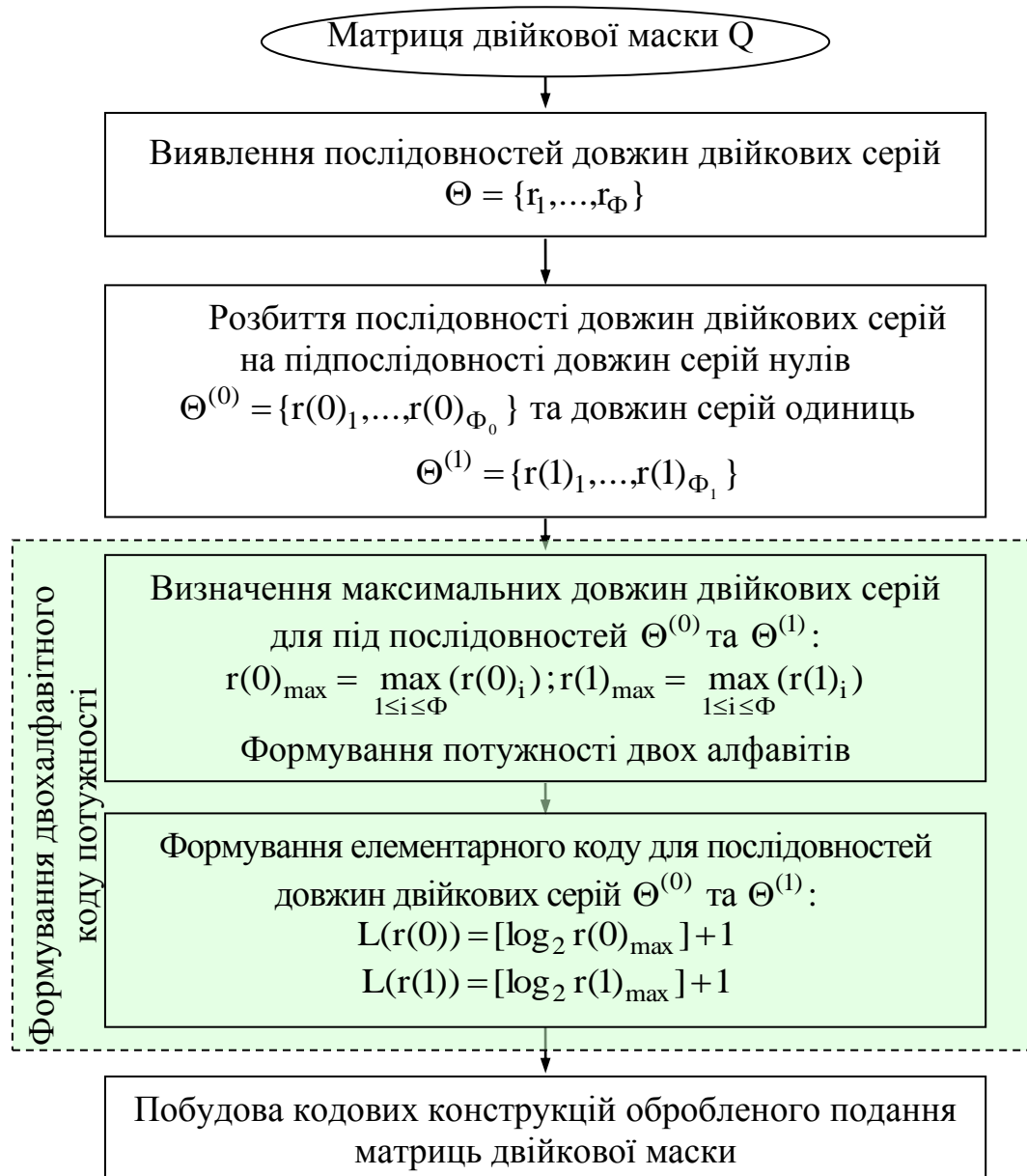


Рисунок 5.20 – Структурна схема методу двоалфавітного кодування двійкової маски диференційно-поданого кадру

Приклад 1. Обчислимо кількість розрядів $L(r)_\Sigma$ на подання всієї послідовності довжин серій для двійкової маски диференційно-поданого кадру Q за рахунок одноалфавітного коду потужності.

Двійкова маска диференційно-поданого кадру Q

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0

Спочатку визначимо максимальне значення довжини двійкової серії r_{\max} у послідовності довжин двійкових серій $\Theta = \{r_1 = 19; r_2 = 1; r_3 = 4; r_4 = 5; r_5 = 1; r_6 = 3; r_7 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r_1 = 19; L(r)_1 = 5 \text{ біт}; r_2 = 1; L(r)_2 = 1 \text{ біт};$$

$$r_3 = 4; L(r)_3 = 2 \text{ біт}; r_4 = 5; L(r)_4 = 3 \text{ біт};$$

$$r_5 = 1; L(r)_5 = 1 \text{ біт}; r_6 = 3; L(r)_6 = 2 \text{ біт};$$

$$r_7 = 3; L(r)_7 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії двійкової маски диференційно-поданого кадру $r_{\max} = 19$. Тоді на підставі виразу (5.3) кількість розрядів, що витрачається на подання максимальної довжини серії двійкової маски дорівнює $L(r) = 5$ біт.

Кількість довжин двійкових серій, сформованих для масиву двійкової маски диференціального кадру, $\Phi = 7$. Тоді на підставі виразу (5.4) сумарна кількість розрядів на подання послідовності довжин двійкових серій дорівнюватиме $L(r)_{\Sigma} = 5 \cdot 7 = 35$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасиченого деталями, які мають різні динамічні складові) знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування одноалфавітного коду потужності для всіх послідовностей довжин серій обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру знизиться приблизно на 3%.

Приклад 2. Обчислимо сумарну кількість розрядів $L(r)_\Sigma$ на подання всієї послідовності довжин серій для двійкової маски диференційно-поданого кадру Q за рахунок двошалфавітного коду потужності.

Двійкова маска диференційно-поданого кадру Q

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0

Спочатку визначимо максимальне значення $r(0)_{\max}$ у підпослідовності довжин серій нулів $\Theta^{(0)} = \{r(0)_1 = 19; r(0)_2 = 4; r(0)_3 = 1; r(0)_4 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r(0)_1 = 19; L(r(0))_1 = 5 \text{ біт};$$

$$r(0)_2 = 4; L(r(0))_2 = 2 \text{ біт};$$

$$r(0)_3 = 1; L(r(0))_3 = 1 \text{ біт};$$

$$r(0)_4 = 3; L(r(0))_4 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії нулів двійкової маски диференційно-поданого кадру $r(0)_{\max} = 19$. Тоді кількість розрядів, яка витрачається на подання максимальної довжини серії нулів двійкової маски дорівнює $L(r(0)) = 5$ біт.

Кількість довжин серій нулів, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру, так само $\Phi = 4$. Тоді на підставі виразу (5.5) сумарна кількість розрядів на подання підпослідовності довжин серій нулів дорівнюватиме $L(r(0))_\Sigma = 5 \cdot 4 = 20$ біт.

Потім, аналогічно визначимо максимальне значення $r(1)_{\max}$ у підпослідовності довжин серій одиниць $\Theta^{(1)} = \{r(1)_1 = 1; r(1)_2 = 5; r(1)_3 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r(1)_1 = 1; L(r(1))_1 = 2 \text{ біт};$$

$$r(1)_2 = 5; L(r(1))_2 = 3 \text{ біт};$$

$$r(1)_3 = 3; L(r(1))_3 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії одиниць двійкової маски диференційно-поданого кадру $r(1)_{\max} = 5$. Тоді кількість розрядів на подання максимальної довжини серії одиниць двійкової маски дорівнюватиме $L(r(1)) = 3$ біт.

Кількість довжин двійкових серій одиниць, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру, $\Phi = 3$. Тоді на підставі виразу (5.6) сумарна кількість розрядів на подання послідовності довжин серій одиниць дорівнюватиме $L(r(1))_{\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9$ біт.

Таким чином, сумарна кількість розрядів на подання серій нулів та одиниць дорівнюватиме $L(r)_{\Sigma} = L(r(0))_{\Sigma} + L(r(1))_{\Sigma} = 20 + 9 = 29$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасиченого деталями, які мають різні динамічні складові) знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування двохалфавітного коду потужності для підпоследовностей довжин серій нулів та одиниць обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру знизиться приблизно на 20%. Також за рахунок двохалфавітного коду потужності обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру щодо одноалфавітного коду знизиться приблизно на 17%.

Таким чином, зі збільшенням коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами збільшується ступінь компресії двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Ступінь компресії двійкової маски диференційно-поданого кадру змінюється від 3 до 21 залежно від коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами.

Оцінка інформативності бітового подання двійкової маски диференційно-поданого кадру на основі врахування різної ваги основ довжин

двійкових серій не вимагає збільшення складності програмно-апаратної реалізації.

5.4 Розробка методу обробки динамічної складової диференційно-поданого кадру

Позиційному кодуванню з адаптивним вибором основи піддаються не окремі елементи, а їх сукупності (рядки). Тому перед початком позиційного кодування з адаптивним вибором основи потрібно з окремих елементів сформувати масиви.

Динамічна складова $I_{\text{дин}}$ розбивається на масиви (рис. 5.21).

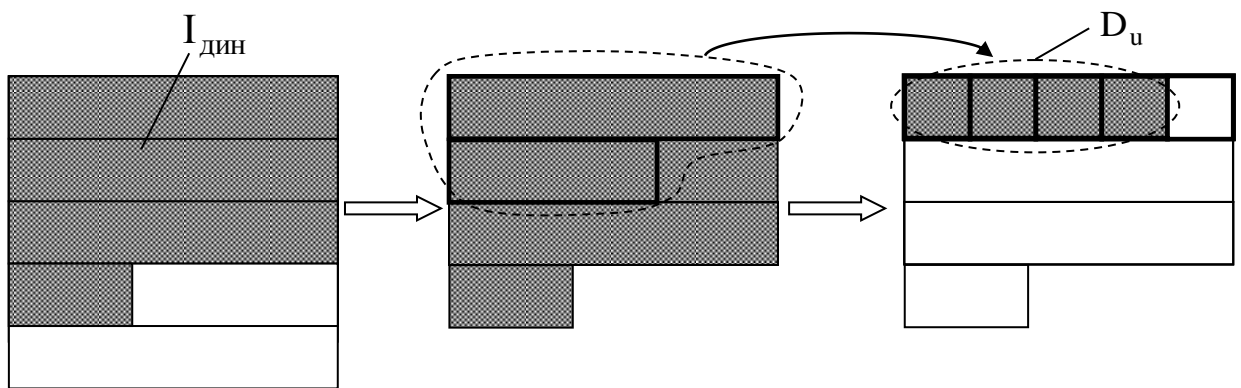


Рис. 5.21 – Сегментація динамічної складової на масиви

На час формування масивів D впливає порядок обходу динамічної складової. З технічної точки зору найменший час відображення інформації на екрані досягається при порядковому обході динамічної складової. Це пояснюється тим, що в процесі відображення кадру воно виводиться на екран по рядках (рядкова розгортка). Тоді при відновленні зображення воно буде виводитися на екран у міру відновлення елементів, що належать динамічній складовій [36, 177, 218 – 220]. А сама динамічна складова розбивається на блоки рівних розмірів (рис. 5.22).

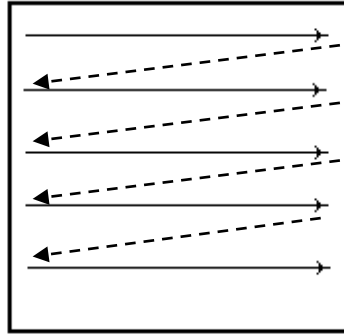
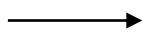


Рисунок 5.22 – Фрагмент розбиття динамічної складової:



- напрямок обходу динамічної складової

Тому порядок обходу динамічної складової пропонується організувати по рядках в напрямку зліва направо. Для кожної наступної динамічної складової $I_{\text{дин}}$ процес її розбиття на масиви починається спочатку.

Кількість елементів у динамічній складовій $v_{\text{дин}}$ нам відома і вона дорівнює кількості одиничних елементів у стаціонарній складовій $I_{\text{ст}}$. Тому пропонується розбивку динамічної складової на масиви здійснювати з урахуванням наявності інформації про кількість елементів динамічної складової. Звідси розмір масиву пропонується вибирати з урахуванням:

1. Максимального заповнення масивів елементами динамічної складової, тобто в останньому масиві, сформованому для динамічної складової, повинно бути якомога менше незаповнених рядків.

2. Того, що позиційне число і код формуються для рядка масиву. У цьому випадку необхідно забезпечити відсутність ситуацій, які призводять до переповнення максимально допустимої довжини кодового слова.

3. Того, що кількість потенційно скорочуємої надмірності збільшиться з ростом розміру позиційного числа. Це обумовлено тим, що для більшої довжини блоку можна виявити більше закономірностей, які використовуються в процесі скорочення надмірності.

Пропонується така процедура визначення розмірів масивів, на які розбивається динамічна складова:

1) якщо довжина допустимого кодового слова обмежена 64 бітами, то, відповідно до властивостей позиційного кодування, довжина рядка масиву динамічної складової не повинна перевищувати 8. З іншого боку, відповідно до третьої вимоги щодо вибору розміру масиву динамічної складової, довжина рядка не повинна бути менше 4. Тому, на першому етапі довжина рядка масивів динамічної складової має дорівнювати 6, тобто ($n_{\text{дин}} = 6$), якщо $n_{\text{дин}} \leq v_{\text{дин}}$,

де $v_{\text{дин}}$ - кількість елементів в динамічній складовій.

Тоді сумарна кількість рядків динамічної складової $m(\Sigma)_{\text{дин}}$ при врахуванні знання величини $v_{\text{дин}}$ визначається за формулою:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} = \begin{cases} \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] + 1, & \text{якщо } v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \neq 0; \\ \frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}}, & \text{якщо } v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} = 0, \end{cases}$$

де $\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}}$ - кількість рядків динамічної складової, на основі яких формуються

повні масиви;

$v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}}$ - залишкова кількість рядків динамічної складової,

на основі якої можна сформувати повний масив;

2) сумарна кількість рядків розбивається на окремі масиви. Причому кількість рядків в масивах повинна бути однаковою. З іншого боку, на вибір кількості рядків у масиві впливає умова збереження однорідності властивостей у локальній області за динамічними діапазонами. Це дозволить вибирати адаптивну основу позиційного числа, яка найбільш адекватно описує властивості локальної області. У зв'язку з чим, пропонується кількість

рядків в масиві вибирати рівною $n_{\text{дин}} = 6$. Тоді кількість $v_{\text{м}}^{(\text{дин})}$ масивів, на які розбивається вся динамічна складова дорівнює:

$$v_{\text{м}}^{(\text{дин})} = \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right].$$

Для скорочення кількості основ позиційних чисел, які обирають для кожного масиву окремо, пропонується така процедура:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} < 3.$$

Останній повний масив заповнюється залишившимся рядками з неповного масиву. В іншому випадку, коли

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \geq 4,$$

формується неповний масив.

У загальному вигляді схема позиційного кодування масивів динамічної складової з адаптивним вибором основи, наведена на рис. 5.23.

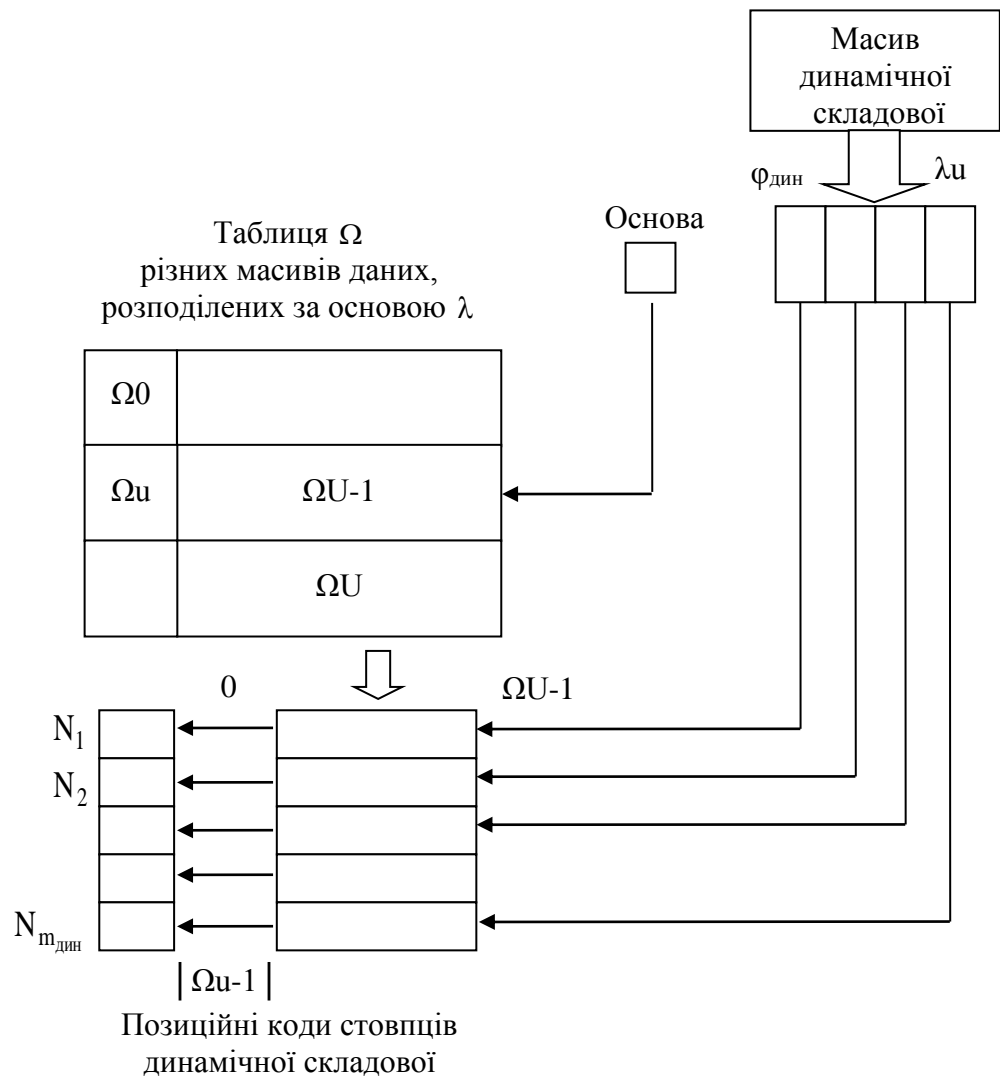


Рис. 5.23 – Схема позиційного кодування масиву динамічної складової з адаптивним вибором основи

Таблиця Ω складається з усіх можливих масивів даних, розподілених залежно від значення основи, де $U + 1$ – кількість різних масивів динамічної складової заданого розміру, а u – індекс підмножини масивів динамічної складової, що задовольняють значенням основи λ_u . Масиви динамічної складової утворюються з вихідного зображення на основі функціоналів $\Phi_{\text{дин}}$. Потім для отриманих масивів знаходиться основа λ_u . Знайдена основа служить вхідним параметром для зчитування з таблиці Ω множин Ω_u відповідно можливих масивів динамічної складової. В межах обраних

множин Ω_u стовпці масивів динамічної складової нумеруються по порядку відповідно від 0 до $|\Omega_u|$. Тому за рахунок зіставлення конкретних масивів динамічної складової стовпцями множин Ω_u визначаються відповідні коди для позиційних чисел $N(u)_i$.

У загальному випадку повний масив D_u динамічної складової має вигляд:

$$D_u = \begin{pmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,n_{\text{дин}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ d_{i,1} & d_{i,2} & \dots & d_{i,j} & \dots & d_{i,n_{\text{дин}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ d_{m_{\text{дин}},1} & d_{m_{\text{дин}},2} & \dots & d_{m_{\text{дин}},j} & \dots & d_{m_{\text{дин}},n_{\text{дин}}} \end{pmatrix},$$

де $d_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової;

$m_{\text{дин}}, n_{\text{дин}}$ – відповідно кількість рядків та стовпців в масивах D_u .

Масив D_u може бути заповнений не повністю. Формування рядка масиву динамічної складової проводиться з урахуванням зсуву на кількість елементів, яка дорівнює довжині рядка масиву $n_{\text{дин}}$.

На процес розбиття динамічної складової на масиви D_u впливає максимальне значення d_{max} елемента $I_{\text{дин}}$ та кількість $n_{\text{дин}}$ стовпців. Це обумовлено тим, що код формується не для окремого елемента динамічної складової, а для рядка масиву динамічної складової. Тому на значення коду позиційного числа $N(u)_i$ і на довжину його кодограми L_i впливає адаптивна основа, яка вибирається відповідно до величини d_{max} і кількості елементів в позиційному числі, що визначається величиною $n_{\text{дин}}$. При цьому ми можемо управляти тільки величиною $n_{\text{дин}}$. Величина d_{max} визначається окремо для кожної динамічної складової. Тому, перед вибором величини $n_{\text{дин}}$

пропонується розглянути особливості позиційного кодування з адаптивним вибором основи.

1. Обмеження, що накладається на довжину кодограми L_j , яке відводиться під позиційне число $N(u)_j$. Виконання цього обмеження необхідно для виключення втрат інформації через брак розрядів для подання значення коду $N(u)_j$. Для цього величина максимально можливого числа, яке може зберігатися в кодограмі L_j розрядів, не повинна перевищувати величини динамічного діапазону $D_{(N)}$ значень кодів позиційних чисел:

$$2^{L_j} \geq D_{(N)},$$

де 2^{L_j} – максимально можливе число, яке може зберігатися в кодограмі довжиною L_j біт.

Динамічний діапазон $D_{(N)}$ визначається як максимально можливе значення коду позиційних чисел $N(u)_j$ для заданого значення основи λ_u .

2. Значення кодів $N(u)_j$ формуються для позиційних чисел рівномірної довжини $n_{\text{дин}}$. Це обумовлено тим, що позиційне число формується на базі елементів окремих рядків масивів динамічної складової. Тому значення кодів $N(u)_j$ будуть набувати різних розмірів для різних рядків. Звідси для скорочення кодової надмірності пропонується довжину кодограми L_j вибирати нерівномірною, тобто $L_j = \text{VAR}$.

Для запропонованої організації масивів D_u схема розрахунку позиційних чисел для рядків $D_{u,j} = \{d_{1,j}; d_{2,j}; \dots, d_{i,j}, \dots, d_{j,m_{\text{дин}}}\}$ цих масивів з урахуванням адаптивного вибору основи λ_u задається виразами:

$$N(u)_j = \sum_{i=1}^{m_{\text{дин}}} d_{i,j} P_j; \quad (5.7)$$

$$P_j = \lambda_u^{(m_{\text{дин}} - j)}; \quad (5.8)$$

$$\lambda_u = \max \left\{ d; j \right\} + 1, \quad (5.9)$$

$$\begin{matrix} 1 \leq j \leq n_{\text{дин}} \\ 1 \leq i \leq m_{\text{дин}} \end{matrix}$$

де $N(u)_j$ – значення коду для j -го позиційного числа j -го стовпця u -го масиву динамічної складової; P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа; λ_u – основа u -го масиву динамічної складової.

Розглянемо приклад обчислення кодів для позиційних чисел рядків масиву динамічної складової.

Приклад 3. Виконаємо розрахунок $N(u)_j$ для кодів позиційних чисел масивів D_u :

$$D_u = \begin{vmatrix} 10 & 23 & 30 \\ 20 & 18 & 9 \\ 4 & 10 & 15 \end{vmatrix}.$$

Спочатку визначимо позиційні числа для рядків масиву $D_{u,i}$ динамічної складової. Для цього знайдемо основу λ_u та обчислимо за формулою (5.8) їх накопичені добутки P_j . Величина основи $\lambda_u = 31$. Тоді ваговий коефіцієнт $P_1 = 31^2 = 961$; $P_2 = 31^1 = 31$; $P_3 = 31^0 = 1$. На основі цих значень за формулою (5.7) обчислимо значення $N(u)_j$ для кодів позиційних чисел $D_{u,j}$:

$$N(u)_1 = 10 \times 961 + 20 \times 31 + 4 \times 1 = 10234; L_1 = 14 \text{ біт};$$

$$N(u)_2 = 23 \times 961 + 18 \times 31 + 10 \times 1 = 22671; L_2 = 15 \text{ біт};$$

$$N(u)_3 = 30 \times 961 + 9 \times 31 + 15 \times 1 = 29124; L_3 = 15 \text{ біт.}$$

Максимальна кількість розрядів, яка витрачається на представлення позиційних чисел динамічної складової дорівнює 15 розрядам. При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасичений динамічними складовими) знадобиться 24 розряди. Отже, за рахунок позиційного кодування обсяг динамічної складової знизиться приблизно на 38%.

Позиційні коди дозволять компактно представити масиви динамічної складової, якщо відповідні максимальні значення λ_u мають обмежені розміри, тобто: $\lambda_u < d_{\max}, u = \overline{1, v_{\text{дин}}}$, де d_{\max} – максимальне числове значення динамічної складової.

Таким чином, в результаті запропонованого кодування масиви динамічної складової замінюються послідовністю кодових значень позиційних чисел з адаптивною основою $\{N(u)_1, \dots, N(u)_j, \dots, N(u)_{m_{\text{дин}}}\}$.

Розглянемо інтерпретацію запропонованого кодування. Кожному рядку масиву динамічної складової, який розглядається як позиційне число, ставиться у відповідність один код $N(u)_j$ нерівномірної довжини. Тоді за рахунок позиційного кодування з адаптивною основою рівномірні частини динамічної складової замінюються кодограмами нерівномірної довжини. Тому весь ланцюг послідовних перетворень можна розглядати як рівномірне векторне квантування з подальшим нерівномірним розподілом кількості двійкових розрядів (рис. 5.24).

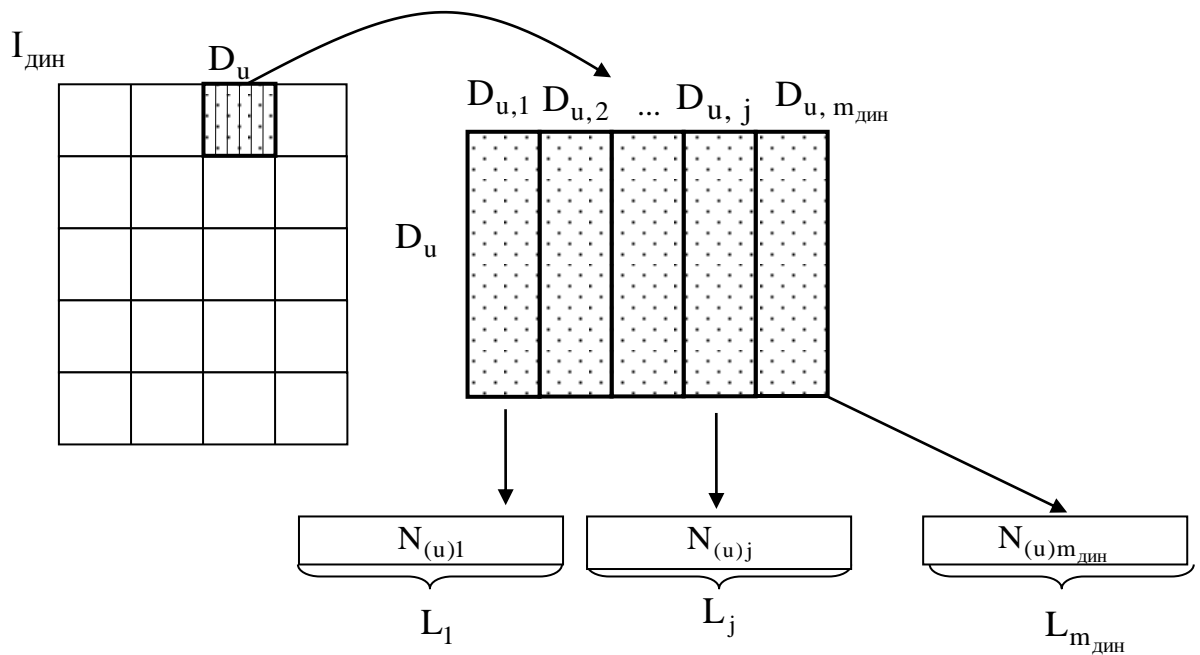


Рис. 5.24 – Схема отримання кодів - номерів для частин фрагмента зображення

Позначимо дане перетворення так:

$$N(u)_j = f_{\text{рвк}} \{D_{u,j}; \lambda_u\};$$

$$L_j = f_{\text{нрр}} \{N_{u,j}; \delta_u\} = f_{\text{нрр}} \{f_{\text{рвк}} \{D_{u,j}; \lambda_u\}; \delta_u\},$$

де $f_{\text{рвк}}$ – функціонал, який задає рівне векторне квантування динамічної складової;

$f_{\text{нрр}}$ – функціонал, який описує процес розподілу кількості двійкових розрядів під кожен код позиційного числа.

Оскільки, з одного боку, кількість елементів у позиційному числі є рівномірною, а, з іншого, значення їх елементів має нерівномірний розподіл на натуральній осі, то значення коду $N(u)_j$ буде нерівномірним:

$$N(u)_j = \text{VAR} .$$

У цьому випадку, якщо під кожен код формувати кодограми заздалегідь заданій рівномірної довжини L_c буде утворюватися кодова надмірність R_c . Це обумовлено появою незначних старших розрядів кодограми, як показано на рисунку 5.25.

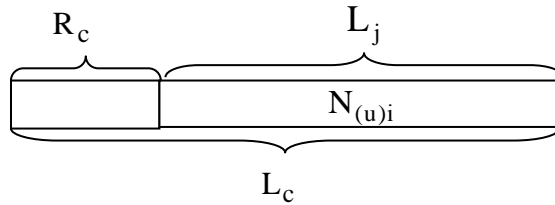


Рис. 5.25 – Схема формування кодової надмірності

Кодова надмірність R_c дорівнює:

$$R_c = L_c - L_j,$$

де L_j – кількість розрядів на подання значення коду позиційного числа, яка формується адаптивно для кожного стовпця масиву динамічної складової D_u ;

L_c – заздалегідь обрана рівномірна довжина кодограми, яка не враховує структурні особливості масивів динамічної складової D_u .

Отже для скорочення кодової надмірності пропонується формувати довжину кодограми, враховуючи структурні особливості кожного стовпця $D_{u,j}$ масиву динамічної складової і нерівномірність довжини кодограми. Тобто, для кожного рядка масиву динамічної складової в загальному випадку може виконуватися нерівність:

$$L_1 \neq \dots L_j \neq \dots L_{m_{\text{дин}}}.$$

Для таких умов існують дві базові стратегії позиціонування кодограм обробленого подання.

Перша стратегія полягає у використанні маркерних роздільників між кодограмами. Маркерні роздільники – це кодова посилка, зміст якої не може повторюватися в жодній кодограмі. З одного боку, це дозволяє забезпечити поділ кодограм на приймальній стороні, але, з іншого боку, призводить до збільшення обсягу обробленого подання.

Суть другої стратегії полягає в тому, що кількість розрядів під кодограми вибирається з урахуванням особливостей динамічних діапазонів оброблюваних рядків динамічної складової. При цьому для скорочення службових даних пропонується використовувати тільки ту службову інформацію, яка використовувалася в процесі формування коду $N(u)_j$.

У разі формування коду для позиційного числа пропонується враховувати такі властивості. Максимальне значення коду $N(u)_{\max}$ позиційного числа для заданої основи λ_u визначається накопиченим добутком основ його елементів:

$$N(u)_{\max} = \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1.$$

Звідки значення коду $N(u)_j$ для позиційних чисел з адаптивною основою λ_u буде обмежено величиною

$$N(u)_j \leq \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1.$$

Звідси кількість двійкових розрядів L_j на подання коду $N(u)_j$ по адаптивній основі λ_u матиме таку верхню межу:

$$L_j = [\log_2 N(u)_j] + 1 \leq [\log_2 \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1] + 1. \quad (5.10)$$

Як випливає з виразу (5.10), права частина нерівності залежить від величини адаптивної основи λ_u та довжини стовпця $m_{\text{дин}}$ масиву динамічної складової. Величина λ_u використовується в процесі кодування, тобто не є додатковою службовою інформацією. Тому для деталізації кодограм позиційних чисел передбачається здійснювати розподіл кількості розрядів під кожен кодограму відповідно до виразу (5.10). У цьому випадку довжина кодограми L_j дорівнює:

$$L_j = [\log_2 \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1] + 1.$$

Тоді $\delta = \lambda_u$.

Відповідно до запропонованої стратегії кількість розрядів під кожен кодограму в межах одного масиву динамічної складової буде постійним. Але для різних масивів динамічної складової витрати кількості розрядів під кожен кодограму є нерівномірними. Це пояснюється тим, що є відмінності значення основ λ_u . Тому пропонується принцип розподілу кількості розрядів під кодограми називати локально – рівномірним.

Таким чином, запропоновано вимоги щодо розбивки динамічної складової на масиви, які враховують, з одного боку, необхідність додаткового скорочення надмірності, а з іншого, виключення випадків переповнення кодового слова.

Розроблено метод компресії масивів динамічної складової на основі одновимірного позиційного кодування з адаптивним вибором основи. При цьому код позиційного числа формується для окремих рядків масиву динамічної складової, а довжина кодового слова вибирається нерівномірної довжини.

Довжини кодових слів позиціонуються один відносно одного відповідно до відомих значень довжини позиційного числа $m_{\text{дин}}$ та адаптивною основою λ_u .

5.5 Розробка методу подання службових даних диференційно-поданого кадру

Для інтеграції двохалфавітного коду за потужністю довжин двійкових серій, виявлених на двійковій масці, в технологію компресії послідовності зображень Р-типу необхідно [66, 187, 221 – 224]:

1) забезпечити узгодження між вимогами, що пред'являються до двохалфавітного коду за потужністю для збільшення ступеня компресії, мінімізації часу обробки, та особливостями формування двійкової маски для диференційно-поданих кадрів;

2) врахувати особливості процесу формування коду потужності алфавіту при побудові кодових конструкцій обробленого подання зображення для забезпечення:

- виключення випадків, які призводять до втрати інформації;
- мінімізації кодової надмірності;

3) виявити можливості та організувати процес компактного подання службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів на основі формування двійкових масок стаціонарної складової.

Забезпечення першого умови базується на способах виявлення двійкових серій та способах формування кодів потужності алфавіту.

Розглянемо другу умову, яка є ключовою в процесі інтеграції двохалфавітного коду по потужності (рис. 5.26), в технологію компресії диференційно-поданих кадрів.

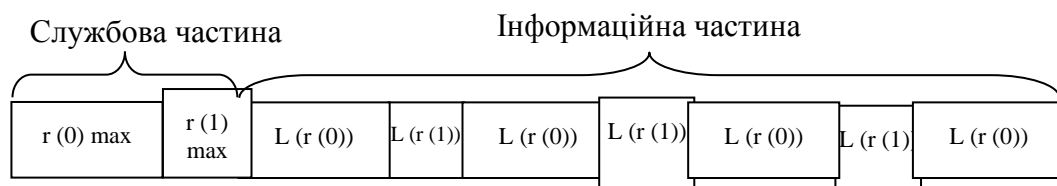


Рис. 5.26 – Структура двохалфавітних кодів

Представимо вирази, які здійснюють обчислення значення кодів $L(r(0))$ та $L(r(1))$ для підпоследовностей довжин серій нулів та одиниць, виявлених на матриці двійковій маски:

$$L(r(0)) = [\log_2 r(0)_{\max}] + 1;$$

$$L(r(1)) = [\log_2 r(1)_{\max}] + 1,$$

де $r(0)_{\max}$ – значення максимальної довжини серій нулів двійкової маски диференційно-поданого кадру;

$r(1)_{\max}$ – значення максимальної довжини серій одиниць двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Виключення випадків, які призводять до втрати інформації в процесі кодування матриць двійкової маски, досягаються в результаті:

1. Наявності додаткової інформації про довжину кодових конструкцій двоалфавітних кодів $r(0)_{\max}$ та $r(1)_{\max}$, а також використання рівномірних кодів для подання довжин серій нулів та одиниць. Це дозволяє визначити початок і кінець кодової конструкції обробленого подання матриці двійкової маски.

2. Використання умови початкової нульової серії. Це дозволяє виключити збій в ідентифікації приналежності коду відповідної серії двійкових елементів.

3. Здійснення процесів кодування і декодування двоалфавітних кодів в умовах взаємосумісності. У цьому випадку помилка відхилення бітової відповідності вихідної і реконструйованої двійкової маски дорівнює нулю.

Мінімізація кодової надмірності забезпечується за рахунок адаптивного вибору потужності алфавіту залежно від особливостей формування серій нульових та одиничних елементів.

Розглянемо можливість скорочення службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів. Службовими даними є матриці показників знаків M диференційно-поданого кадру. Обсяг матриці показників знаків займає обсяг $V(M)$, який дорівнює:

$$V(M) = m \cdot n \text{ (біт)}.$$

Звідси, кількість розрядів на подання службових даних може збільшувати обсяг обробленого подання в діапазоні від 10% до 30%.

Тому для зменшення обсягу матриці показників знаків пропонується враховувати структурну подібність з матрицею двійкової маски. Така структурна подібність полягає в тому, що довжина та позиції серії нульових елементів для матриці показників знаків збігаються з довжиною та позиціями серії нульових елементів для матриці двійковій маски (рис. 5.27).

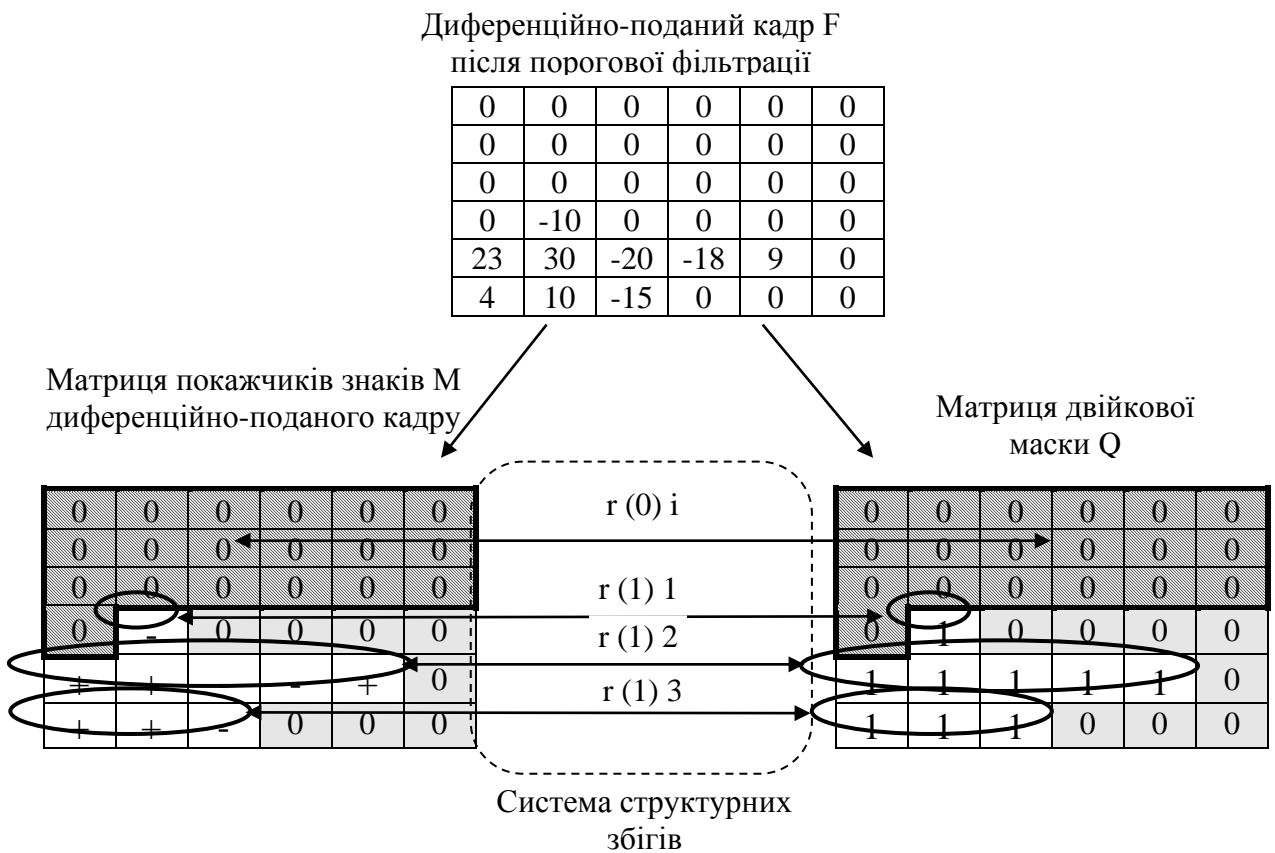


Рис. 5.27 – Структурний збіг для матриці показників знаків та матриці двійкової маски

Дана відповідність задається формулою:

$$r(0)_i = r(M)_0,$$

де $r(0)_i$ – значення довжини серії нульових елементів i -го рядка матриці двійкової маски;

$r(M)_0$ – значення довжини серії нульових елементів матриці покажчиків знаків.

Відповідно, серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування та довжину негативних елементів динамічної складової.

У той самий час серія одиничних елементів двійкової маски вказує не тільки на негативні значення елементів динамічної складової, а й на позитивні значення.

Тоді довжина $r(1)_i$ серії одиничних елементів двійкової маски для i -го рядка включає довжину $r(M)_-$ серії негативних елементів матриці покажчиків знаків та довжину $r(M)_+$ серії позитивних елементів матриці покажчиків знаків:

$$r(1)_i = r(M)_- + r(M)_+.$$

Тому пропонується:

1. Матрицю покажчиків знаків будувати після порівняння з порогом (проведена порогова фільтрація диференційно-поданого кадру).

2. Не використовувати в побудові матриці покажчиків знаків серію покажчиків, які відносяться до нульових елементів диференційно-поданого кадру. Дані серії будуть структурно відповідати серіями нульових елементів матриці двійкової маски.

3. Нульовими елементами позначати позитивні елементи динамічної складової i , навпаки, одиничними елементами позначати негативні елементи динамічної складової. В силу структурної подібності довжини та позиції таких елементів формуватимуть серії одиничних елементів матриці двійкової маски.

Для отримання абсолютних значень динамічної складової диференційно-представленого кадру без збільшення їх динамічного діапазону пропонується формувати двійковий вектор W покажчиків знаків динамічної складової (рис. 5.28). Тут використовується відповідність між серіями одиничних елементів матриці двійкової маски та серіями двійкового вектора покажчиків знаків, який задається виразом:

$$r(1)_i = r(h)_i,$$

де $r(h)_i$ – довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка.

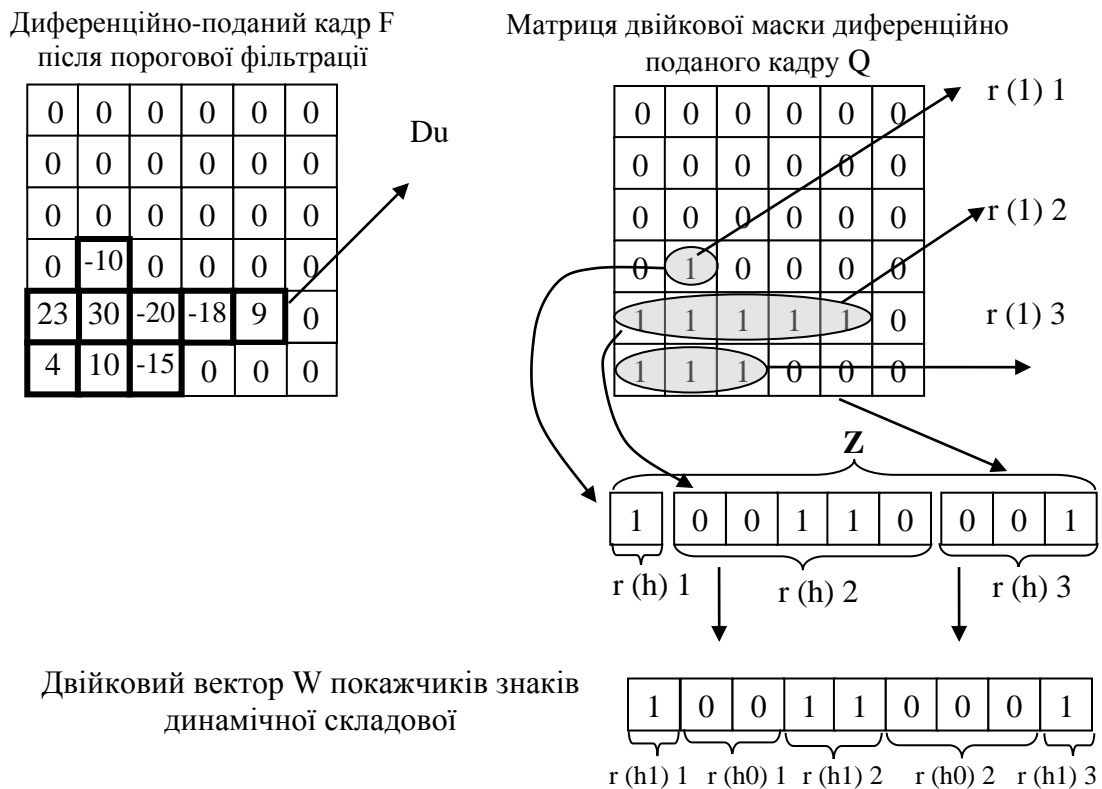


Рис. 5.28 – Схема формування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової

Довжина $r(h)_i$ визначається на основі підсумовування серій нульових та одиничних елементів двійкового вектора покажчиків знаків:

$$r(h)_i = \sum_{\xi=1}^{v_0} r(h_0)_\xi^i + \sum_{\xi=1}^{v_1} r(h_1)_\xi^i,$$

де $r(h_0)_\xi^i$ – довжина серії нульових елементів двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка;

$r(h_1)_\xi^i$ – довжина серії одиничних елементів двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка;

v_0 – кількість нульових підсерій в i -му рядку матриці покажчиків знаків;

v_1 – кількість одиничних підсерій в i -му рядку матриці покажчиків знаків.

Сукупність одиничних елементів матриці двійкової маски утворюють двійковий вектор покажчиків знаків динамічної складової $W = \{w_1, \dots, w_Z\}$.

Довжина Z двійкового вектора покажчиків знаків дорівнює:

$$Z = \sum_{i=1}^{\Phi_1} r(1)_i,$$

де Φ_1 – кількість серій одиничних елементів довжини двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової.

Оскільки елементами двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової є виконавчі елементи, то пропонується проводити їх обробку на основі одноалфавітного коду потужності. Для такого варіанту необхідно сформулювати послідовність $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$\Theta(h) = \{r(h)_1, \dots, r(h)_{\Phi(h)}\},$$

де $r(h)$ – довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової;

$\Phi(h)$ – кількість довжин серій для двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової.

Далі знаходиться максимальне значення $r(h)_{\max}$ довжини серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$r(h)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi(h)} r(h)_i. \quad (5.11)$$

Наступним етапом визначається кількість $L(r(h))$ біт, яка потрібна для подання максимального значення довжини серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$L(r(h)) = \lceil \log_2 r(h)_{\max} \rceil + 1. \quad (5.12)$$

Тоді сумарна кількість розрядів $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової задається співвідношенням:

$$L(r(h))_{\Sigma} = \Phi(h) \log_2 r(h)_{\max}. \quad (5.13)$$

З урахуванням виявлених можливостей процес компактного подання службових даних, які отримаємо для технології обробки диференційно-поданих кадрів, показаний на рис. 5.29.

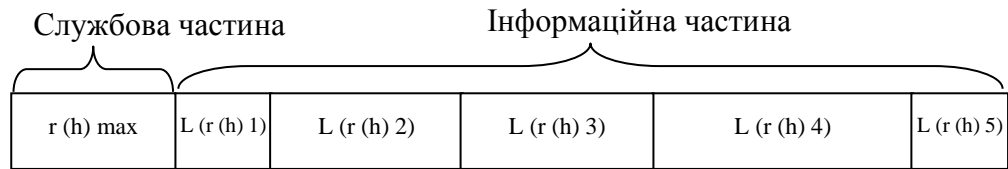


Рис. 5.29 – Структура одноалфавітних кодів

Організація одноалфавітного кодування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової з урахуванням інтеграції в технологію компресії диференційно-поданих кадрів наведена на рис. 5.30.

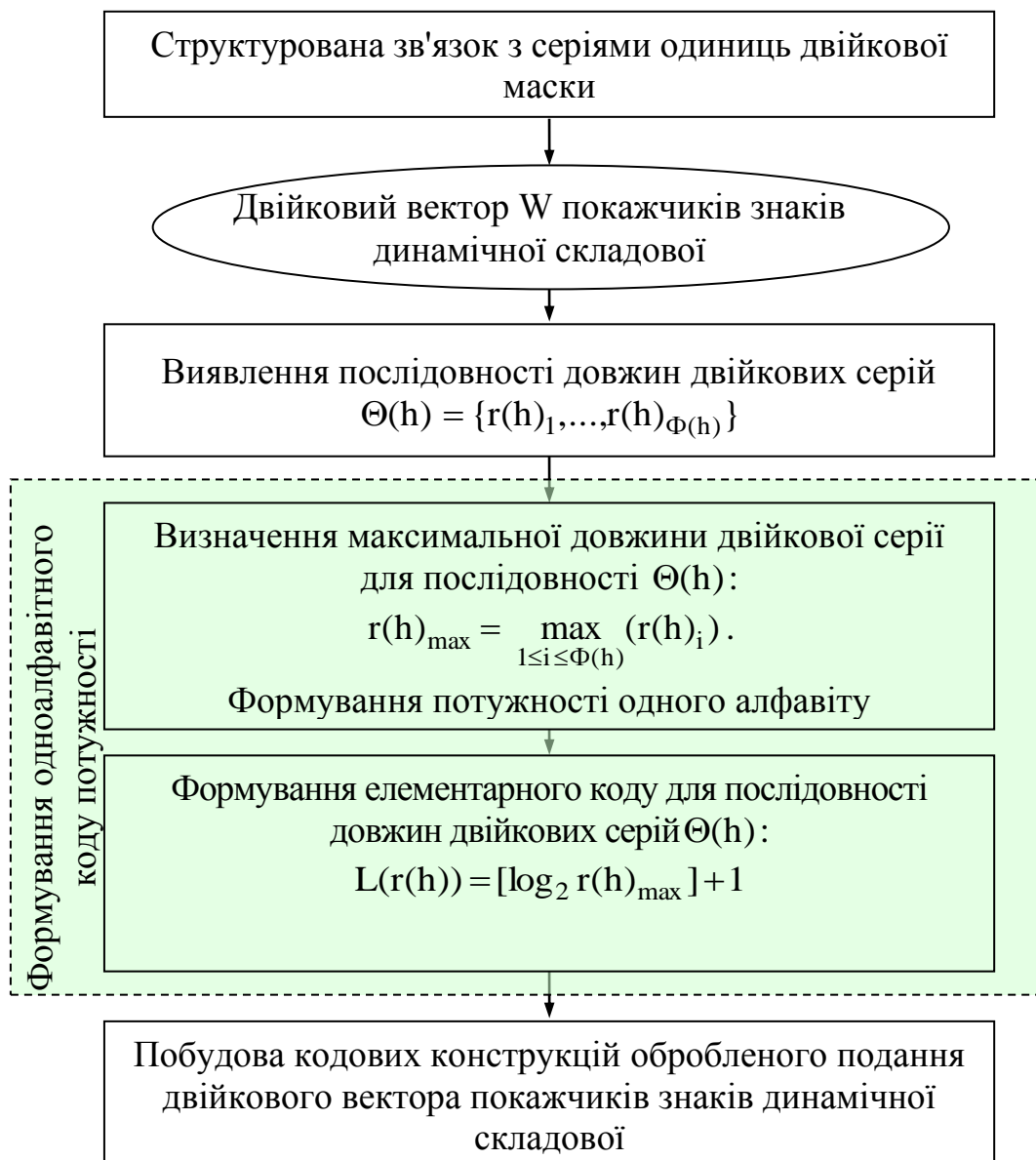


Рис. 5.30 – Структурна схема методу одноалфавітного кодування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової

Приклад 4. Обчислимо кількість розрядів $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової за рахунок одноалфавітного коду потужності.

Двійковий вектор покажчиків знаків динамічної складової для фрагмента диференційно-поданого кадру, який характеризується високою концентрацією динамічної складової щодо попереднього кадру, наведений на рис. 5.31.

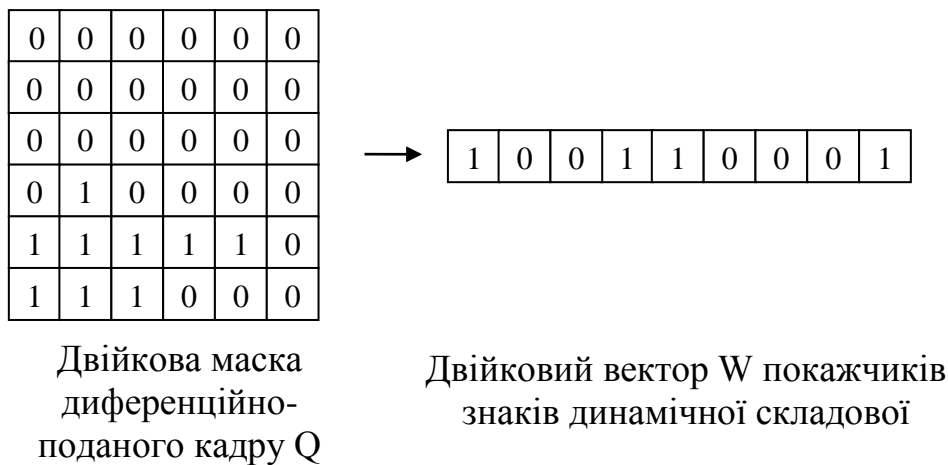


Рис. 5.31 – Двійковий вектор W покажчиків знаків динамічної складової

Для даного прикладу послідовність серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової $\Theta(h)$ прийме вигляду:

$$\Theta(h) = \{r(h)_1 = 1; r(h)_2 = 2; r(h)_3 = 2; r(h)_4 = 3; r(h)_5 = 1\}.$$

Спочатку визначимо максимальне значення довжини двійкової серії $r(h)_{\max}$ у послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової на підставі виразу (5.11).

В цьому випадку максимальна довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової дорівнюватиме $r(h)_{\max} = 3$. Тоді, на підставі виразу (5.12), необхідно затратити кількість розрядів рівну $L(r(h)) = 2$ біт, яка виділяється на подання цієї максимальної довжини серії.

Для вихідних даних, наведених у прикладі, кількість довжин серій, сформованих для двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової, так само $\Phi(h) = 5$. Звідси, на підставі виразу (5.13), знаходиться сумарна кількість розрядів: $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора W показчиків знаків динамічної складової. Величина $L(r(h))_{\Sigma} = 5 \cdot 2 = 10$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування одноалфавітного коду потужності для послідовності довжин серій обсяг двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової знизиться приблизно на 72%.

Таким чином:

1) виявлені особливості процесу формування коду потужності алфавіту при побудові кодових конструкцій обробленого подання зображень, які забезпечують:

- виключення випадків, які призводять до втрати інформації в процесі кодування матриць двійкової маски;

- мінімізацію кодової надмірності;

2) для зменшення обсягу матриці показчиків знаків запропоновано враховувати структурну подібність з матрицею двійкової маски, яка полягає в тому, що:

- довжина та позиції серії нульових елементів для матриці показчиків знаків збігаються з довжиною і позиціями серії нульових елементів для матриці двійкової маски;

- серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування і довжину негативних і позитивних значень елементів динамічної складової.

3) розроблений метод компактного подання службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів, на основі формування двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової.

Даний метод базується на таких принципах:

- матриця показників знаків будується після порівняння з порогом;
- при побудові матриці показників знаків не використовується серія показників, які відносяться до нульових елементів диференційно-поданого кадру. Дані серії структурно відповідають серіям нульових елементів матриці двійкової маски;
- нульовими елементами позначаються позитивні елементи динамічної складової, одиничними елементами – негативні елементи. В силу структурної подібності довжини і позиції таких елементів формують серії одиничних елементів матриці двійкової маски.

Кількість розрядів на подання службової інформації, що утворюється для технології обробки диференційно-поданих кадрів, в середньому скоротиться на 30-50% за рахунок:

- зменшення обсягу матриці показників знаків диференційно-поданого кадру на основі структурної подібності з матрицею двійкової маски;
- застосування одноалфавітного коду для послідовностей довжин серій двійкового вектора показників знаків динамічної складової.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. Розроблено метод компресії кадрів відеоінформаційного потоку. Метод базується на таких концептуальних засадах:

а) виділення в диференційному кадрі динамічної та стаціонарної складових в процесі формування двійкової маски покажчиків;

б) побудови матриці знаків для збереження інформації про знаки елементів диференційного кадру;

в) кодування матриці двійковій маски на основі двоалфавітного коду потужності, що дозволяє:

- врахувати структурні особливості диференційного кадру, а саме різну ступень насиченості динамічних складових та великі розміри областей стаціонарного фону;

- скоротити кількість кодової надмірності в результаті адаптації вибору потужності алфавіту до структури двійкової маски. Обсяги двійкової маски диференційно-поданого кадру відносно одноалфавітного коду знизяться приблизно на 17%;

- знизити час на обробку в результаті формування поелементних універсальних кодів;

г) кодування динамічної складової на основі сегментації по масиву з подальшим кодуванням за адаптивною заданою основою з урахуванням зниження динамічного діапазону на величину порога фільтрації. Обсяги динамічної складової знизяться приблизно на 38%;

д) упаковка вектора знаків з урахуванням наявності структурної подібності з двійковою маскою стаціонарного фону на основі одноалфавітного коду потужності.

2. Розроблено метод відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону без втрати інформації, який містить реконструкцію матриці двійкової маски, реконструкцію динамічної складової,

реконструкцію матриці знаків, відновлення поточного диференційно-поданого кадру; відновлення поточного кадру в відеопослідовності.

3. Обґрунтовано вимоги до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення для компресії зображень стаціонарного фону на основі виявлення і роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових.

4. Сформовано концепцію з розробки обробленого подання динамічних зображень стаціонарного фону.

5. Обґрунтовано основні принципи побудови технології компактного подання двійкових масок диференційно-поданих кадрів за рахунок виявлення послідовності довжин двійкових серій і використання двоалфавітного коду потужності.

6. Розроблено принципи компактного подання динамічної складової на основі побудови позиційних чисел з адаптивним вибором основи.

7. Розроблено принципи компактного подання службових даних на основі структурної подібності матриці покажчиків знаків та матриці двійкової маски за рахунок формування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової та обробки його одноалфавітним кодом потужності.

Результати досліджень п'ятого розділу опубліковані в роботах [56 – 58, 62, 66, 68, 169, 177, 187, 219].

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ВИХІДНИХ ВІДЕОПОТОКІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ

При обробці різних типів кадрів формується нерівномірна кількість біт на кадр, що призводить до виникнення пульсацій трафіку і негативно впливає на функціонування комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Тому є необхідність у розробці методу управління бітовою швидкістю відеопотоку для її узгодження з характеристиками комп'ютерної мережі. Основним показником ефективності функціонування кодера є бітрейт. Виходячи з цього, проводиться аналіз кількості біт, які витрачаються на передачу одного кадру, з урахуванням впливу складових колірної моделі YCrCb, розмірів блоків і макроблоків в кадрі, типу оброблюваного блоку та підсумкового кодування.

Розроблений загальний метод управління бітовою швидкістю на основі алгоритму релаксації Лагранжа, який, по відношенню до інших, є більш швидким і простим, що дозволяє знизити час обробки кадру та забезпечити задану точність знаходження оптимальних параметрів компресії.

З урахуванням розробленого загального методу управління для модернізованого методу компресії P-кадрів формується стратегія управління бітовою швидкістю в MPEG-потоці шляхом зміни таких параметрів компресії як порог прийняття рішень, фактор якості при квантуванні і формат колірної субдискретизації. Таким чином, з'являється можливість підвищення якості відеопослідовності при контролі бітової швидкості для її відповідності пропускну здатності каналу зв'язку.

6.1 Розробка методологічної бази управління бітовою швидкістю вихідного відеопотоку при формуванні прогнозованих кадрів

Передача цифрового відео від джерела до одержувача залучає до роботи цілий ланцюг різних компонентів і процесів. Ключовими ланками цього ланцюга є процеси компресії (кодування) і декомпресії (декодування). Тут початковий цифровий відеосигнал перетворюється в форму необхідну для його подальшої передачі та відновлення. Удосконалені процеси компресії та декомпресії можуть дати істотну комерційну та технічну перевагу [59]. При цьому забезпечується краща якість відеозображення, велика надійність та/або гнучка пристосовність у порівнянні з вже існуючими рішеннями.

Однак поряд з параметрами компресії необхідно так само вводити контроль бітової швидкості відеопотоку, який надходить у канал зв'язку, через неузгодженість бітової швидкості відеопотоку з характеристиками комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. У роботах [60, 63, 65] запропоновано алгоритм обробки Р-кадрів, заснований на використанні двох типів блоків, які обирають за заданою межею, з урахуванням функціоналу, який оцінює інформативність блочного кодування на заключному етапі компресії відеоданих. У порівнянні зі стандартними методами кодування він є кращим. Однак для нього відсутня методологічна база оцінки бітової швидкості відеопотоку в розрахунку на один кадр.

При обробці відеоданих, якщо контрольовані параметри кодування підтримувати постійними, наприклад, кількість прогнозованих кадрів, крок квантування і т.п., то кількість кодових біт кожного макроблоку змінюється від макроблоку до макроблоку залежно від змісту кадру. Це призводить до варіювання бітової швидкості вихідного потоку, яка вимірюється в біт/кадр або в біт/с.

Зазвичай кодер з фіксованими параметрами формує більше біт для вихідних кадрів, на яких відображено швидкий рух або зняті дрібні деталі. А для кадрів з повільними змінами і без деталей для кодування знадобиться

менша кількість біт. Такі скачки бітової швидкості можуть призвести до великих проблем для багатьох протоколів транспортування та зберігання. Наприклад, канал з постійною швидкістю (канал з комутацією) нездатний передавати потоки даних зі змінною швидкістю. Мережі на основі комутації пакетів можуть підтримувати змінну швидкість передачі, але середня пропускна спроможність в будь-який момент часу обмежена певними факторами, залежними від швидкості зв'язку та перевантаженості. У цих випадках необхідний контроль та адаптація бітової швидкості обробленого відеопотоку, виробленого кодером, для її відповідності швидкостям транспортування даних у комп'ютерних системах та мережах СП.

Для оцінки ефективності функціонування кодера використовують бітрейт [67, 68, 212 – 214]. Тому проведемо аналіз кількості біт, які витрачаються на передачу одного кадру.

У загальному випадку обсяг даних, необхідних для передачі одного кадру, залежить від:

- статистичних та структурних особливостей зображення, відповідно до яких проводиться вибір типу кадру та подальший алгоритм перетворення;
- розміру блоку зображення, який залежить від застосовуваного відеостандарту, наприклад MPEG-2 допускає використання розміру блоку 8·8, MPEG-4 - 8·8 і 4·4;
- типу колірної моделі та її формату, який вибирається відповідно до галузі використання відеозображення;
- фактору якості, який визначається кроком квантування;
- типу кодування, який обирається відповідно до необхідного часу обробки та обчислювальних можливостей кодера.

Всі ці параметри можна розділити на такі, якими ми не зможемо управляти, наприклад, особливості зображення, які задаються відповідно до стандарту, і такі, які можуть задаватися користувачем або адаптивно змінюватися кодером [69, 70, 225 – 228].

У процесі обробки кадру відбувається його розбиття на макроблоки. Далі проводиться процедура переходу вихідного зображення з RGB у колірний формат YCrCb. У результаті для макроблоку формуються три площини подання: яскравісна Y та дві колірні, які представлені хроматичною червоною Cr і хроматичною синьою Cb складовими (рис. 6.1). Позначимо подання макроблоку складової яскравості для поточного P-кадру як $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$. Аналогічно колірні складові, хроматичну червону та хроматичну синю позначимо як $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$ та $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$, де (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі, $\xi = \overline{1, m_{mc}}$; $\gamma = \overline{1, n_{mc}}$. Тут m_{mc} і n_{mc} – кількість макроблоків у кадрі по горизонталі і вертикалі; t – номер поточного оброблюваного кадру.

Кожен макроблок, в свою чергу, складається з чотирьох блоків: яскравості $B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, хроматичних червоних $B(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та хроматичних синіх $B(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, де (k, ℓ) – координати блоку в макроблоці, $k = \overline{1, 2}$; $\ell = \overline{1, 2}$, t – номер поточного оброблюваного кадру.

Тоді сукупність блоків складової яскравості в макроблоках $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$ зібрані як

$$S(t, Y)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)},$$

де m_c – кількість блоків у макроблоці по горизонталі;

n_c – кількість блоків у макроблоці по вертикалі;

t – номер поточного оброблюваного кадру;

(ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі.

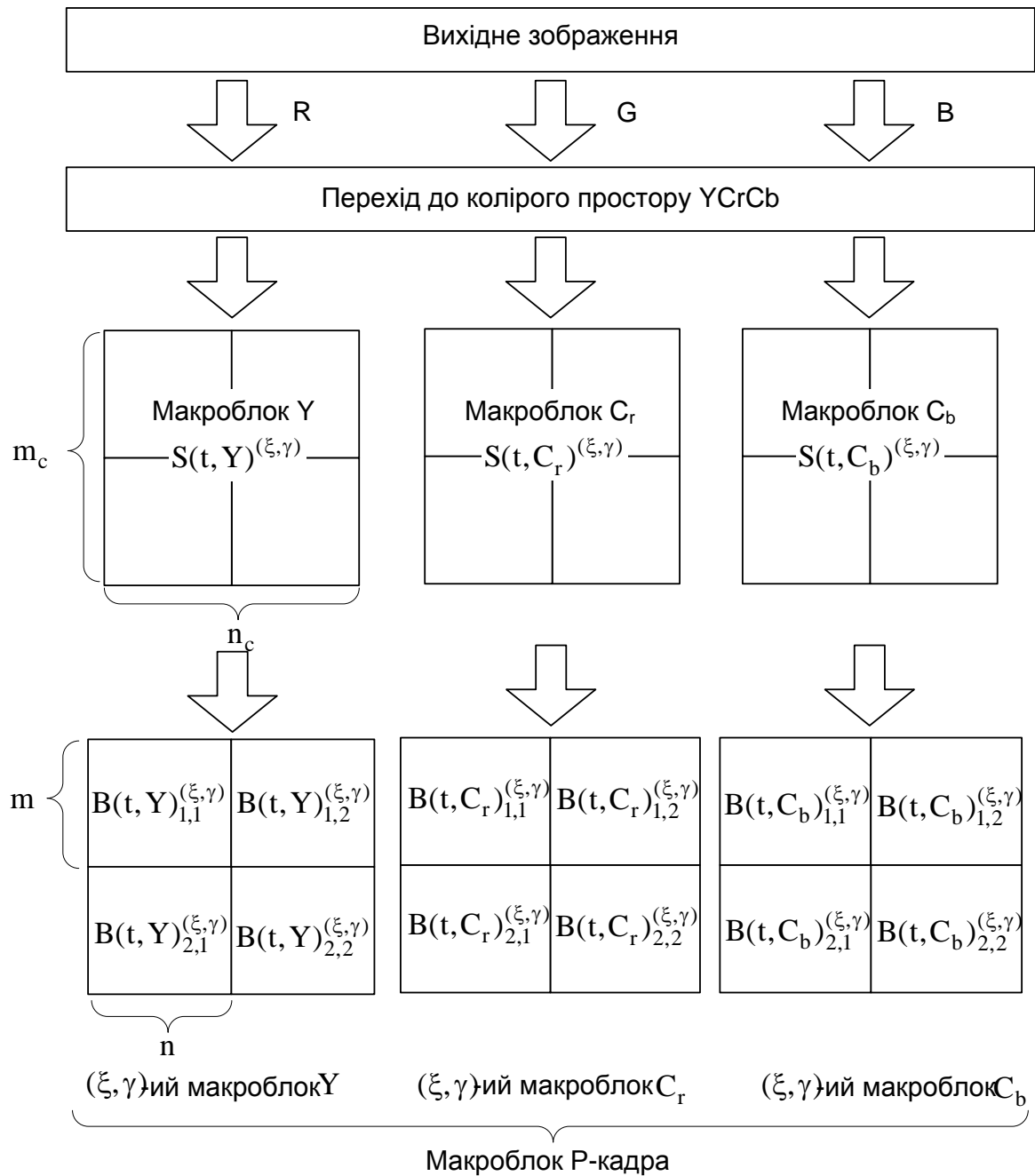


Рисунок 6.1 – Схема формування макроблоку в кадрі

Відповідно, макроблоки хроматичних складових $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$ та $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$, утворені відповідними блоками кольоровості $B(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ та $B(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$, будуть представлені виразами:

$$S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)} ; S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)} .$$

Обробка макроблоків яскравісної Y та колірних Cr та Cb складових проводиться за диференційною схемою, зазначеною на рис. 6.2. Це дозволяє врахувати те, що яскравісна складова несе в собі більш високе психовізуальне навантаження, ніж колірні складові [71, 229, 230]. Тому пропонується блоки складової яскравості обробляти двома різними методами: за допомогою ДКП як І-тип або за допомогою ДІКМ як Р-тип [72, 231, 232] для досягнення більш високої якості зображення. А колірні складові будуть оброблятися тільки за допомогою ДІКМ.

Розглянемо алгоритм компресії блоків складової яскравості. При обробці кадрів Р-типу проводиться прогнозування за попереднім кадром, тобто виконується процедура ДІКМ для блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$.

Прогнозовані різницеві значення в даному випадку є двовимірним масивом $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ розміром $n \times n$ елементів:

$$E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} = \begin{vmatrix} e(t, Y)_{1,1} \dots e(t, Y)_{1,j} \dots e(t, Y)_{1,n} \\ \dots \\ e(t, Y)_{i,1} \dots e(t, Y)_{i,j} \dots e(t, Y)_{i,n} \\ \dots \\ e(t, Y)_{n,1} \dots e(t, Y)_{n,j} \dots e(t, Y)_{n,n} \end{vmatrix}, \quad (6.1)$$

де $e(t, Y)_{i,j} = b(t, Y)_{i,j} - b(t-1, Y)_{i,j}$ – (i, j) -та різницева компонента, яка показує значення різниці між (i, j) -ми елементами блоків $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ та $V(t-1, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$.

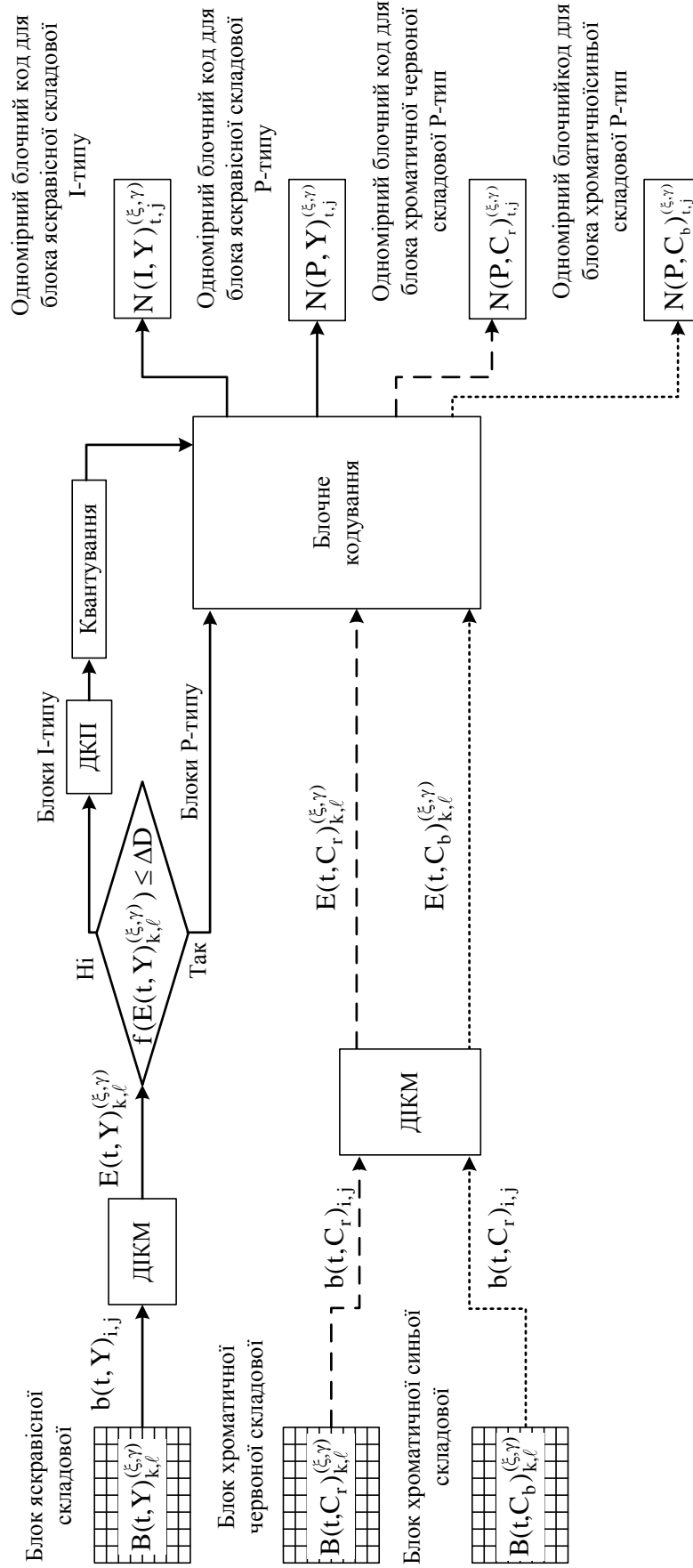


Рисунок 6.2 – Процес диференційної обробки блоків після кольорового перетворення

Далі проводиться порівняння функціоналу $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, який задає значення інформативності різнісного блоку, з порогом ΔD .

Якщо значення не перевищує заданого порогу, тобто $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D$, то блок обробляється з використанням отриманих різницевих значень, обробка проводиться для Р-типу.

Далі для стовпців масиву $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ формуються одномірні блокові позиційні числа:

$$E(t, Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{e(t, Y)_1, \dots, e(t, Y)_j, \dots, e(t, Y)_n\}.$$

Для цього використовується побудована система основ:

$$W_P(Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{w_P(Y)_1, \dots, w_P(Y)_j, \dots, w_P(Y)_n\}.$$

Потім формується одновимірний блочний код $N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовця блоку $B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, де t – номер поточного оброблюваного кадру; (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі:

$$N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(Y)_\eta,$$

де $\prod_{\eta=i+1}^n w_P(Y)_\eta$ – ваговий коефіцієнт елемента $e(t, Y)_i$.

Якщо в блоці з'явився динамічний об'єкт і значення функціоналу перевищує поріг, тобто $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D$, то відбувається перехід до алгоритмів, які використовуються для кодування І-кадрів. Такий блок кодується як І-блок.

Вихідна послідовність, подана як $b(t, Y)_{i,j}$, проходить етап трансформації і квантування. Трансформація здійснюється за допомогою дискретного косинусного перетворення.

Отримана трансформанта піддається процедурі квантування, яка полягає в зіставленні номера кванта кожному значенню трансформанти:

$$z(t, Y)_{i,j} = \left\lfloor \frac{y(t, Y)_{i,j} + q/2}{q} \right\rfloor,$$

де $y(t, Y)_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент трансформанти; q – крок квантування.

Таким чином, отримуємо двовимірний масив $Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ розміром $n \times n$:

$$Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} = \begin{pmatrix} z(t, Y)_{1,1} & \dots & z(t, Y)_{1,j} & \dots & z(t, Y)_{1,n} \\ & & \dots & & \\ z(t, Y)_{i,1} & \dots & z(t, Y)_{i,j} & \dots & z(t, Y)_{i,n} \\ & & \dots & & \\ z(t, Y)_{n,1} & \dots & z(t, Y)_{n,j} & \dots & z(t, Y)_{n,n} \end{pmatrix}, \quad (6.2)$$

Після чого формується одновимірний блочний код $N(I, Y)_{t,j}^{(\xi,\gamma)}$ для j -го стовпця блоку I-типу:

$$N(I, Y)_{t,j}^{(\xi,\gamma)} = \sum_{i=1}^n z(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_I(Y)_\eta.$$

Кількісне співвідношення I- та P-блоків у P-кадрі визначається порогом ΔD . Це, в свою чергу, впливає в цілому на якість зображення і швидкість його обробки. У разі обробки P-блоку загальна довжина кодової послідовності залежить від максимального значення різницевих величин

після ДІКМ, а при обробці І-блоку основним показником є коефіцієнт квантування.

Визначимо кількість розрядів $d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ для подання блокового коду масиву $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$. У даному випадку він дорівнює загальній довжині зібраної кодової послідовності [181, 233], яка визначається як сумарна кількість біт, що складається зі службової частини $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$ та довжини кодового подання всіх стовпців блоку $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$:

$$d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} = d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)} + d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}, \quad (6.3)$$

де (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі.

Тоді результуюча довжина $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$ всієї інформаційної частини кодової послідовності становить:

$$d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t, inf}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t, inf}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_I(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

де n – кількість рядків та стовпців блоку зображення;

$$\prod_{\eta=1}^n w_P(Y)_\eta = h_{\max P}, \quad \prod_{\eta=1}^n w_I(Y)_\eta = h_{\max I} - \text{верхня межа значення коду}$$

одновимірного блочного числа для P- та I-блоків відповідно.

Довжина службової частини $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$ всієї кодової послідовності одного блоку відповідно визначається довжинами кодових подань всіх елементів основи:

$$d(t, Y)_s^{(\xi; \gamma)} = n d(t, Y)_{s,j}^{(\xi; \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

де n – кількість стовпців блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$;

$d(t, Y)_{s,1}^{(\xi; \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,j}^{(\xi; \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,n}^{(\xi; \gamma)} = \log_2 b$ – довжина кодового подання елемента основи масиву $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ або $Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$;

b – кількість біт, відведених під довжину службової частини.

Таким чином, довжина $d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ кодової послідовності переданих даних після компресії для одного блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ складової яскравості визначається як:

$$d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = d(P, Y)_{t,\text{inf}}^{(\xi; \gamma)} + d(P, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = d(I, Y)_{t,\text{inf}}^{(\xi; \gamma)} + d(I, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) > \Delta D, \end{cases} \quad (6.4)$$

де $d(P, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ – довжина кодової послідовності оброблених даних для P -блоку;

$d(I, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ – довжина кодової послідовності оброблених даних для I -блоку.

Процес формування кодової послідовності для блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ показаний на рис. 6.3.

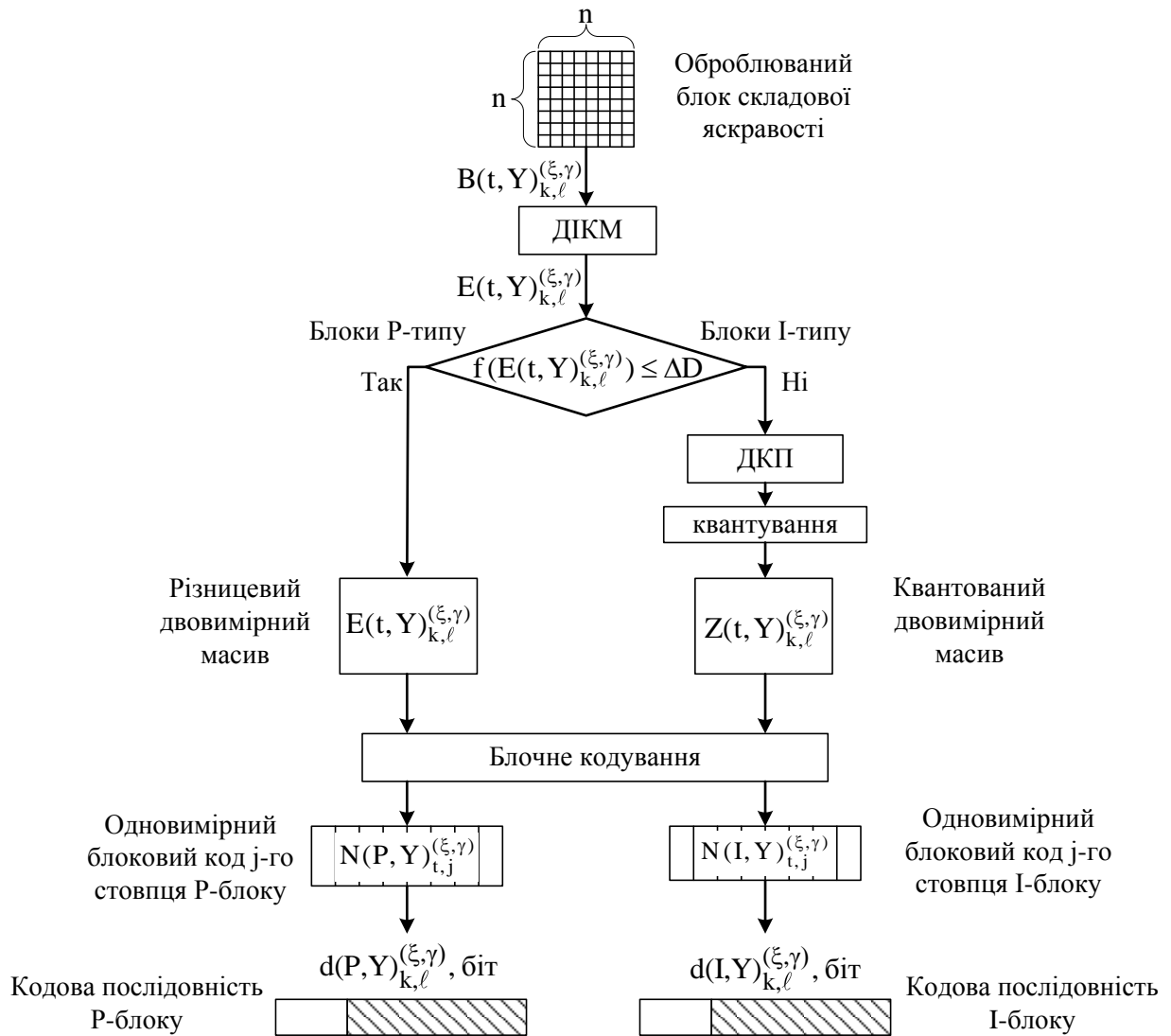


Рисунок 6.3 – Перетворення блоку складової яскравості в кодову послідовність

Розглянемо алгоритм компресії кольорорізнісних складових. Так як зорова система людини менш чутлива до колірних просторових змін, обробку таких блоків проводять тільки як блоків Р-типу.

У такому випадку виконується процедура ДІКМ. Прогнозовані різницеві значення являють собою двовимірні масиви $E(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ для блоку $V(t, C_r)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ та $E(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ для блоку $V(t, C_b)_{k,l}^{(\xi, \gamma)}$ розміром $n \times n$ елементів. Далі формується одновимірний поліадичний код $N(P, C_r)_{t,j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця

блоку $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та $N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця блоку $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, які визначаються такими виразами:

$$N(P, C_r)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, C_r)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(t, C_r)_\eta ;$$

$$N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, C_b)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(t, C_b)_\eta .$$

Відповідно кількість розрядів для блоків $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ після блочного кодування визначається як сумарна кількість біт, що складається зі службової частини та довжини кодового подання всіх стовпців блоку:

$$\begin{aligned} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} &= d(P, C_r)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} \\ d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} &= d(P, C_b)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} \end{aligned} \quad (6.5)$$

де $d(P, C_r)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_r)_\eta \right] + 1 \right)$ – довжина інформаційної частини

для хроматичної червоної складової;

$\prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_r)_\eta, \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_b)_\eta$ – верхня межа значень коду одновимірного

блочного позиційного числа для кольорорізнисних складових;

$d(P, C_r)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b, d(P, C_b)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b$ – довжина службової частини кодової послідовності одного блоку;

$d(P, C_b)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_b)_\eta \right] + 1 \right)$ – довжина інформаційної

частини для хроматичної синьої складової;

n – кількість рядків блоку зображення.

Також при визначенні загального обсягу переданих даних потрібно враховувати колірну субдискретизацію макроблоку відеоданих [73, 74, 184, 234 – 236]. Застосовують три основні формати відео залежно від його призначення: 4: 4: 4, 4: 2: 2 і 4: 1: 1.

Як було описано раніше, макроблок після перетворення колірного простору являє собою сукупність сигналу яскравості Y та двох колірорізнісних сигналів Cr та Cb . Варіації їх значень допускають 256 градацій (від 0 до 255 для Y , і від -128 до 127 для Cr / Cb), що в двійковому численні відповідає 8 бітам або 1 байту. Теоретично кожен елемент кадру має власні значення $YCrCb$, тобто вимагає 3 байт. Таке подання, коли яскравість і сигнали кольоровості мають рівне число незалежних значень, зазвичай позначають як 4: 4: 4 (рис. 6.4).

З урахуванням меншої чутливості зорової системи людини до кольорорізнісних компонентів без видимої втрати якості кількість колірних відліків у кожному рядку можна зменшити вдвічі. Саме таке подання, що позначається як 4: 2: 2, було прийнято для передачі відеосигналу. Для передачі повного об'єму інформаційного сегменту в кожному відліку кадру досить 2 байт (чергуючи через відлік незалежні значення Cr і Cb).

Більш того, для цілей споживчого відео визнано допустимим зменшення вдвічі вертикальне колірне розрізнення, тобто перехід до подання 4: 2: 0. Це зменшує вказану кількість байт на відлік до 1,5. Саме таке подання закладено в DV-формат цифрових камер і формат DVD-відео.

Для врахування диференційного впливу цифрового формату на обсяг бітового опису кадру введемо поняття структурної одиниці кадру.

Визначення 6.1. Структурною одиницею кадру будемо називати таку структуру, яка формується на основі макроблоків по одному від кожної складової колірної моделі.

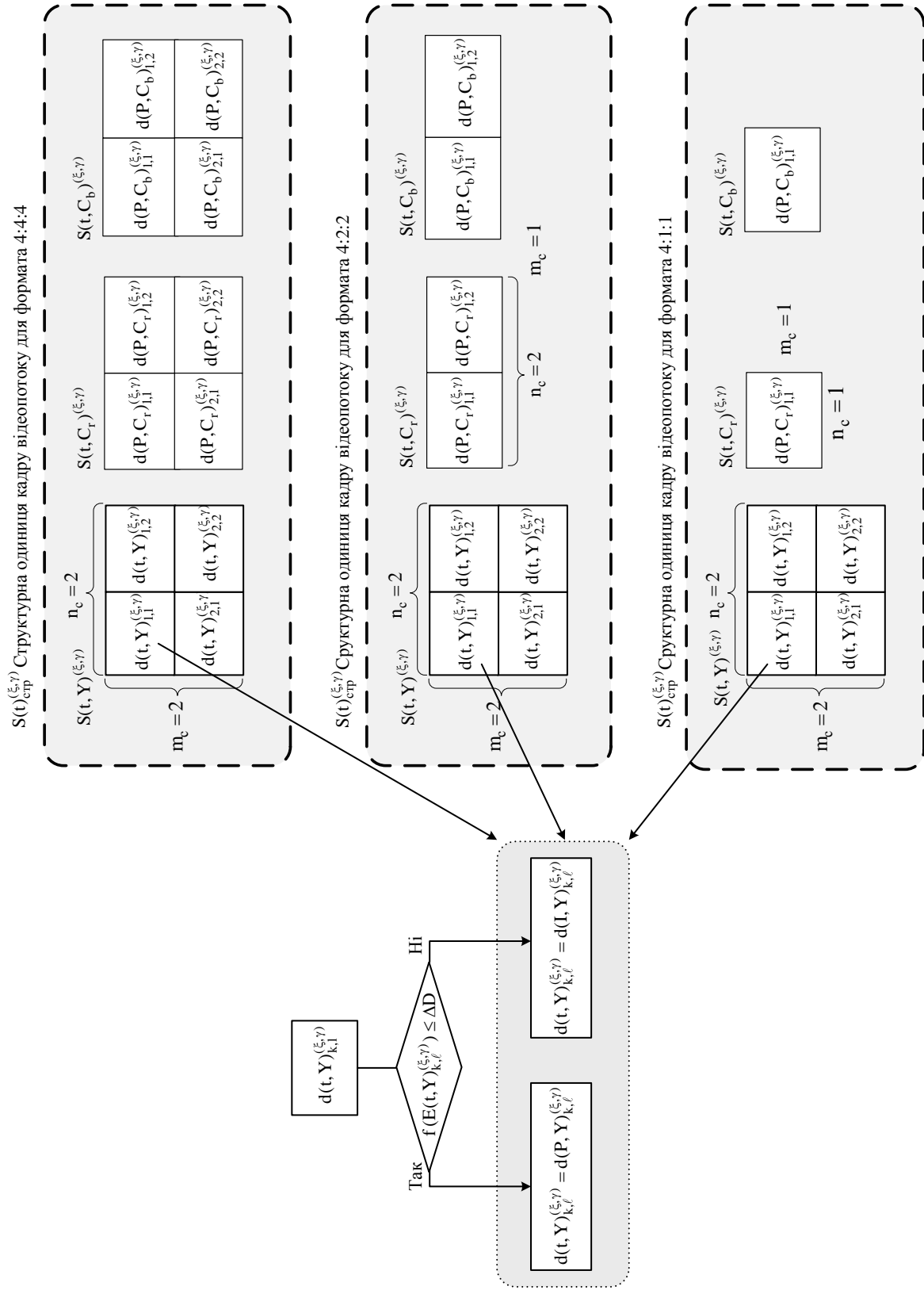


Рисунок 6.4 – Формування структурної одиниці кадру відеопотоку з урахуванням цифрових форматів відео

Структурна одиниця $S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ задається таким виразом:

$$S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = S(t, Y)^{(\xi, \gamma)} \cup S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} \cup S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}. \quad (6.6)$$

До складу структурної одиниці входить макроблок яскравісної Y складової та по одному макроблоку від кожної хроматичної C_r та C_b складової.

Визначимо кількість біт, витрачених на подання одного макроблоку, яке дорівнює сумарній кількості біт на представлення блоків, що входять до нього:

$$\begin{aligned} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}; \\ d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}; \\ d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}, \end{aligned} \quad (6.7)$$

де $d(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$, $d(P, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ та $d(P, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ – відповідно обсяги в бітах для блоків $V(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ та $V(t, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ для (ξ, γ) -их макроблоків яскравісної та кольорорізнисних складових P -кадру;

m_c – кількість блоків у макроблоці по горизонталі;

n_c – кількість блоків у макроблоці по вертикалі.

Тоді загальні обсяги складових колірної моделі для одного кадру є сумарними обсягами цифрового опису макроблоків $d(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$, $d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$, $d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$. Відповідно, бітовий обсяг складових колірної моделі дорівнює:

$$D(t, Y) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} ;$$

$$D(t, C_r) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} ; \quad (6.8)$$

$$D(t, C_b) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} ,$$

де m_{mc} та n_{mc} – кількість макроблоків в кадрі по горизонталі та вертикалі.

Сумарна довжина $D(t)$ кодової послідовності цифрового опису складових колірної моделі на один P-кадр визначається виразом:

$$D(t) = D(t, Y) + D(t, C_r) + D(t, C_b) , \quad (6.9)$$

де $D(t, Y)$ – кількість біт на подання яскравості складових колірної моделі;
 $D(t, C_r)$, $D(t, C_b)$ – кількість біт на подання хроматичних складових кадру.

З урахуванням співвідношень (6.8), вираз (6.9) перетвориться до:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} . \quad (6.10)$$

З рисунку 6.4 видно, що обсяги складових кадру визначаються форматом подання колірному простору. Це значить, що обсяг цифрового опису $d(t)_{стр}^{(\xi, \gamma)}$ для структурної одиниці $S(t)_{стр}^{(\xi, \gamma)}$ залежить від обсягів макроблоків, які входять до неї, і, відповідно, обсягів цифрового опису, які входять в структурну одиницю блоків:

$$d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} \left(d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.11)$$

Тоді обсяг переданих відеоданих в розрахунку на один кадр $D(t)$ визначається витратами кількості біт на подання всіх структурних одиниць $d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ кадру з урахуванням форматів подання колірному простору.

Вираз (6.9) для визначення обсягу відеопотоку з розрахунку на один кадр з урахуванням виразів (6.10), (6.11) набуває вигляду:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.12)$$

Через те, що при виборі формату подання колірної моделі яркісна складова містить всі блоки, а змінюються тільки колірні складові, співвідношення (6.12) матиме такий вигляд:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.13)$$

Для формату подання колірному простору 4: 4: 4 кількість елементів яркісної та хроматичних складових кадру відеопотоку збережені в повному складі (див. рис. 6.4). Тому при $m_c = 2$, $n_c = 2$ обсяг цифрового опису дорівнює:

$$d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{k=1}^2 \sum_{\ell=1}^2 \left(d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right).$$

Об'єм $D(t)$ потокового відео в розрахунку на один кадр відповідає виразу (6.13). Кількість рядків і стовпців у макроблоці залишається незмінним, тобто $m_c = 2$, $n_c = 2$ для хроматичних складових C_r та C_b . Тоді:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^2 \sum_{\ell=1}^2 \left(d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + d(P, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + d(P, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} \right) \right). \quad (6.14)$$

Таким чином, отримано вираз для оцінки обсягу переданого відеопотоку з розрахунку на один кадр Р-типу з урахуванням різних форматів подання колірного простору та вибору типу обробки блоків.

Створено методологічну базу, яка дозволяє побудувати систему управління бітовою швидкістю відео потоку. Це особливо актуально в КСМ спеціального призначення з низькою пропускнуною спроможністю каналу, малим часом обробки відеозображень або обмежених обчислювальних можливостях пристроїв обробки, наприклад, реалізація служб IP-TV або on-line конференцій, передача даних по бездротових Wi-Fi мережах і т.д.

6.2 Розробка методу контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності

У теперешній час для вирішення завдань адаптації бітової швидкості при передачі відеоданих по каналах з постійною швидкістю використовуються буфери в кодері та декодері. При цьому, чим вище варіація бітової швидкості, тим більшим буде необхідний обсяг буфера і тим довше затримка декодування. Крім того, таким методом можна впоратися з довільними стрибками бітової швидкості через те, що обсяги буферів та затримки при передачі і декодуванні мають обмеження [180, 181]. Тому необхідно реалізувати таку технологію контролю бітової швидкості з використанням зворотного зв'язку, яка при

зниженні бітової швидкості також враховує якість реконструкції та час обробки кадру відеопослідовності.

Так як I-кадри, найбільш критичні до погіршення якості зображення, коефіцієнт їх компресії буде невеликим. Тому, для досягнення необхідних значень швидкості відеопослідовності на виході кодера пропонується розробити метод управління для кадрів P-типу. За причини того, що їх вимоги до якості зображення значно нижче, що дозволяє застосовувати методи компресії з великими коефіцієнтами усунення надмірності. Також їх кількість у відеопослідовності на порядок більше опорних, що значно впливає на загальну бітову швидкість відеопотоку.

Для отримання на виході кодера потоку, який відповідає пропускній спроможності каналу передачі даних, застосовують алгоритми управління бітовою швидкістю. Необхідна вихідна швидкість досягається шляхом регулювання параметра квантування. Залежно від області застосування може застосовуватися компресія як з постійною вихідною швидкістю (CBR – constant bit rate), так і зі змінною (VBR – variable bit rate) [75]. Для компресії з постійною швидкістю залежно від призначення алгоритму може варіюватися розмір буфера для кодера та декодера. Якщо необхідний більш точний алгоритм контролю вихідної швидкості кодера використовується багатопрохідне кодування (multi-pass encoding). Великого поширення набула двопрхідна схема кодування: перший прохід – етап попереднього аналізу та встановлення необхідних параметрів кодування; другий прохід – кодування з раніше встановленими параметрами. При цьому обрані параметри можуть застосовуватися як до окремого блоку в кадрі, так і до всього кадру.

У процесі обробки кадру відбувається його розбиття на блоки розмірністю $m \times n$. Таким чином, весь кадр являє собою множину блоків $\{b_1, b_2, \dots, b_k\}$. Ці блоки кодуються окремо один від одного [76]. Позначимо через $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ бітові витрати і середньоквадратичну помилку для блоку b_i поточного кадру t . Значення $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ залежать від вектора рішень

Ψ^i , який використовується при кодуванні кожного блоку. Вектор рішення входить до складу множини рішень, яке позначимо літерою Ψ . Вектор рішень містить у собі k компонент, тобто $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i\}$. Таким чином, вираз для $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ можна представити в такому вигляді:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i). \quad (6.15)$$

У [188] був запропонований алгоритм обробки блоків у Р-кадрах. Відповідно до цього, пропонується блоки складової яскравості обробляти двома різними методами: за допомогою ДКП як І-тип або за допомогою ДКМ як Р-тип. А кольорорізнісні складові будуть оброблятися тільки за допомогою ДКМ за попереднім кадром.

При компресії Р-кадрів вектор рішень для методу управління бітовою швидкістю складається з двох компонентів: міри інформативності блоку та параметра якості: $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i\}$. Відповідно, для кожного i -го блоку бітова швидкість та середньоквадратична помилка є функціями від двох змінних:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i). \quad (6.16)$$

Середньоквадратична помилка для всього кадру дорівнює:

$$\sigma(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k \sigma(t, \Psi^i).$$

Аналогічно, бітові витрати на кадр визначаються як:

$$d(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k d(t, \Psi^i).$$

Для оптимізації параметрів компресії необхідно знайти такі значення вектора рішень, які будуть відповідати таким вимогам:

$$\begin{cases} \sigma(t, \Psi^*) = \min_{\psi^i \in \Psi} \sigma(t, \psi^i); \\ d(t, \Psi^*) \leq d_{\text{req}}. \end{cases} \quad (6.17)$$

де d_{req} – необхідні бітові витрати на один кадр; Ψ^* – оптимальний вектор рішень.

Саме при обробці блоків відбувається корекція компонент трансформант під психовізуальні особливості зорового сприйняття тому за параметр управління пропонується використовувати тільки фактор якості, який використовується при формуванні матриці квантування. Міра інформативності блоку визначає метод формування трансформат, а його вплив на бітову швидкість є незначним.

При формуванні матриць квантування в стандарті JPEG використовуються два підходи. Один полягає в тому, що в стандарт JPEG включені дві рекомендовані таблиці квантування: одна – для яскравості (табл. 6.1), друга – для кольоровості.

Таблиця 6.1 – Базова матриця квантування складової яскравості стандарту JPEG

6	1	10	16	24	40	51	61
2	2	14	19	26	58	60	55
4	3	16	24	40	57	69	56
4	7	22	29	51	87	80	62
8	2	37	56	68	109	103	77
4	5	55	64	81	104	113	92
9	4	78	87	103	121	120	101
2	2	95	98	112	100	103	99

Інший підхід полягає в обчисленні значень таблиці квантування у часі, близькому до реального. В цьому випадку для кожного елемента матриці трансформованого зображення існує відповідний елемент матриці квантування.

Результуюча матриця одержується діленням кожного елемента матриці трансформант на відповідний елемент матриці квантування та подальшим округленням результату до найближчого цілого числа. Як правило, значення елементів матриці квантування ростуть у напрямку зліва направо та зверху вниз.

Від вибору матриці квантування залежить баланс між ступенем компресії зображення і його якістю після відновлення.

Розрахунок матриці квантування полягає в такому: задається одне значення фактора якості (Quality Factor – QF) зазвичай в діапазоні від 1 до 25, та проводиться розрахунок значень матриці [237, 238]:

$$q(t)_{i,j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF. \quad (6.18)$$

Фактор якості задає інтервал між сусідніми рівнями матриці квантування, розташованими на її діагоналях. Приклад отриманої матриці квантування представлений в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Матриця квантування з фактором якості, рівним 2

				1	3	5	7
		1	3	5	7	9	1
	1	3	5	7	9	1	3
	1	3	5	7	9	1	3
1	3	5	7	9	1	3	5
3	5	7	9	1	3	5	7
5	7	9	1	3	5	7	9
7	9	1	3	5	7	9	1

У роботі пропонується управляти не тільки кількістю біт на оброблений блок, але й його візуальною якістю. Необхідно знайти значення фактора якості QF_{opt} , при якому середньоквадратична помилка буде мінімальною $\sigma(t, \Psi^*) = \min_{\psi^i \in \Psi} \sigma(t, \psi^i)$, з урахуванням того, що швидкість, а відповідно і бітові витрати, не будуть перевищувати необхідного значення $d(t, \Psi^*) \leq d_{req}$.

Для пошуку оптимального коефіцієнта QF використовується відомий метод поділу відрізка навпіл (дихотомії), який по відношенню до інших методів є більш швидким, простим та забезпечує задану точність (ε).

Позначимо QF як параметр β та відповідно QF_{opt} як параметр β_{opt} . Метод реалізації пошуку для даної задачі можна представити у вигляді такої послідовності етапів.

Підготовчий етап.

Визначаємо значення $\beta_1 = \min$ та $\beta_2 = \max$, такі що $d(t, \Psi_{\beta_2}) < d_{req} < d(t, \Psi_{\beta_1})$.

Ітерація.

Знайдемо середнє значення β відповідно до методу дихотомії на інтервалі $[\beta_1; \beta_2]$: $\beta = \left[\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right]$ для наближення до значення β_{opt} .

Для перевірки відповідності $\beta \approx \beta_{opt}$ розрахуємо: $d(t, \Psi_{\beta})$, $\sigma(t, \Psi_{\beta})$.

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{req}$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{req}$, то зміщується нижня межа інтервалу ($\beta_1 := \beta$).

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{req}$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta}) > \sigma_{req}$, то для даних параметрів завдання не має рішення, і блок управління змінює значення QF або ΔD .

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) \leq d_{req}$, то зміщується верхня межа інтервалу ($\beta_2 := \beta$).

Перевірка умови закінчення алгоритму.

Якщо $|\beta_1 - \beta_2| < \varepsilon$, то пошук рішення завершений, і результат є оптимальним, тобто $\Psi^* = \Psi_{\beta}$. Якщо немає, то здійснюється перехід до наступної ітерації.

Блок-схема методу реалізації пошуку оптимального параметра для управління бітовою швидкістю наведена на рис. 6.5.

Розглянемо приклад роботи даного методу.

Надаємо значення $\beta_1 = QF_{\min}$ та $\beta_2 = QF_{\max}$ такі, що відповідають умові $d(t, \Psi_{\beta_2}) < d_{\text{req}} < d(t, \Psi_{\beta_1})$.

Проводимо першу ітерацію. Знаходимо $\beta^1 = \left[\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right]$ та обчислюємо для даного значення $d(t, \Psi_{\beta})$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta})$. Проводимо порівняння $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$.

Якщо умова не виконується, то бітові витрати необхідно збільшувати для поліпшення якості зображення.

У цьому випадку присвоюємо $\beta_2 := \beta$ і далі розглядається діапазон $[\beta_1; \beta]$, як показано на рисунку 6.6.

Якщо умова $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$ виконується, проводимо перевірку по середньоквадратичній помилці $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{\text{req}}$.

При значенні помилки менше необхідної $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{\text{req}}$ присвоюємо $\beta_1 := \beta$. Далі оптимальне значення знаходиться в діапазоні $[\beta; \beta_2]$. Таким чином, після першої ітерації в наведеному прикладі буде проведено зрушення $\beta_{\max} \rightarrow \beta$.

У разі якщо і бітові витрати і помилка перевищують необхідні значення, то не виконується жодна з умов $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$, $\sigma(t, \Psi_{\beta}) > \sigma_{\text{req}}$. Бачимо, що оптимізація даним методом компресії неможлива, та необхідні

зміни початкових параметрів. У цьому випадку пропонується збільшувати фактор якості при квантуванні з кроком в 1. У разі якщо бітові витрати не будуть знижені до необхідного рівня, подальшим етапом буде збільшення порогу ΔD .

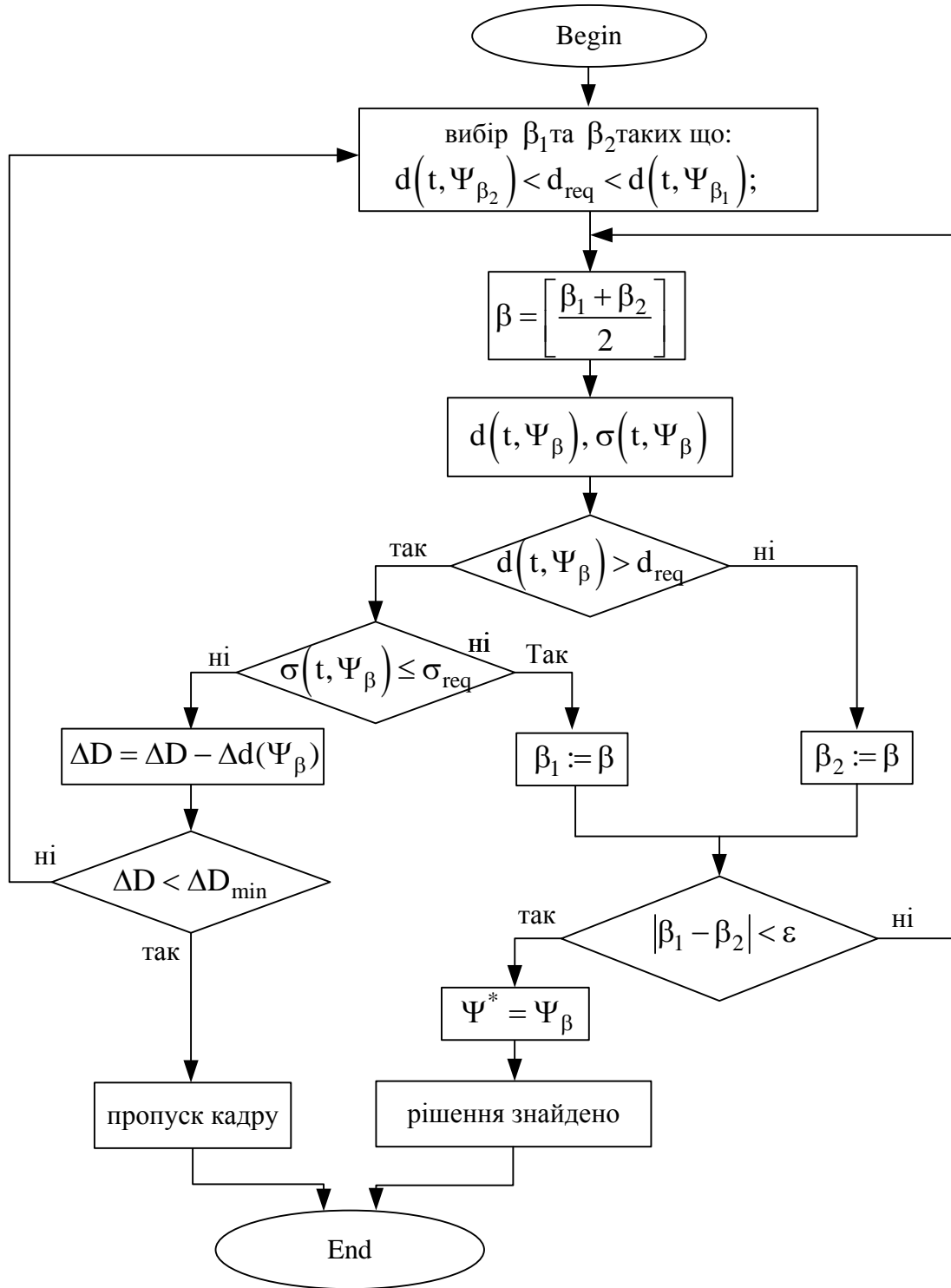


Рисунок 6.5 – Блок-схема методу реалізації пошуку оптимального параметра управління

Аналіз зміни фактора якості QF від мінімуму до максимуму показав, що бітові витрати та виникаюча при цьому помилка відповідно буде змінюватися за графіками, показаними на рис. 6.6.

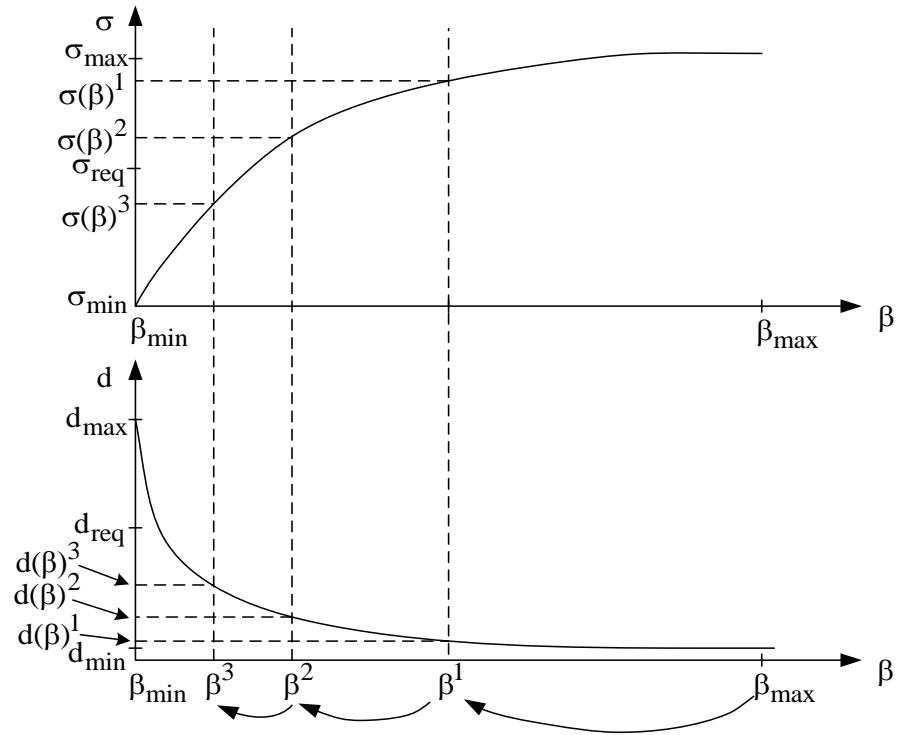


Рисунок 6.6 – Ілюстрація роботи методу пошуку оптимального параметра

Таким чином, блок управління робить вибір фактора якості для кожного Р-кадру. Також при прийнятті рішення блок управління містить у собі пристрій, в який записуються оптимальні параметри QF та ΔD , що в подальшому зменшує час прийняття рішення та підбору необхідних значень при квантуванні.

На останньому етапі перевіряється оптимальність. Перевіряємо умову $|\beta_1 - \beta_2| < \varepsilon$, де параметр ε показує задану точність обчислень. Якщо необхідна точність була досягнута, то оптимальним значенням вважаємо $\sigma(t, \Psi_\beta)$. Рішення завдання знайдено. Інакше пошук триває та проводиться виконання наступної ітерації.

Таким чином, був розроблений метод управління бітовою швидкістю роботи кодера, який використовує за параметр компресії фактор якості при квантуванні блоку. Для пошуку оптимального значення параметра квантування було прийнято рішення використовувати метод поділу відрізків навпіл. Основна його перевага полягає в тому, що не потрібний повний (або близький до повного) перебір множини рішень. Це дозволяє знизити час обробки та передачі кадру, що необхідно при обробці відеопослідовності в масштабі часу, близькому до реального.

Простота методу дозволяє також знизити навантаження на обчислювальний апарат кодера. Тому можливо його використати в системах з обмеженими обчислювальними властивостями.

Однак розроблена блок-схема являє собою загальний метод управління, який уточнюється при використанні конкретних механізмів кодування відеопотоку.

6.3 Розробка методу управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів для підвищення доступності та цілісності інформаційних ресурсів

Для організації своєчасної доставки потокового відео широко застосовуються методи компресії, які базуються на дискретно-косинусном перетворенні (JPEG, MPEG2 та H.264), а також алгоритми, що базуються на дискретному вейвлет-перетворенні (JPEG2000). Рекомендація MPEG не специфікує і не пропонує алгоритми контролю швидкості. Отже, вирішення цього питання залежить від самих розробників. Стандарт JPEG2000 є найбільш пристосованим рішенням для завдання компресії відеопотоку. Це пояснюється тим, що він забезпечує управління бітовою швидкістю з досить високим ступенем точності (на відміну від алгоритмів, заснованих на ДКП). З іншого боку, при реалізації JPEG2000 виникають такі труднощі. Стандарт

JPEG2000 забезпечує приблизно однакові бітові витрати на кожен сегмент. Але через суттєві відмінності у статистичних властивостях сегментів можливий варіант, коли деякі сегменти оброблюються з високою візуальною якістю, а деякі – з поганою якістю. У в підсумку це призведе до зниження загальної візуальної якості відеозображення.

Тому завданням дослідження є розробка такого методу управління параметрами компресії відеопотоку, який буде забезпечувати максимально можливу якість зображення для заданої пропускної спроможності каналу.

Розроблюваний метод управління бітовою швидкістю в MPEG-потоці при обробці блоків поточного Р-кадру буде формуватися на основі запропонованого методу компресії Р-кадрів в роботах [189].

На першому етапі обирається формат колірної субдискретизації блоків яскравісної та кольорорізнисних складових Р-кадру. Ця технологія являє собою кодування зображень зі зниженням колірного розрізнення, при якій частота вибірки кольорорізнисних сигналів може бути меншою за частоту вибірки сигналу яскравості. Вона заснована на особливості людського зору, яка виражена більшою чутливістю до перепадів яскравості ніж кольорів.

Таким чином, обсяг цифрового опису $d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ для структурної одиниці $S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ кадру залежить від обсягів макроблоків, які входять до неї і, відповідно, обсягів цифрового опису, які входять в структурну одиницю блоків.

Таким чином, бачимо, що вибір формату колірної субдискретизації відеоданих дозволяє скоротити не тільки загальний обсяг переданих даних на один кадр, а й вплив у процентному співвідношенні кольорорізнисних складових відносно яркісної (таблиця 6.3).

У випадку з Р-кадрами найбільш доцільним для використання є формат колірної субдискретизації – 4: 2: 2. Далі необхідно вибрати вихідні параметри кодування для методу компресії.

Таблиця 3.3 – Вплив у процентному співвідношенні складових YCrCb на заповнення макроблоками

Формат колірної субдискретизації	Y складова, %	Cr складова, %	Cb складова, %
4: 4: 4	100%	100%	100%
4: 2: 2	100%	50%	50%
4: 1: 1	100%	25%	25%

Надругому етапі управління обирається порогове значення ΔD для блоків поточного кадру.

Для MPEG-технології кадри відеопослідовності діляться на кілька типів. Найсуттєвіший внесок у сумарну інтенсивність відеопотоку надають P-кадри, які формуються шляхом адаптивного кодування з прогнозуванням (ДІКМ), показаної на рис. 6.8 [77]. Після чого формуються двовимірні масиви $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$. Елементами даних масивів є $e(t, Y)_{i,j}$, $e(t, C_r)_{i,j}$, $e(t, C_b)_{i,j}$:

$$e(t, Y)_{i,j} = b(t, Y)_{i,j} - b(t-1, Y)_{i,j};$$

$$e(t, C_r)_{i,j} = b(t, C_r)_{i,j} - b(t-1, C_r)_{i,j}; \quad (6.19)$$

$$e(t, C_b)_{i,j} = b(t, C_b)_{i,j} - b(t-1, C_b)_{i,j},$$

де $b(t, Y)_{i,j}$, $b(t, C_r)_{i,j}$, $b(t, C_b)_{i,j}$ – (i, j) -ої компоненти блоків яркісної та кольорорізнисних складових зображення поточного t -го P-кадру;

$b(t-1, Y)_{i,j}$, $b(t-1, C_r)_{i,j}$, $b(t-1, C_b)_{i,j}$ – (i, j) -ої компоненти блоків яркісної та кольорорізнисних складових зображення попереднього $(t-1)$ -го кадру.

Можливі варіанти, коли між кадрами буде різкий динамічний перехід. У цьому випадку ефективність обробки Р-кадру знижується. Для виходу з цієї ситуації пропонується такі блоки обробляти як І-кадри. Тому подальшу обробку здійснюють за рахунок механізму адаптації інтенсивності відеопотоку до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення [78]. Ключовою складовою цього механізму є класифікація блоку Р-кадру на тип подальшої його обробки. Для вибору типу необхідно оцінити інформативність $f(E(t,u)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$ кожного блоку за відповідним порогом $\Delta D(u)$. Інформативність блоків $E(t,Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t,C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t,C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ визначатимемо за допомогою функціоналів $f(E(t,Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, $f(E(t,C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, $f(E(t,C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, значення яких порівнюють з відповідними значеннями порогів $\Delta D(Y)$, $\Delta D(C_r)=\Delta D(C_b)=\Delta D(C_a)$, де C_a –компоненти однієї з кольорорізнисних площин: $C_a = C_r$ або $C_a = C_b$. Яскравісна складова при відновленні зображення несе більше інформаційне навантаження, ніж кольорорізнисні складові C_r , C_b . Тому значення порога при обробці блоків складової яскравості будемо вибирати меншим, ніж при обробці кольорорізнисних складових.

Значення порогів $\Delta D(Y)$ та $\Delta D(C_a)$ дорівнює відповідно:

$$\Delta D(Y) = \frac{\sum_{j=1}^n \log_2 \prod_{i=1}^m \lambda(t, Y)_i}{n_{\max}} \cdot 100\% \leq 30\% ;$$

$$\Delta D(C_a) = \frac{\sum_{j=1}^n \log_2 \prod_{i=1}^m \lambda(t, C_a)_i}{n_{\max}} \cdot 100\% \leq 50\% , \quad (6.20)$$

де $\lambda(t, Y)_i$, $\lambda(t, C_a)_i$ – основи i -го рядка блоків $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ поточного P -кадру;

m – кількість рядків в блоці ($m = 8$);

n – кількість стовпців в блоці ($n = 8$);

n_{\max} – максимальна довжина машинного слова (максимальна кількість розрядів, яке відводиться для зберігання одновимірного блочного коду для одного рядка з 8-ми елементів).

Розглянемо детально роботу запропонованого механізму адаптації (рис. 6.8).

Якщо умова виконується і значення функціоналів $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$ не перевищують заданий поріг

$$f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(Y);$$

$$f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(C_a); \quad (6.21)$$

$$f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(C_a),$$

то далі блокам присвоюється тип подальшої обробки P . У цьому випадку різницеві масиви $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ надходять на кодер. У ньому для блоків P -типу формуються одновимірні блокові коди $N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$, $N(P, C_r)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$, $N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця блоків $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ відповідно.

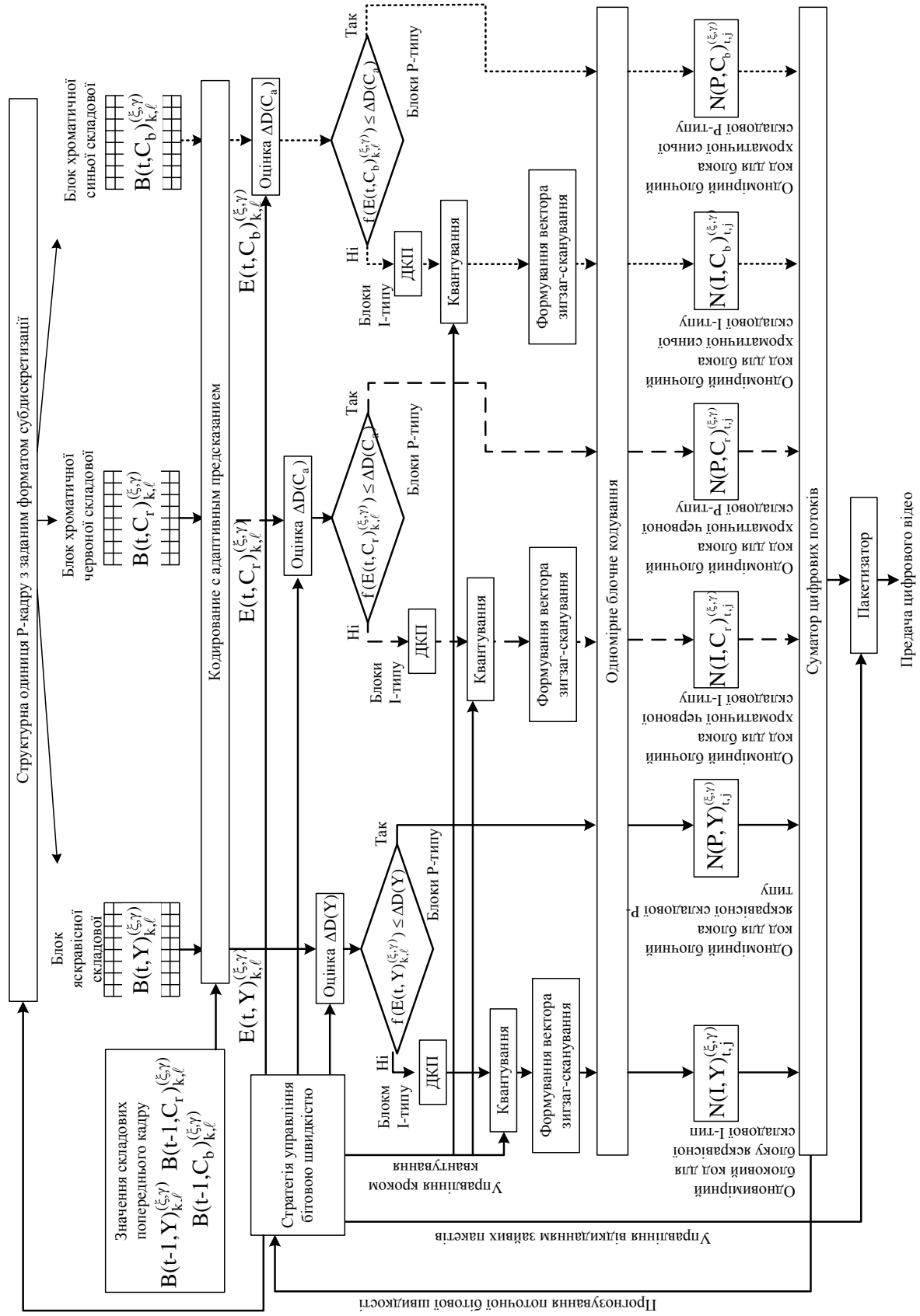


Рисунок 6.8 – Механізм адаптації параметрів компресії до характеристик комп'ютерних систем спеціального призначення

Якщо умова не виконується, значить, у блоці з'явився динамічний об'єкт, і значення функціоналів $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$ перевищує поріг:

$$f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(Y);$$

$$f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(C_a); \quad (6.22)$$

$$f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(C_a).$$

Такому блоку присвоюється тип обробки I та він буде оброблятися за алгоритмами, які використовуються для кодування I-кадрів.

У цьому випадку різницеві масиви $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ проходять етап трансформування за допомогою дискретного косинусного перетворення. Відбувається процедура квантування, після чого отримана матриця пройде обробку зигзаг-скануванням, також кодується одновимірним блоковим кодом.

Третім етапом механізму адаптації є визначення значення фактора якості, який використовується при формуванні матриці квантування. Розрахунок матриці квантування полягає в такому: задається одне значення фактора якості (QF), зазвичай в діапазоні від 1 до 25, і проводиться розрахунок значень матриці за формулою:

$$q(t, Y)_{i, j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(Y);$$

$$q(t, C_r)_{i, j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(C_a); \quad (6.23)$$

$$q(t, C_b)_{i,j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(C_a).$$

При цьому, так само як і у випадку зі значеннями порогів, фактори якості для яскравісної та кольорорізнисних складових будуть вибиратися з різними величинами.

На наступному етапі адаптації проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{comp}$ і середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку оброблюваного кадру при вихідних параметрах обробки блоків: порогів $\Delta D(Y)_{in}$, $\Delta D(C_a)_{in}$ та чинників якості $QF(Y)_{in}$, $QF(C_a)_{in}$.

Вихідні параметри вибираються з міркувань досягнення найкращої якості зображення, проте вони задаються в межах:

$$\Delta D_{min} \leq \Delta D(Y)_{in}, \Delta D(C_a)_{in} \leq \Delta D_{max}; QF_{min} \leq QF(Y)_{in}, QF(C_a)_{in} \leq QF_{max}.$$

Перевірка відеоданих на якість зображення проводиться шляхом визначення середньоквадратичної помилки:

$$\sigma(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} \sigma(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + \sigma(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + \sigma(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} \right), \quad (6.24)$$

де $\sigma(t, w)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ – середньоквадратична помилка блоку $B(t, w)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$;

$b'_{i,j}^{(\xi,\gamma)}$ – відновлений елемент блоку зображення;

$b_{i,j}^{(\xi,\gamma)}$ – вихідний елемент блоку зображення;

m – кількість елементів у блоці по горизонталі;

n – кількість елементів у блоці по вертикалі.

У разі якщо середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ перевищує необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{req}$, то якість відновленого зображення менше заданої, або

підсумкова бітова швидкість $V(t)_{\text{comp}}$ вища від необхідної $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$. Відповідно до механізму адаптації проводиться зміна параметрів значень факторів якості та порога ΔD для всіх складових колірної моделі [43]. У разі якщо перебір можливих варіантів параметрів компресії не дозволив досягти необхідних параметрів швидкості та якості, приймається рішення про зміну формату цифрової субдискретизації.

Оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ проводиться після зміни кожного параметра. Якщо після всіх змін параметрів не вдалося досягти заданої швидкості протягом часу обробки, яке було відведено на обробку одного кадру, може бути прийнято рішення про пропуск поточного P-кадру.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 6

1. Створена методологічна база, яка дозволяє побудувати систему управління бітовою швидкістю відеопотоку, що особливо актуально в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення з низькою пропускною здатністю каналу, невеликому часі обробки відеоінформації або обмежених обчислювальних можливостях пристроїв обробки.

2. Розроблено загальний метод управління бітовою швидкістю роботи кодера на базі алгоритму релаксації Лагранжа, який використовує в якості параметра фактор якості при квантуванні блоку. Для пошуку оптимального значення параметра квантування запропоновано використовувати метод поділу відрізків навпіл. Основна його перевага полягає в тому, що непотрібно повного (або близького до повного) перебору множини рішень як, наприклад, при динамічному програмуванні. Це дозволяє знизити час обробки і передачі кадру, що необхідно при роботі з відеопослідовністю в масштабі часу, близькому до реального.

3. Розроблено механізм адаптації підсумкової бітової швидкості відеопотоку до параметрів комп'ютерних мереж та систем спеціального призначення при обробці Р-кадрів. Він дозволить реалізувати можливість контролю середньоквадратичної помилки при інтенсивності відеопотоку, що не перевищує необхідної пропускної спроможності каналу зв'язку. Основу механізму складають такі положення:

- вибір формату колірної субдискретизації Р-кадру, що дозволить скоротити не тільки загальний обсяг переданих даних на один кадр, а й вплив у процентному співвідношенні кольорорізнісних складових відносно яскравісної;

- застосування диференціальної обробки блоку залежно від порога прийняття рішень, що дозволяє в Р-блоках з незначними змінами виробляти меншу кількість математичних операцій, що значно знизить час їх обробки. У той самий час при обробці І-блоку, який відповідає динамічній зміні

об'єкта в оброблюваному просторі, будуть обрані такі параметри компресії, які забезпечать найкращу якість;

- використання адаптивного механізму зміни таких параметрів компресії блоку: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень, фактора якості. Їх комбінування дозволяє адаптувати значення бітової швидкості до пропускнуої спроможності каналу зв'язку і вибирати необхідну якість переданого зображення;

- параметри компресії для різних колірних складових кадру вибираються окремо для кожної складової. Значення порога та фактора якості вибираються таким чином, щоб яскравіша складова, яка несе найбільшу інформативність, оброблялася з кращою якістю, ніж кольорорізнисні складові.

Результати досліджень шостого розділу опубліковані в роботах [59, 60, 63, 65, 69, 180, 181, 184, 188, 189].

РОЗДІЛ 7

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОТРАФІКА

Розроблено метод управління бітовою швидкістю, який дозволяє виробляти необхідне коригування інтенсивності відеопотоку відповідно до основних параметрів комп'ютерних систем та мереж СП при забезпеченні заданої якості відеотрафіка [47, 61]. Даний метод дозволяє адаптивну зміну таких параметрів компресії: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень і фактора якості методом Лагранжевих релаксації. Механізм комбінування вибраних параметрів складено так, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. При цьому здійснюється контроль та адаптація бітової швидкості до пропускної спроможності каналу зв'язку, а також є можливість вибору якості переданого зображення.

Оцінимо вплив бітової швидкості відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах СП.

Показано, що створений метод управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів має здатність підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів за рахунок розширення загального методу компресії стандарту MPEG вдосконаленим методом кодування. Він має більшу завадостійкість блокових кодових конструкцій, що дозволить знизити кількість помилок при відновленні кадрів. При цьому розроблений метод управління за рахунок оптимізації по трьох параметрах компресії забезпечує необхідне підстроювання інтенсивності відеопотоку під поточні параметри комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

7.1 Обґрунтування концептуальної бази каскадної технології диференційного маскування з класифікацією семантичної складності зображень

Аналіз технологій обробки зображень, викладений в роботах [79 - 81, 239 – 243] показує, що основним способом для підвищення якості обробки є попередній аналіз та подальша обробка зображень, яка залежить від результату вихідного аналізу (фільтрації, підвищення різкості, зменшення шуму і т. д.). Головним недоліком даних технологій є участь в процесі обробки особи, яка приймає рішення (вибір методу попереднього аналізу, проміжна оцінка результатів, вибір подальшого способу обробки і т. д.), що є не прийнятним для практичної реалізації в КСМ спеціального призначення при автоматичній обробці та передачі відеоінформації.

Для вирішення поставленого завдання диференціальна обробка відеозображень з введенням інтелектуального аналізу:

- а) виявлення та локалізація семантично значущої інформації в відеозображеннях;
- б) виконання пофрагментного аналізу відеозображень з класифікацією семантичної складності (ступеня насиченості контурами);
- в) реалізація обробленого подання відеозображень, параметри якого адаптивно визначаються залежно від класу семантичної складності.

Пропонується виконувати 2-х каскадну диференційну обробку відеозображень для реалізації таких завдань:

- а) збільшення кількості правильно виділених граничних пікселів (високий рівень детектування);
- б) підвищення ступеня локалізації контурів з одночасною класифікацією фрагментів зображень за ступенем насиченості контурами;
- в) забезпечення інформацією для управління параметрами компресії зображення.

Ця 2-х каскадна диференціальна обробка відеозображень є одним з

етапів методу обробки відеозображень з метою підвищення доступності та цілісності відеоінформаційного ресурсу в КСМ СП.

Застосування 2-х каскадної диференціальної обробки відеозображень у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення [49, 82] дозволить усунути недоліки існуючих технологій маскування з дотриманням безперервності процесу обробки відеоінформації.

Каскадність обробки відеозображень складатиметься у:

а) проведенні попереднього аналізу фрагментів зображення за ступенем насиченості їх контурами (слабо, середньо і сильно насичені);

б) використання різноманітних методів маскування для каскадів різних рівнів схеми виділення контурів з урахуванням класу насиченості фрагментів.

У першому каскаді схеми вирішені такі завдання:

а) виділення контуру в зображенні з використанням масок 1-го рівня (допускається виділення помилкових контурів);

б) оцінка показників структурної складності зображення (фрагментів).

На другому каскаді реалізується:

а) класифікація зображення (фрагментів) за ступенем насиченості їх контурами;

б) локалізація контурів об'єктів зображення маскою 2-го рівня з урахуванням класу насиченості контурами;

в) визначення параметрів методу компресії для відеозображення (пофрагментно) залежно від класу насиченості контурами.

Опишемо в загальному вигляді процедури 2-х каскадної диференційної обробки відеозображень.

На першому каскаді для зменшення часу обробки та виділення семантичної інформації пропонується використовувати первинне (грубе) маскування фрагментів зображень методом забезпечення блокування реальних контурів (мінімальне (максимальне) значення помилки 2-го роду (чутливості)). Метою даного етапу обробки є визначення структурних

показників насиченості зображень (кількість двійкових перепадів, довжина двійкових серій та ін.) та автоматична класифікація областей зображення за ступенем насиченості (щільності заповнення) їх контурами.

Етапи виділення та локалізації контурів у початковому зображенні X методами маскування та результат маскування позначимо $M(X)$.

Для першого каскаду пропонується використовувати методи Собела або Лапласіана (LoG), для другого каскаду – методи Собела, Лапласа або Шару.

Для реалізації запропонованого каскадного підходу щодо виявлення семантики зображень необхідно в першому каскаді схеми визначити показники структурної складності зображення, завдяки яким виконується класифікація фрагментів зображень за ступенем їх семантичної насиченості контурами.

Розглянемо показники структурної складності зображення для класифікації маскованих зображень за ступенем їх семантичної насиченості.

В результаті досліджень [83, 246] для оцінки насиченості контурами зображення (фрагментів) були запропоновані такі параметри структурної складності зображень (абсолютні та відносні значення):

- 1) параметр $P1$ – кількість $N_{cnn.}$ стовпців відеозображення (фрагмента);
- 2) параметр $P2$ – кількість $N_{стр.}$ строк відеозображення (фрагмента);
- 3) параметр $P3$ – усереднене значення двійкових перепадів у строках щодо стовпців:

$$P_3 = n_1' = \frac{\sum_{x=1}^{N_{cnn.}} n_{1x}}{N_{cnn.}}, \quad (7.1)$$

де n_{1x} – кількість двійкових перепадів в x - й строці;

$N_{стл.}$ – кількість стовпців; $N_{стр.}$ – кількість строк;

x – порядковий номер строки;

4) параметр P_4 , усереднене значення двійкових перепадів у стовпцях щодо строк:

$$P_4 = n'_2 = \frac{\sum_{y=1}^{N_{\text{стр.}}} n_{2y}}{N_{\text{стр.}}}, \quad (7.2)$$

де n_{2y} – кількість двійкових перепадів в y -му стовпці;

y – порядковий номер стовпця;

5) параметр P_5 – інтегральний параметр кількості двійкових перепадів:

$$P_5 = n = \sqrt{n_1^2 + n_2^2}; \quad (7.3)$$

6) параметр P_6 – загальна кількість пікселів у контурах – $N_{\text{ріх кнт.}}$;

7) параметр P_7 – інтегральний параметр питомого насичення контурами – відношення площі контурів $S_{\text{контур}}$ до площі зображення $S_{\text{зображ.}}$, (%):

$$P_7 = \Delta S = \frac{S_{\text{контур}}}{S_{\text{зображ.}}} \cong \frac{N_{\text{ріх кнт.}}}{N_{\text{ріх з.}}}, \quad (7.4)$$

де $N_{\text{ріх кнт.}}$ – загальна кількість пікселів у контурах;

$N_{\text{ріх з.}}$ – загальна кількість пікселів у зображенні;

8) параметр P_8 – клас семантичної насиченості контурами (КНК):

1 - слабонасичений, 2 - середньонасичений, 3 - сильнонасичений.

Запропоновані параметри структурної складності зображення розраховуються на виході 1-го каскаду схеми обробки.

Множина P оцінок показників структурної складності для початкового зображення X представимо в такому вигляді:

$$P = F_P(X; M) = \{P_j\}, \quad j = \overline{1, n_p}, \quad (7.5)$$

де $F_P(X; M)$ – система визначення структурних показників P_j для вихідного зображення X на основі результатів маскуваннн M ;

P_j – j -ий показник оцінки структурної складності для зображення X ;

n_p – кількість розглянутих показників.

Структурні показники складності P у загальному випадку залежать як від параметрів вихідного зображення X (його семантичної структури), так і від результату маскуваннн $M(X)$. Аналіз та обробка структурних показників складності дозволяють визначити клас семантичної насиченості зображень (фрагментів).

На другому каскаді на основі отриманих значень визначається клас семантичної насиченості фрагмента зображення. Для сильнонасичених контурами фрагментів проводиться вторинне (уточнюоче) маскуваннн методами, які забезпечують високу ступінь локалізації; відсутність розривів в контурах, цілісність граничних пікселів; мінімальне (максимальне) значення помилки 1-го роду (специфічності) та мінімальне значення RMSE.

Підсумки експериментів зводяться в таблиці результатів за такою типовою формою:

а) № – умовний номер оброблюваного реалістичного зображення (фрагмента);

б) значення (вибірка) обчислених структурних параметрів (умовні параметри $P_1 - P_7$ і відповідний їм дійсний параметр;

в) якісна ознака P_8 , яка визначається на основі кластерного аналізу параметрів $P_1 - P_7$.

Обробка результатів експериментів для великої кількості зображень дозволяє сформувати діапазони значень показників структурної складності зображення для кожного класу насиченості контурами.

При цьому всі множини оцінок P показників структурної складності для оброблених зображень емпірично розбиваються на підмножини P_i реалізацій значень показників для кожного класу семантичної насиченості:

$$P = \{P_i\}, \quad (7.6)$$

де P_i – відповідна підмножина оцінок структурних показників складності для i -го класу насиченості зображення (або його фрагмента);

i – порядковий номер класу насиченості, $i = \overline{1, m_s}$;

m_s – кількість класів насиченості.

Формування кластерів (підмножин) P_i оцінок структурних показників складності для i -го класу насиченості зображення (фрагмента) пропонується проводити методами кластерного аналізу (ієрархічним методом, методом К-середніх або методами нечіткої кластеризації – методом нечітких С-середніх).

Пропонується залежно від ступеня насиченості контурами розглядати 3 класи насиченості зображень контурами (КНК):

- слабо насичені контурами – КНК "слабонасичений";
- середньо насичені контурами – КНК "середньонасичений";
- сильно насичені контурами – КНК "сильнонасичений".

Для подальшої формалізації вирішення поставленого завдання введемо таку градацію класів семантичної насиченості зображень:

- з класом семантичної насиченості "слабонасичений" - K_1 ;
- з класом семантичної насиченості "середньонасичений" - K_2 ;
- з класом семантичної насиченості "сильнонасичений" - K_3 .

При вирішенні завдання класифікації зображень (фрагментів) за ступенем їх насиченості контурами пропонується на основі результатів обробки визначати відповідність обчислених показників структурної

складності (P1 - P7) підмножині P_i показників структурної складності, яке відповідає певному класу семантичної складності K_i :

- "слабонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_1 | P_i \subseteq P_1\}$;
- "средньонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_2 | P_i \subseteq P_2\}$;
- "сильнонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_3 | P_i \subseteq P_3\}$.

Тоді процедуру визначення класу семантичної насиченості для зображення (фрагмента) функціонально можна представити так:

$$K = F_K(X; M; P) = \begin{cases} K_1, \text{ якщо } P_i \in P_1; \\ K_2, \text{ якщо } P_i \in P_2; \\ K_3, \text{ якщо } P_i \in P_3, \end{cases} \quad (7.7)$$

де $F_K(X; M; P)$ – функціональний опис, який дозволяє визначити клас насиченості для вихідного зображення X (його фрагмента) за знайденими в результаті маскування M у відповідності з $F_P(X; M)$ значенням P_j оцінки структурних показників складності за умови розбиття всієї множини реалізацій значень оцінок структурних параметрів складності на 3 класи насиченості;

P_1, P_2, P_3 – відповідні K_i класу насиченості кластери оцінок структурних показників складності.

У табл. 7.1, як приклад наведені результати експерименту для 20 різних за розмірами та насиченістю фрагментів відеозображень практичної реалізації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення при автоматичній обробці та передачі відеоінформації.

У результаті візуальної оцінки фрагментів зображень експерти класифікували їх за ступенем насиченості контурами так:

- а) КНК "слабонасичені" зображення: C_1, C_4, C_9, C_{11} ;

б) КНК "середньонасичені" зображення: C_3, C_5, C_6, C_7, C_8, C_10, C_16, C_17, C_19, C_20;

в) КНК "сильнонасичені" зображення: C_2, C_12, C_13, C_14, C_15, C_18.

В результаті оцінки структурних параметрів методом кластерного аналізу зображення класифіковані за ступенем насиченості їх контурами так:

а) КНК "слабонасичені" зображення: C_1, C_4, C_9, C_11, C_16;

б) КНК "середньонасичені" зображення: C_3, C_5, C_6, C_7, C_10, C_17, C_19, C_20;

в) КНК "сильнонасичені" зображення: C_2, C_8, C_12, C_13, C_14, C_15, C_18.

Таблиця 7.1 – Приклад оцінки параметрів структурної складності зображень

№ з/п	№ зобр	P1 $N_{смп.}$	P2 $N_{смп.}$	P3 n_1	P4 n_2	P5 n	P6 N_{pix}	P7 ΔS	P8 КНК
1	C_1	100	100	0,28	0,38	0,47	342	0,03	1
2	C_4	100	100	0,12	0,42	0,44	468	0,05	1
3	C_9	100	100	0,44	0,66	0,79	244	0,02	1
4	C_11	480	320	0,71	1,27	1,45	463	0,00	1
5	C_16	480	320	0,83	1,52	1,73	1348	0,01	1
6	C_3	100	100	0,64	0,56	0,85	1346	0,13	2
7	C_5	100	100	0,76	1,08	1,32	1502	0,15	2
8	C_6	100	100	1,82	1,94	2,66	1934	0,19	2
9	C_7	100	100	1,96	3,49	4,00	2346	0,23	2
10	C_10	100	100	1,08	1,56	1,90	408	0,04	2
11	C_17	480	320	1,41	2,80	3,13	3456	0,02	2
12	C_19	480	320	2,06	2,74	3,43	2468	0,02	2
13	C_20	480	320	1,27	2,26	2,59	2349	0,02	2
14	C_8	100	100	2,33	2,67	3,54	4016	0,40	3
15	C_2	100	100	3,72	3,42	5,05	3204	0,32	3
16	C_12	480	320	13,64	23,20	26,92	15607	0,10	3
17	C_13	480	320	7,17	6,40	9,61	9876	0,06	3

№ з/п	№ зобр	P1 $N_{cmp.}$	P2 $N_{cmp.}$	P3 n_1	P4 n_2	P5 n	P6 N_{pix}	P7 ΔS	P8 КНК
18	C_14	480	320	4,89	6,36	8,02	7643	0,05	3
19	C_15	480	320	2,50	5,14	5,72	6378	0,04	3
20	C_18	480	320	1,18	3,76	3,94	3248	0,02	3

Порівняльна оцінка результатів досліджень показує, що є відповідність між візуальною оцінкою ступеня семантичної насиченості та кількісною оцінкою на основі кластерного аналізу. Дана відповідність дозволяє виробити емпіричні рекомендації щодо проведення автоматичної класифікації семантичної складності відеозображень без участі оператора. Це дозволить впровадити в розроблюваний метод обробки зображень з маскуванням адаптивне визначення параметрів компресії залежно від семантичної насиченості відеозображень.

У загальному вигляді схема 2-х каскадній диференційній обробки відеозображень наведена на рис. 7.1.

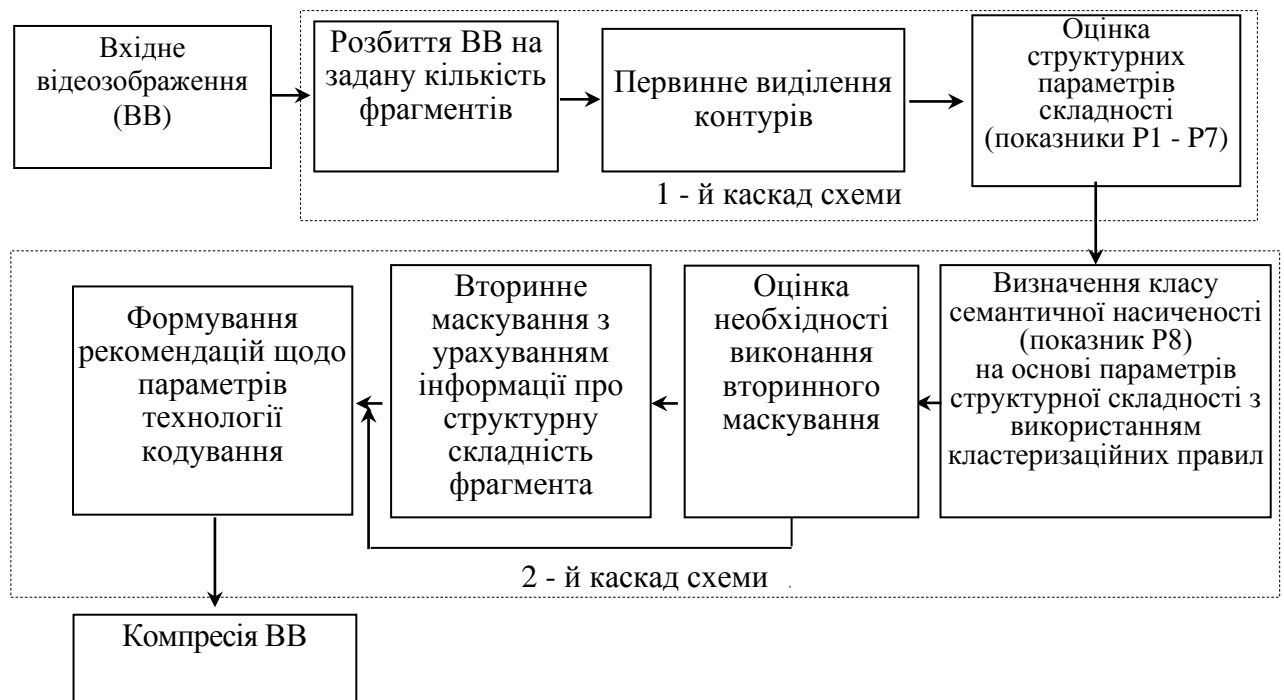


Рисунок 7.1 – Схема 2-х каскадній диференціальної обробки відео зображень

Приклад класифікації зображень за КНК у програмному середовищі

STATISTICA для результатів експерименту, наведених в таблиці 7.1, для показників P1 – P7 за показником P5 (n – інтегральний параметр за оцінкою довічних перепадів) представлений на рис. 7.2.

Порівняльна оцінка ефективності простих методів маскуванню та 2-х каскадної схеми маскуванню наведена на рис. 7.3 – 7.5.

Аналіз рисунків 7.3 – 7.5 показав, що точність виділення і локалізації семантичної складової відеозображення збільшується до 30% у порівнянні з простими методами маскуванню. При цьому часові витрати на обробку відносно простих методів маскуванню збільшуються не більше ніж на 5%.

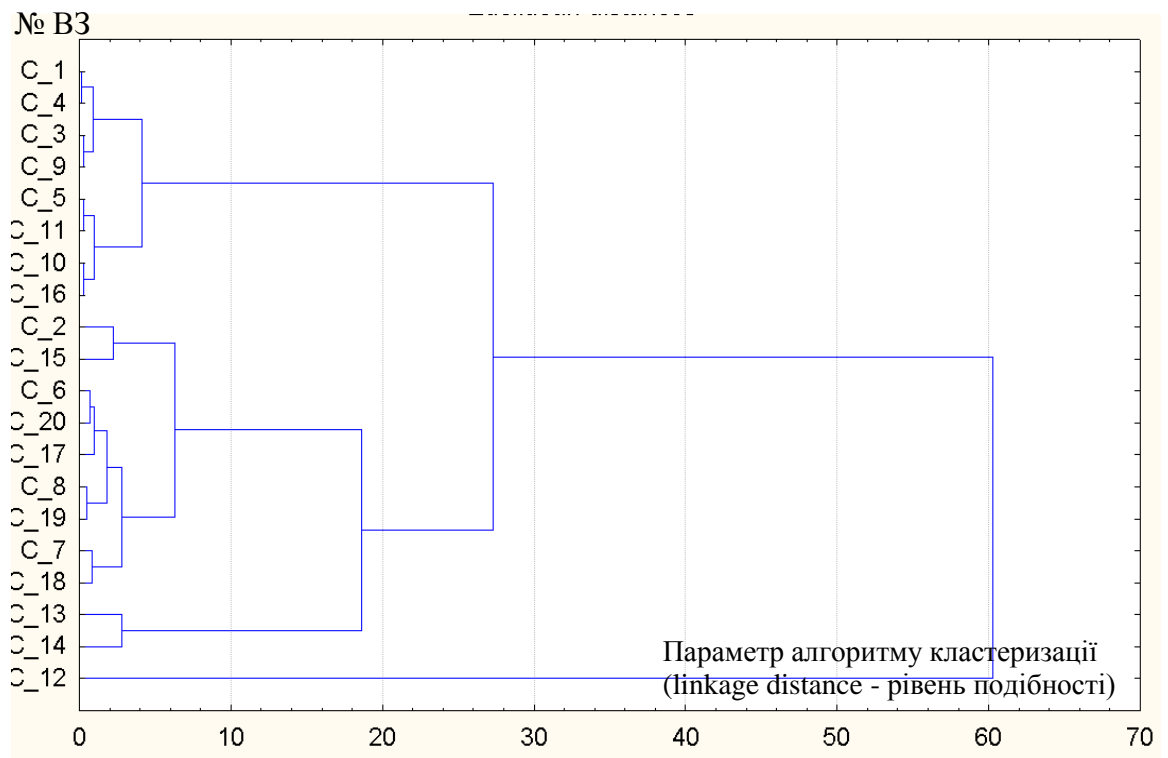


Рисунок 7.2 – Ієрархічна класифікація (у вигляді дендрограми) результату експерименту (за даними табл. 7.1)

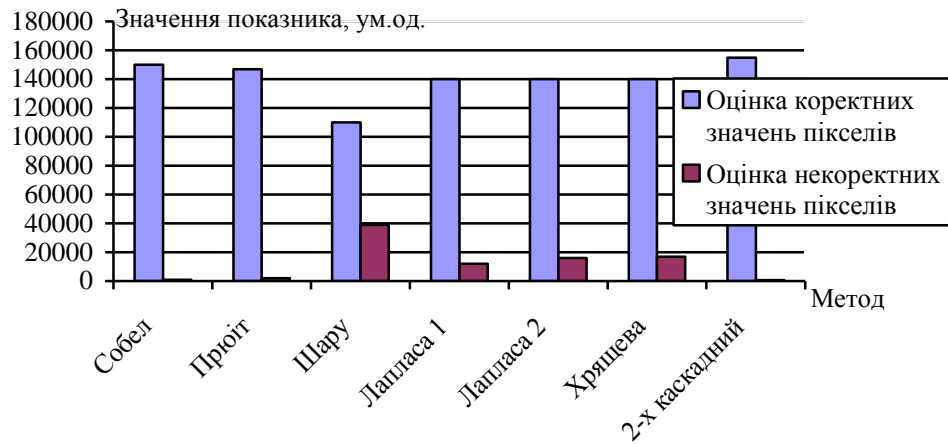


Рисунок 7.3 – Оцінка ефективності локалізації контурів простими методами маскування і запропонованої 2-х каскадної схеми

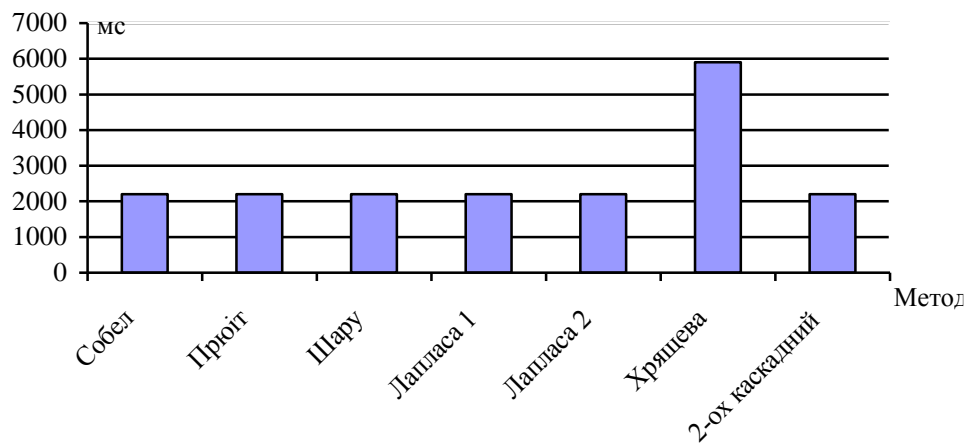


Рисунок 7.4 – Оцінка ефективності часу обробки існуючими методами маскування і запропонованої 2-х каскадної схеми

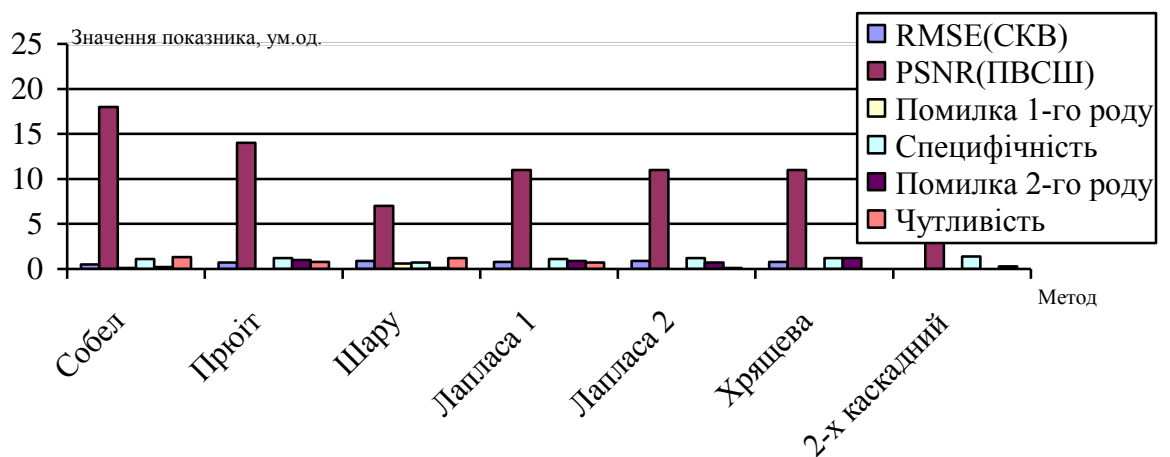


Рисунок 7.5 – Оцінка ефективності точності виділення контурів простими методами маскування і 2-х каскадної схемою

Таким чином, побудовано правило на базі системи аналітичних виразів для кількісних показників структурної складності зображення. Вони враховують: розміри оброблюваного зображення (кількість рядків і стовпців); розривність функції яскравості (визначення двійкових перепадів); двовимірне цифрове подання зображень (визначення двійкових перепадів у строках щодо стовпців і строк щодо стовпців); загальна кількість пікселів у контурах (параметр питомого насичення контурами). Розроблені показники структурної складності зображення забезпечують оцінку ступеня семантичної насиченості зображень та виконання подальшої класифікації насиченості контурами відеозображень (фрагментів). Розроблено каскадну технологію маскування, яка дозволяє усунути недоліки окремо використовуваних методів зі збереженням переваг технології маскування в цілому.

Дана технологія базується на таких концептуальних складових:

- виявлення та локалізація семантично значущої інформації в відеозображеннях з використанням технологій маскування;
 - визначення показників структурної складності зображення для оцінки характеристик семантичної насиченості зображень (фрагментів);
 - класифікація маскованих фрагментів за ступенем семантичної насиченості на основі кластерного аналізу;
 - вторинне маскування з метою підвищення точності виділення і локалізації семантики в зображенні для фрагментів з класом семантичної насиченості "сильнонасичені";
- в) реалізація компактного подання відеозображень, параметри якого будуть адаптивно визначатися залежно від класу семантичної складності.

Створено двукаскадну технологію маскування зображень на основі застосування фільтруючих масок і визначення структурних показників складності фрагментів відео зображень. Клас семантичної складності буде враховуватися на етапі формування кодового подання відеозображень, що забезпечить підвищення доступності та цілісності відеоінформаційного

ресурсу у КСМ спеціального призначення при управлінні у кризових ситуаціях.

7.2 Оцінка узгодженості характеристик комп'ютерних систем та мереж з трафіком відеоданих

Сучасний стан комп'ютерних систем та мереж СП характеризується високими темпами зростання обсягів циркулюючої в них інформації, збільшенням числа користувачів та розширенням спектру надаваних сервісів. Однак швидкість розвитку споживчого сегмента значно перевищує функціональні можливості обладнання сучасних КСМ спеціального призначення, що знижує якість надання сервісів.

Проблематика рішення завдання своєчасної доставки відео з контрольованою втратою якості в комп'ютерних системах та мережах СП полягає в декількох рівнях [64, 174, 244, 245]. Згідно одного з них, необхідно узгодити змінну інтенсивність відеопотоку та нестационарність характеристик мережі. З одного боку, змінними є структурні, психовізуальні та семантичні характеристики потоку відеокадрів. Тоді змінні значення мають інтенсивності обробленого відеопотоку. З іншого боку, змінними є характеристики самої мережі. Це обумовлено неоднорідністю мережі і навантаженням на вузли її комутації, непередбаченою кількістю користувачів мережі та їх сервісними потребами.

Причинами виникнення пульсацій швидкості передачі даних у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення є:

- неоднорідні можливості та складність трафіку;
- наявність завад та обривів у лінії зв'язку, які призводять до блокування окремих трактів мережі;
- модифікації та зростання мереж доступу відносно транспортної магістралі;

- зміна кількості абонентів, підключених до єдиного каналного ресурсу;

- різні відстані між вузлами мережі [180, 247].

У результаті динамічної зміни цих параметрів швидкість V_k в мережі постійно змінюється:

$$V_k = \text{var}.$$

Отже, швидкість передачі даних є функцією кількох змінних (рис. 7.6):

$$V_k = f(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5), \quad (7.8)$$

де v_1 – пропускна здатність мережі;

v_2 – складність трафіку;

v_3 – якість і тип ліній зв'язку;

v_4 – кількість одночасно працюючих абонентів;

v_5 – просторові характеристики мережі.

З іншого боку, мережевий трафік сучасних комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення носить випадковий та нестационарний характер, зумовлений зміною інтенсивностей потоків даних у різний час доби та непередбачуваністю характеру роботи абонентів мережі.

Інтенсивність потоку компресії відеоданих їх структура та обсяг залежить від змісту вихідних зображень і особливостей технології їх обробки.



Рисунок 7.6 – Причини виникнення пульсацій швидкості передачі даних у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

У загальному випадку вхідний відеопотік кодера має рівномірну швидкість $V(t)$, яка залежить від просторового розрізнення кадру $M \times N$, частоти кадрів f_k та глибини яскравості γ , тобто кількості біт, які припадають на один піксель зображення: $V(t) = f_k \cdot M \cdot N \cdot \gamma$ (біт/с).

Однак при оцінці бітової швидкості джерела необхідно враховувати неоднорідність та складність трафіку, типи відеододатків, їх вимоги до візуальної якості, пропускну здатність каналу зв'язку, часових затримок у процесі обробки та різних стратегій для обробки класифікованих кадрів. Це призводить до виникнення пульсацій бітової швидкості відеопотоку.

Трафік, створюваний абонентами мережі, які використовують передачу відеоінформації (окремі файли зображення, відео за запитом або потокове відео різної якості), має яскраво виражений асинхронний та пульсуючий характер. За передбачуваністю інтенсивності додатки можуть бути розділені на два великі класи.

1. Додатки, трафік яких є квазірівномірним потоком (Stream), характеризується високим ступенем передбачуваності трафіку, який

надходить до мережі з більш-менш постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR). Хоча бітова швидкість потоку може змінюватися проте вона має легко обчислюєму верхню межу. Мережі на основі комутації пакетів можуть підтримувати змінну швидкість передачі, але середня пропускна спроможність у будь-який момент часу обмежена певними факторами, які залежать від швидкості зв'язку та перевантаженості. У цих випадках необхідні контроль та адаптація бітової швидкості, яку виробляє кодек, для її відповідності швидкостям транспортування.

2. Додатки з пульсуючим трафіком (Burst) відрізняються високим ступенем непередбачуваності, коли періоди відсутності передачі змінюються передачею великих блоків даних. У результаті трафік характеризується змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR).

Клас трафіку VBR має два підкласи: трафік VBR часу, близького до реального (VBR-RT), та трафік VBR не реального часу (VBR-NRT). Трафік VBR-RT допускає дуже вузькі межі для затримки передачі осередків та може використовуватися для передачі даних додатків часу, близького до реального, з невеликою затримкою передачі пакетів, таких як відео, що генерується кодеком зі змінною швидкістю даних або оброблений відеотрафік. Трафік VBR-NRT, у свою чергу, пред'являє менш жорсткі вимоги до затримки передачі пакетів. Він спеціально призначений для передачі коротких, пульсуючих повідомлень, які виникають при обробці транзакцій системами управління базами даних.

Відеопотік даних має змінну швидкість $V(t) = var$, на яку впливає кількість користувачів і тип додатків з різними вимогами до характеристик КСМ спеціального призначення та параметрами алгоритмів компресії.

Перед надходженням у канал зв'язку відеопотік проходить обробку в кодері (рис. 7.7), після якого швидкість даних зазнає змін в часовому діапазоні $V(t)_{comp} = var$.

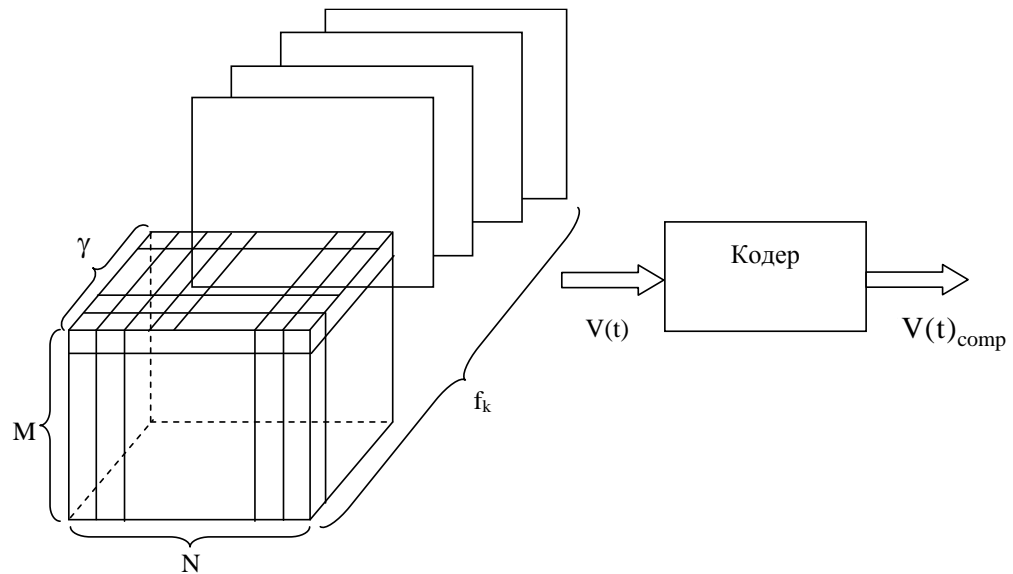


Рисунок 7.7 – Структура відеопотоку

Це відбувається через зміну характеристик оброблюваних зображень, які подаються через статистичні (ступінь кореляції елементів сегмента зображення, часова та просторова надмірність) та структурні характеристики (яскравість, колірна насиченість, ступінь насиченості дрібними деталями, складність контурів) [84, 250 – 252]. Це значить, що бітова швидкість відеопотоку визначається функцією кількох змінних:

$$V(t)_{\text{comp}} = f(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7), \quad (7.9)$$

де f_1 – статистичні особливості вихідного зображення;

f_2 – структурні особливості вихідного зображення;

f_3 – розмір сегмента зображення;

f_4 – тип колірної моделі;

f_5 – вид сегментації зображення;

f_6 – параметр квантування;

f_7 – тип кодування.

Серед цих змінних можна умовно виділити керовані параметри (f_3, f_4, f_5, f_6) та об'єктивні чинники (f_1, f_2), як показано на рисунку 7.8.



Рисунок 7.8 – Причини виникнення пульсацій бітової швидкості джерела відеотрафіка

Проведений експеримент з дослідження завантаження мережі при передачі відеопотоку, на кафедрі математичного та програмного забезпечення АСУ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба на базі фрагмента мережі Fast Ethernet показав, що є протиріччя, викликане необхідністю узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в каналі. Воно обумовлено постійною зміною бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в мережі.

Протягом експерименту відбувалася одночасна передача потокового відео від джерела (відеосервер) до 15 абонентів (з них 8 – фіксовані), які знаходяться в межах однієї локальної мережі (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Умови проведення експерименту

Загальні характеристики	Значення
Час проведення експерименту	360 хв.
Фізичне середовище передачі	UTP Cat 5
Технології передачі	Fast Ethernet 100Base-T, Wi-Fi 801.11b / g
Кількість користувачів	15
Характеристики відеопотоків:	
Розмір кадру	1280x720 пікселів
Відеокодек	H.264/AVC зі змінною бітовою швидкістю (VBR)
Частота проходження кадрів	30 кадрів / с

Передача проводилася в режимі адресної відправки (unicast). При цьому з інтервалом в 1 хв проводилася фіксація значень інтенсивності завантаження мережі на Ethernet-інтерфейсі сервера мультимедіа.

В інтервалі часу від початку спостереження до 100-ої хвилини робота мережі здійснювалася в штатному режимі без істотного навантаження відеоінформацією. За цей час не виявлено перевантажень мережі та істотних затримок пакетів. На 100-ій хвилині спостереження, з початком передачі потокового відео (першого відеофайлу) абонентам мережі від сервера мультимедіа, стрибкоподібно зростає інтенсивність $\lambda_{\text{сер}}$ завантаження мережі. Це обумовлено одночасним поданням запитів від всіх абонентів. На 109-ій хвилині інтенсивність завантаження мережі зросла від 0,1 Мбіт/с до 20 Мбіт/с. В цей момент затримка пакетів ΔT зросла до 0,25 с, що перевищує встановлений стандартом норматив щодо затримки передачі для потокового відео. Після обробки та передачі I-кадрів всім абонентам на початку трансляції потокового відео, поряд з опорними кадрами, передана велика кількість пов'язаних P та B-кадрів, що переносять набагато менший обсяг даних, на відміну від I-кадрів. Тому, в подальшому, зі 109-ї хвилини,

навантаження λ_{cur} на мережу істотно знизилося.

Таким чином розв'язання протиріччя складається в узгодженні бітової швидкості відеопотоку (інтенсивності відеопотоку) у відповідність до швидкості передачі даних в мережі:

$$V(t)_{comp} = f(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7): V(t)_{comp} \rightarrow V_k. \quad (7.10)$$

Схема, яка відображає суть процесу узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в комп'ютерній мережі спеціального призначення наведена на рис. 7.9.

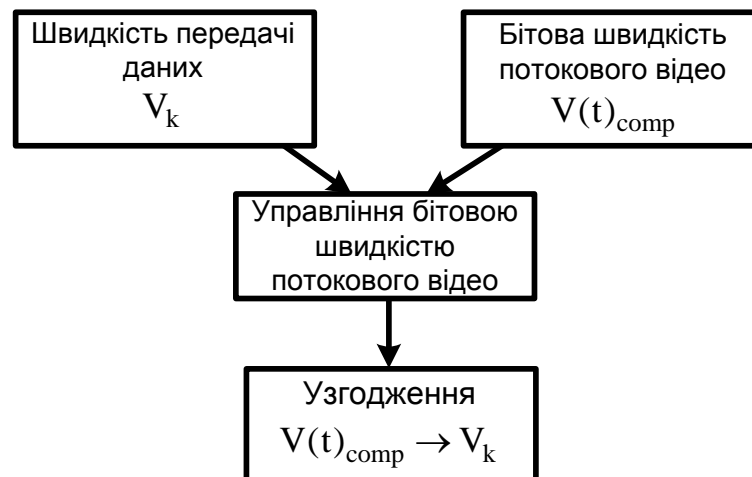


Рисунок 7.9 – Схема узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в комп'ютерній мережі спеціального призначення

З точки зору управління відеотрафіком виділяються такі напрямки (рис. 7.10):

- реалізація засобів загальносистемного управління пріоритетами трафіку в комп'ютерній мережі спеціального призначення, що включає в себе механізми та протоколи забезпечення QoS на рівнях моделі OSI;
- організація управління інтенсивністю навантаження на кінцевих вузлах мережі, яке включає в себе засоби буферизації та контроль бітової швидкості, реалізовані у вигляді додаткових алгоритмів роботи відеокодеків.



Рисунок 7.10 – Напрямки управління відеотрафіком

Модель функцій систем управління мережі відповідно до стандарту ISO складається з 5 концептуальних напрямків:

1) управління ефективністю – вимірювання та забезпечення різних аспектів ефективності мережі для підтримання міжмережевої ефективності на прийнятному рівні (пропускна спроможність мережі, час реакції користувачів, коефіцієнт використання лінії та ін.);

2) управління конфігурацією – контролювання інформації про мережеву та системну конфігурацію для відстеження та управління впливом на роботу мережі різних версій апаратних і програмних елементів, які можуть впливати на роботу мережі;

3) управління врахуванням використання ресурсів – вимірювання параметрів використання мережі для регулювання її використання індивідуальними або груповими користувачами відповідним чином. Таке регулювання мінімізує кількість проблем в мережі та максимізує рівний доступ до неї всіх користувачів;

4) управління несправностями – виявлення, фіксування, повідомлення користувачів та (в межах можливого) автоматичне усунення проблеми в мережі для ефективної роботи вузла;

5) управління захистом даних – контроль доступу до мережевих ресурсів відповідно до керівних принципів для унеможливлення

несанкціонованого доступу до мережі та користування приватною інформацією особами, які не мають відповідного дозволу.

Для оптимальної роботи наведеної моделі в КСМ спеціального призначення функціонують спеціальні протоколи та стеки протоколів. Для їх класифікації та виявлення місця в загальній структурі міжмережевої взаємодії, зручно скористатися багаторівневим описом мережевих протоколів. Згідно з даною парадигмою, вважається, що протоколи більш високого рівня використовують функції протоколів більш низького рівня. Класичною моделлю такого роду є семирівнева модель взаємодії відкритих систем (Open Systems Interconnection – OSI).

IP-мережі використовують для передачі інформації та управління нею різноманітні протоколи, причому функції протоколів не залежать від переданих даних. Іншими словами, IP, ARP, ICMP, TCP, UDP та інші елементи стека протоколів TCP/IP надають універсальні засоби передачі інформації будь – якої природи.

Таким чином, в існуючих технологіях загальносистемного управління в комп'ютерній мережі відсутні методи зниження інтенсивності відеопотоку. Протоколи управління лише виконують перерозподіл відеотрафіка, що є їх істотним недоліком. У разі неможливості перерозподілу відеопотоку втрачається інформація.

У нашому випадку поняття бітової швидкості полягає в обсязі оброблених даних, які виробляє кодек за одиницю часу. Дійсно, змінну швидкість потоків відеоданих можна згладити за допомогою буфера.

Управління на рівні буфера, не враховуючи обсягу відеоданих має ряд недоліків і не дозволяє вирішувати проблему узгодження бітової швидкості та швидкості передачі даних у комп'ютерній мережі. Буферизація тільки частково знижує пульсації бітової швидкості, оскільки з одного боку, чим більший об'єм пам'яті буферного пристрою, тим вищі пульсації бітової швидкості відеопотоку, який він може згладжувати.

Збільшення обсягів запам'ятовуючих пристроїв досягається шляхом збільшення енергоспоживання та збільшення їх масогабаритних характеристик. Але ж, чим більший об'єм пам'яті буферного пристрою, тим вище часові затримки, які проявляються в зниженні швидкості обробки відеоданих. Управління переходить на рівень пріоритетів, коли втрачаються дані з низьким пріоритетом.

Велика частка відеоданих серед інших типів трафіку вимагають зниження навантаження в комп'ютерних системах та мережах для забезпечення належного рівня QoS. Для цього розробляються методи зниження інтенсивності відеотрафіка в процесі обробки на джерелі інформації. Розглянуті методи управління в мережах передачі даних або ж буферизація на кінцевих пристроях не можуть повністю забезпечити узгодження бітової швидкості відеопотоку та пропускнуєї спроможності мережі. Тому розроблений метод управління трафіком на основі реалізації механізмів контролю інтенсивністю відеопотоку на рівні кодека.

Для узгодження бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ відеопотоку та швидкості передачі даних у мережі V_k необхідно варіювати параметрами компресії відеоданих. При обробці кадру в відеопослідовності вектор рішень Ψ для управління бітовою швидкістю складається з міри інформативності блоків та параметру якості: $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i\}$. Відповідно, при обробці відеопотоку для кожного i -го блоку в кадрі бітова швидкість v і середньоквадратична помилка будуть функціями від двох змінних:

$$v(t)_i = v_i(t, \Psi^i) = v(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i); \quad (7.11)$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i),$$

де $\sigma_i(t, \Psi^i)$ – середньоквадратична помилка для кожного i -го блоку в кадрі відеопослідовності;

$v_i(t, \Psi^i)$ – бітова швидкість кожного i -го блоку в кадрі.

Для оптимізації параметрів компресії необхідно знайти такі значення вектора рішень Ψ , які будуть відповідати таким вимогам:

$$\begin{cases} \sigma(t, \Psi^*) = \min_{\Psi^i \in \Psi} \sigma(t, \Psi^i); \\ V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}. \end{cases} \quad (7.12)$$

де V_{req} – необхідна бітова швидкість на один кадр;

Ψ^* – оптимальний вектор рішень;

$V(t, \Psi^*)_{\text{comp}}$ – бітова швидкість обробленого кадру при оптимальних параметрах;

$\sigma(t, \Psi^*)$ – середньоквадратична помилка для обробленого кадру при оптимальних параметрах.

Значить, необхідно знайти такі значення параметрів компресії зображення, при яких середньоквадратична помилка буде наближатися до мінімуму $\sigma(t, \Psi^*) \rightarrow \sigma_{\min}$ за умови, що швидкість не буде перевищувати необхідного значення $V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}$, яке дорівнює пропускній спроможності каналу зв'язку.

Виходячи зі змінного характеру бітової швидкості виникаючого навантаження джерела відеопотоку, можна говорити про складність узгодження з пропускною спроможністю каналів зв'язку. Це, в свою чергу, призводить до порушення функціонування протоколів забезпечення QoS та збільшення затримок і втрат пакетів при передачі трафіку.

Таким чином, необхідно розробити метод управління бітової швидкістю відеопотоку, який дозволяє забезпечити контроль інтенсивністю відеоданих на стороні джерела, для можливого узгодження його з характеристиками комп'ютерної мережі спеціального призначення із заданою втратою якості. Це дозволить прогнозувати рівень завантаженості каналів зв'язку ще до потрапляння кодованих потоків в комп'ютерну мережу СП.

7.3 Оцінка технологій управління зменшенням надмірності відтрафіку на базі MPEG-технологій

Рекомендація H.264 не специфікує та не пропонує алгоритму контролю бітової швидкості [65, 253 – 256]. Стандарт MPEG-4 Visual містить алгоритм контролю бітової швидкості в інформаційному додатку, але використання цього конкретного алгоритму не є обов'язковим. Цей алгоритм, званий схемою SRC (Scalable Rate Control масштабуємий контроль швидкості), підходить тільки для однієї відеокамери та для певного діапазону бітових швидкостей при певних просторових та часових розрізненнях (рис. 7.11).



Рисунок 7.11 – Механізми управління інтенсивністю відеопотоку на рівні кодування джерела

Мета алгоритму SRC – досягти необхідної швидкості після певної кількості кадрів (групи кадрів, яка зазвичай починається з I-VOP) і передбачає таку модель для швидкості кодера R :

$$R = \frac{X_1 S}{q} + \frac{X_2 S}{q^2}, \quad (7.13)$$

де q – це розмір кроку квантизації;

S – середня абсолютна різниця залишкового кадру після компенсації руху (міра складності кадру);

X_1 та X_2 – параметри моделі.

Контроль швидкості складається з таких кроків, які виконуються після компенсації руху та до кодування кадру з номером i .

1) розрахувати необхідну швидкість R_i , ґрунтуючись на кількості кадрів у групі, зокрема біт, доступних для залишку групи, максимально допустимому їй обсязі буфера та на оціненій складності кадру i . Максимальний розмір буфера впливає на час затримки між входом кодера та виходом декодера. Якщо попередній кадр був складним, то прогнозується, що i наступний кадр буде складним, i , значить, йому належить призначити відповідну кількість біт: алгоритм має за мету зберегти баланс між цими вимогами та обмеженнями на загальну кількість біт, які надаються цій групі;

2) розрахувати розмір кроку квантування q_i , який буде застосовуватися до всього кадру. Розрахувати S для повного залишкового кадру та розв'язати рівняння для знаходження q ;

3) закодувати кадр;

4) оновити параметри моделі X_1 та X_2 на основі дійсної кількості біт, необхідних для подання кадру i .

Крок квантування не змінюється для кодованого в даний момент кадру, що дає рівномірне візуальне подання поточного кадру. Але можуть виникнути проблеми при роботі з буферами малого розміру i , отже, з короткою затримкою. Модифікація алгоритму SRC підтримує варіювання кроку квантування на рівні макроблоків, що підходить для додатків з короткими затримками, яким необхідний жорсткий контроль швидкості. Алгоритм на рівні макроблоків, заснований на моделі, яка обчислює передбачувану кількість біт V_i , для кодування макроблоку за такою формулою:

$$V_i = A \left(K \frac{\sigma_i^2}{q_i^2} + C \right), \quad (7.14)$$

де A – кількість пікселів в макроблоці;

σ_i – середньоквадратичне відхилення яскравості та хроматичності в залишковому макроблоці (тобто міра варіації всередині макроблоку);

q_i – розмір кроку квантування;

K, C – постійні параметри моделі.

Для кожного макроблоку виконуються такі дії:

- 1) виміряти σ_i ;
- 2) розрахувати q_i за допомогою значень K, C, V_i, σ_i , використовуючи вагу α_i даного макроблоку;
- 3) закодувати макроблок;
- 4) оновити параметри моделі K та C , знаючи дійсну кількість кодових біт, які відповідають даному макроблоку.

Вага ρ_i макроблоку контролює його значущість для суб'єктивного сприйняття зображення. Низькі значення ρ_i свідчать, що даний блок не настільки важливий при візуалізації і його буде проквантовано сильніше, ніж інші макроблоки. Ці ваги можна вибирати за умови мінімізації змін q_i при низьких бітових швидкостях. Кожна зміна цього параметра викликає відправку параметра модифікації квантування, що означає добавку зайвих п'яти біт до коду макроблоку. Важливо мінімізувати кількість змін q_i при кодуванні одного кадру при низькій швидкості, оскільки додаткові п'ять біт в макроблоці можуть виявитися чималою добавкою. При високих швидкостях ці додаткові п'ять біт не настільки істотні, тому параметр q можна міняти частіше, не боячись збільшити загальний розмір коду. Такий метод контролю швидкості є ефективним для підтримки гарної візуальної якості при малому розмірі вихідного буфера кодера та для утримання затримок кодування на мінімальному рівні.

Для подальшого розвитку комп'ютерних систем необхідно розвивати методи управління інтенсивністю відеопослідовності, які дозволять контролювати якість та часові витрати при дотриманні вимог забезпечення необхідної бітової швидкості відео потоку:

$$F_{\text{control}}(V(t)_{\text{comp}}, V_k, Q, Q_{\text{picture}}) \rightarrow F_{\text{opt}},$$

де $F_{\text{control}}(V(t)_{\text{comp}}, V_k, Q, Q_{\text{picture}})$ – функція управління бітовою швидкістю відеопотоку;

Q – функція якості надання відеоінформаційного сервісу;

Q_{picture} – вимоги забезпечення якості відеоінформаційні сервісу;

F_{opt} – вимоги забезпечення необхідного функціоналу управління.

Значення параметрів компресії зображення повинні визначатися таким чином, щоб функція усереднення якості відеоінформаційного сервісу наближалася до допустимого значення $Q_{\text{allowable}}$. При цьому бітова швидкість джерела не повинна перевищувати необхідного значення $V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}$, яке можна порівняти з пропускнуою спроможністю каналу зв'язку $V_{\text{req}} = V_k$:

$$\begin{cases} V(t)_{\text{comp}} \rightarrow V_k \\ F_{\text{average}}(Q, Q_{\text{picture}}) \rightarrow Q_{\text{allowable}} \end{cases},$$

де $F_{\text{average}}(Q, Q_{\text{picture}})$ – функція усереднення якості відеоінформаційного сервісу;

$Q_{\text{allowable}}$ – допустима якість наданого відеосервісу.

7.4 Реалізації методу управління інтенсивністю відеотрафіка

Незважаючи на появу носіїв інформації великої ємності, компресія цифрового відео, як і раніше є одним з найважливіших завдань. Одним з останніх провідних стандартів компресії відеоінформаційного ресурсу є стандарт H.264 (ISO / IEC MPEG-4 Part 10 (Advanced Video Coding)) [170, 257 – 259].

Але подібне удосконалення реалізованого відеокодера за стандартом H.264 шляхом застосування алгоритмів контролю бітової швидкості. Існуючі алгоритми контролю бітової швидкості [85, 260, 261] умовно поділемо на:

- 1) глобальні (вибору коефіцієнту квантування для всіх макроблоків кадру);
- 2) локальні (вибору найкращого варіанту прогнозу для даного макроблоку).

Глобальний алгоритм вибирає коефіцієнт квантування, опираючись на заповнення буфера та показник PSNR поточного кадру. Локальний алгоритм працює на рівні макроблоку (блоку пікселів $16 \cdot 16$), що підходить для додатків з короткими затримками, яким необхідний постійний контроль швидкості. Такий метод контролю швидкості є ефективним для підтримки належної візуальної якості при малому розмірі вихідного буфера кодера та для утримання затримок кодування на мінімальному рівні.

Комп'ютерна система спеціального призначення має обмеження, пов'язані з величиною та пульсацією інтенсивності вхідного навантаження, яку вона здатна обслужити [86, 262, 263]. Інтенсивність вхідного навантаження та її пульсація формуються в джерелі повідомлення. Тому, змінюючи ці параметри можна домогтися зменшення втрат даних за рахунок переповнення буферів обслуговуючих вузлів, а так само їх завантаження обробкою даних, які надходять.

Звідси необхідно розробити метод регулювання інтенсивності відеопотоку, який забезпечить максимально можливу якість зображення для заданої пропускної здатності каналу зв'язку та часу обробки одного кадру.

При обробці P-кадрів в технології MPEG після процедури адаптивного прогнозування кожному блоку присвоюється один з двох типів: I чи P. Ця операція здійснюється за допомогою спеціального параметра - порога ΔD . Відповідно до цього порога визначається рівень інформативності кожного блоку. Залежно від присвоєного типу блоку вибирається варіант його подальшої обробки. Це дозволить в P-блоках, де зміни були незначними, виконувати

меншу кількість математичних операцій, що дозволяє значно знизити час на їх обробку. Паралельно з цим, коли обробляється І-блок з великими диференційованими значеннями, що відповідає динамічній зміні об'єкта в оброблюваній області, для них будуть обрані параметри компресії, які забезпечують найкращу якість.

Запропонований метод управління в процесі роботи алгоритму компресії ґрунтується на зміні значень наступних параметрів: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень ΔD , фактора якості QF.

Загальний напрямок запропонованого методу управління бітової швидкістю при компресії Р-кадрів складається з наступних етапів.

На початковому етапі управління задаються вихідні параметри компресії блоків: пороги $\Delta D(Y)_{in}$, $\Delta D(C_a)_{in}$ та чинники якості $QF(Y)_{in}$, $QF(C_a)_{in}$. Після чого проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{comp}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку оброблюваного кадру.

Так як яркостна складова при декомпресії зображення несе велике інформаційне навантаження ніж кольорізнисні складові C_r , C_b , то значення порога при обробці блоків складової яскравості $\Delta D(Y)$ вибиратимемо меншим, ніж при обробці кольорізнисних складових $\Delta D(Y) < \Delta D(C_a)$, $\Delta D(C_r) = \Delta D(C_b) = \Delta D(C_a)$, де C_a - представляє компоненти однієї з кольорознісних площин: $C_a = C_r$ або $C_a = C_b$.

Аналогічно, фактори якості для яркостної та кольорізнисних складових також будуть обиратися з різними величинами: $QF(Y) < QF(C_a)$.

Вихідні параметри вибираються з міркувань досягнення найкращої якості зображення алу вони задаються в межах:

$$\Delta D_{min} \leq \Delta D(Y)_{in}, \Delta D(C_a)_{in} \leq \Delta D_{max}; QF_{min} \leq QF(Y)_{in}, QF(C_a)_{in} \leq QF_{max}.$$

У разі якщо середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ буде перевищувати необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, тобто якість відновленого зображення буде менше заданого, то проводиться зниження значення фактора якості складової яскравості $QF(Y)$.

Після чого проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку [46]. Потім, за необхідністю, $QF(Y)$ знову знижується, поки не буде досягнуто мінімального значення QF_{min} . Якщо $QF(Y) = QF_{\text{min}}$, а умови за якістю зображення ще не досягнуто $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то приймається рішення про зміну наступного параметра - $QF(C_a)_{\text{in}}$ для кольорорізнисних складових. Процедура зменшення $QF(C_a)_{\text{in}}$ повторюється аналогічно.

Якщо параметри факторів якості досягли мінімальних значень $QF(Y) = QF_{\text{min}}$ та $QF(C_a) = QF_{\text{min}}$, а середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ як і раніше перевищує необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то відбувається збільшення порогу спочатку для яркосної $\Delta D(Y)_{\text{in}}$, а потім і для кольорорізнисних складових $\Delta D(C_a)_{\text{in}}$. Це призводить до збільшення блоків I-типу в кадрі, що в свою чергу дозволить підвищити якість обробленого R-кадру. При кожній зміні порогів також проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$.

Значення порогів $\Delta D(Y)$ та $\Delta D(C_a)$ можуть збільшуватися тільки до заданих максимальних значень: $\Delta D(Y) \leq \Delta D_{\text{max}}$, $\Delta D(C_a) \leq \Delta D_{\text{max}}$.

Підбір проводиться до тих пір, поки задана якість зображення при необхідному значенні бітової швидкості не буде досягнута: $\sigma(t) < \sigma_{\text{req}}$.

У разі якщо перебір можливих варіантів параметрів компресії не дозволив досягти заданої якості: $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то відповідно до запропонованого методу управління приймається рішення про зміну формату колірної субдискретизації (наприклад, з формату 4: 2: 2 в 4: 4: 4).

Такий підхід дозволить значно поліпшити якість декомпресованого зображення за рахунок передачі повної інформації з усіх площин колірної моделі YCrCb, однак це може привести до різкого збільшення підсумкової бітової швидкості оброблюваного кадру.

Розглянемо випадок, коли підсумкова бітова швидкість $V(t)_{\text{comp}}$ вища від необхідної: $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$.

Тут механізм управління характеристиками інтенсивності відеопотоку визначає наступний порядок виконання основних операцій (рис. 7.13):

1. Збільшення $QF(C_a)$ для кольорорізнисних складових;
2. Збільшення $QF(Y)$ для складової яскравості;
3. Зменшення $\Delta D(C_a)$ для кольорорізнисних складових;
4. Зменшення $\Delta D(Y)$ для складової яскравості.

Значення чинників якості $QF(Y)$, $QF(C_a)$ та порогів $\Delta D(Y)$, $\Delta D(C_a)$ можуть збільшуватися або зменшуватися відповідно тільки до заданих значень:

$$QF(Y) \leq QF_{\text{max}}, QF(C_a) \leq QF_{\text{max}}; \Delta D(Y) \geq \Delta D_{\text{min}}, \Delta D(C_a) \geq \Delta D_{\text{min}}.$$

У разі якщо знаходження оптимального поєднання параметрів компресії з безліччю можливих не дозволив знизити бітову швидкість до необхідного значення: $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$, то відповідно до методу управління приймається рішення про зміну формату колірної субдискретизації (наприклад з формату 4: 2: 2 в 4: 1: 1), що дозволить значно знизити обсяг даних, які припадають на кольорорізнисні складові.

Оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ проводиться після зміни кожного параметра до тих пір, поки $V(t)_{\text{comp}}$ не стане менше необхідного значення $V(t)_{\text{comp}} < V_{\text{req}}$.

Якщо після всіх змін не вдалося досягти заданої швидкості протягом часу обробки, який було відведено на компресію одного кадру, то може бути прийнято рішення про пропуск поточного P-кадру.

Таким чином, розроблено загальний метод управління інтенсивністю відеопотоку, який дозволяє виконувати її корекцію відповідно до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення. Розроблений метод враховує наступні ознаки:

1) застосовується диференціальна обробка блоків, які обираються по заданій межі, яка показує міру інформативності поточного блоку, її алгоритм описаний в [184];

2) в процесі роботи алгоритму компресії виконується зміна наступних параметрів: колірної субдискретизації, порога інформативності, а також фактора якості. Механізм комбінування обраних параметрів складено таким чином, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. Це дозволяє швидко адаптуватися до пропускну здатності каналу зв'язку та обирати якість переданого зображення;

3) для обробки яркісної та кольорорізнисних складових кадру відповідно до розроблюваного методу значення порога та фактора якості будуть обиратися меншими для складової яскравості в порівнянні з кольорорізнисними. Це призводить до того, що яркосна складова кадру оброблюється з кращою якістю ніж кольорорізнисні.

Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданій якості будуть змінюватися параметри факторів якості та порогів таким чином, щоб обрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволить використовувати розроблений метод в режимі часу близькому до реального. Таким чином, реалізована можливість контролю та корекції значень середньоквадратичної помилки та бітової швидкості в процесі обробки P-кадру.

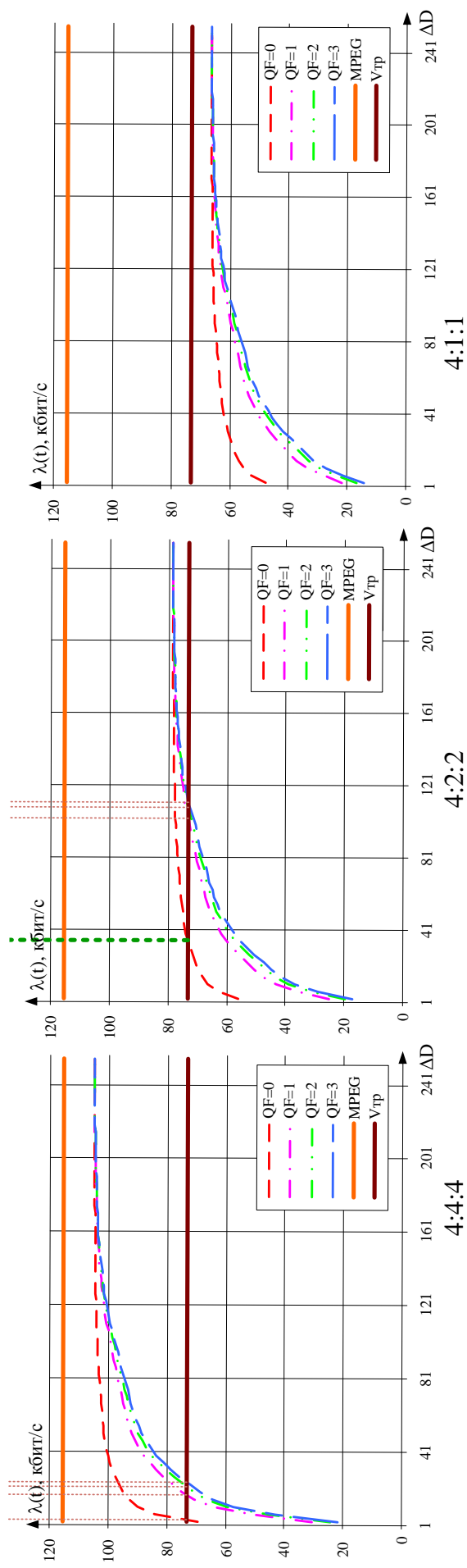
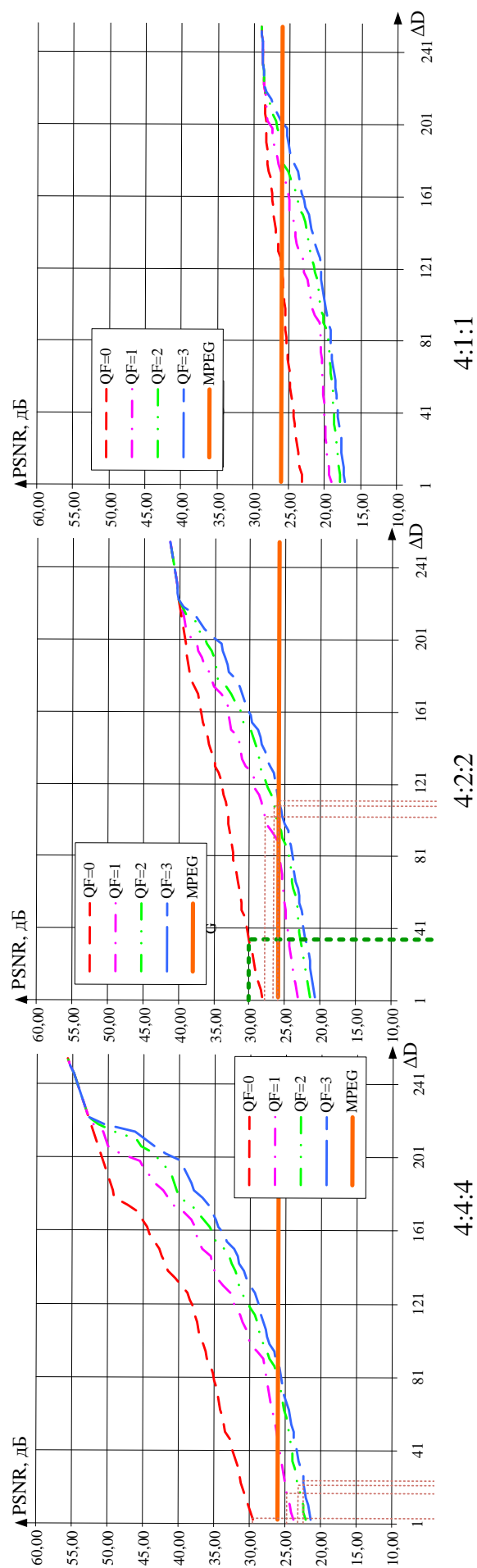
Для порівняння розробленого методу управління інтенсивністю з існуючими вихідний відеопотік оброблено стандартним кодеком з

характеристиками переданих відеопотоків [54]:

- розмір кадру 1280x720 пікселів;
- відеокодек H.264 зі змінною бітовою швидкістю (VBR);
- частота проходження кадрів - 30 кадрів / с.

З отриманих даних взяті усереднені максимальні показники бітрейта, так як вони грають величезне значення при перевантаженнях та втратах (середнє максимальнє значення інтенсивності відеопотоку для MPEG склало 1,153 Мбіт/с, середнє значення, при якому відсутні перевантаження, визначено як вимагаєме $\lambda_{тр} = 733,6$ Кбіт/с). Аналогічні операції проведені також з використанням розробленого методу кодування та управління. В результаті були розраховані та побудовані залежності інтенсивності ($\lambda(T)$) та пікового відношення сигнал / шум (PSNR) від порога (ΔD) Для різних значень фактора якості (QF), при форматах субдискретізації 4: 1: 1, 4: 2: 2 і 4: 4: 4 (рис. 7.13-7.14).

За мінімальну межу для пікового відношення сигнал / шум було взято значення рівне 26 дБ.



З отриманих результатів можна зробити висновок, що найбільш оптимальним для обробки Р-кадрів є формат колірної субдискретизації 4: 2: 2, при якому для фактора якості (крок квантування) = 0 та порозі прийняття рішення = 33 з 255 можливих забезпечується:

- виграш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому на 36% по відношенню до стандарту MPEG;

- заданий рівень інтенсивності в процесі її управління для більш високих показників якості, яка визначається параметром PSNR, на рівні 30 дБ, що в середньому на 16% краще за стандарт MPEG.

7.5 Оцінка впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах

Одним з важливих параметром для комп'ютерної мережі спеціального призначення є затримка t_p від джерела до одержувача [190, 264, 265]:

$$t_p = t_{\text{пакет}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{core}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{буф}},$$

де $t_{\text{пакет}}$ – час пакетизації (час формування кадру, куди входять час накопичення необхідного для передачі обсягу даних, виявлення напрямку передачі, розрахунок контрольної суми, додавання ключових полів);

$t_{\text{ад}}$ – час затримки при транспортуванні в мережі доступу (затримка поширення по каналах зв'язку);

t_{core} – час затримки при поширенні в транзитній мережі (час обробки на вузлах комутації транзитної мережі);

$t_{\text{буф}}$ – час затримки в приймальному буфері одержувача.

Припустимо, що затримка мережі доступу не повинна перевищувати 5 мс. Час обробки заголовка IP-пакета наближається до постійного. Розподіл інтервалів між надходженнями пакетів відповідає експоненціальному закону. Тому для опису процесу, який відбувається на маршрутизаторі, можна скористатися моделлю M/G/1, де (за кодуванням, яке запропонував Кендалл) M – інтервали між надходженнями заявок розподілені по показовому закону; G – час обслуговування заявок розподілено за тим самим законом, може бути довільним, тривалості обслуговування незалежні випадкові величини; 1 – модель має тільки один пристрій для обслуговування.

Для моделі M/G/1 відома формула, яка визначає середній час обслуговування в пристрої комутації для j-го джерела (формула Полячека - Хинчина) [266, 267]:

$$\bar{t}_{\text{adj}} = \frac{\tau_j \cdot (1 + C_b^2)}{2 \cdot (1 - \lambda_j \cdot \tau_j)}, \quad (7.15)$$

де τ_j – середня тривалість обслуговування одного пакета від j-го джерела пристроєм комутації;

C_b^2 – квадрат коефіцієнта варіації, $C_b^2 \approx 0,2$;

λ_j – середня інтенсивність вхідного потоку від j-го джерела;

\bar{t}_{adj} – середній час затримки пакета в мережі доступу, $\bar{t} = 0,005$ с.

Середня тривалість обслуговування одного пакета в пристрої комутації величина постійна та залежить від продуктивності цього пристрою. Тоді з формули (7.15) витікає залежність для середньої тривалості обслуговування одного пакета від середнього часу затримки в мережі доступу:

$$\tau_j = \frac{1}{\lambda_j + \frac{1 + C_b^2}{2 \cdot \bar{t}_{\text{adj}}}}.$$

Очевидно, що середня тривалість обслуговування одного пакета буде тим вище, чим вище середній час затримки в мережі доступу (рис. 7.16).

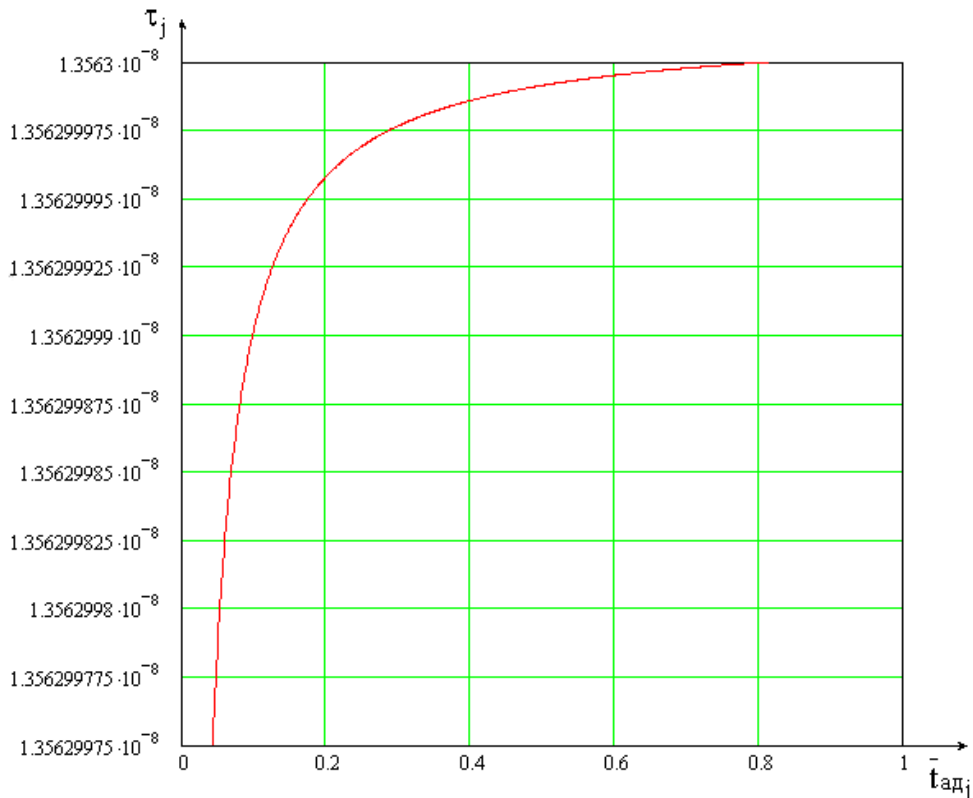


Рисунок 7.16 – Залежність середньої тривалості обслуговування одного пакета від середнього часу затримки в мережі доступу

Такий характер графіка визначається тим, що комутаційне обладнання, яке застосовується, має обмеження за часом обслуговування t_a , відповідно, пакет, який надходить на обробку, не може бути обслужений раніше зазначеного терміну.

При розрахунку середньої тривалості обслуговування одного пакета маємо:

$$\tau_{j\lambda} = \tau_{j\max} - \tau_j, \quad (7.16)$$

де $\tau_{j\max}$ – максимальна тривалість обслуговування одного пакета.

Формування навантаження, яке надходить в канал зв'язку, здійснюється джерелом. Воно, виходячи від отриманого обсягу даних необхідних для

передачі, формує вихідні пакети даних. Виходячи зі швидкості формування пакетів та технологічних особливостей комп'ютерної мережі спеціального призначення (значення коефіцієнта використання каналу зв'язку), інтенсивність навантаження знаходиться в межах від 0 (передача відсутня) до значення пропускної спроможності каналу зв'язку (канал зв'язку повністю зайнятий під передачу даних). Залежно від обсягу даних, які джерелу необхідно передати, а так само від швидкості надходження з боку джерела повідомлення, швидкості обробки кодера повідомлень та кодера каналу відбувається формування пакетів, які передаються через канал зв'язку в мережу доступу. Отже, інтенсивність формування пакетів буде повністю визначена тією швидкістю, отриманою при сукупній обробці в кодері повідомлень і кодері каналу на стороні джерела інформації.

Якщо розглядати ситуацію, при якій джерело передає відеоінформаційний ресурс, використовуючи високу швидкість генерації пакетів, наближену до пропускної спроможності каналу зв'язку, то для технології з пропускною спроможністю 100 Мбіт/с наприклад Fast Ethernet, інтенсивність трафіку складе $100 \cdot 10^6 \cdot 0,96 = 96 \cdot 10^6$ Мбіт/с., де 0,96 – коефіцієнт використання каналу комп'ютерної мережі СП.

Розглянемо характер процесу можливої затримки при обробці пакетів у комп'ютерній мережі спеціального призначення. Черга пакетів, які необхідно обробити, зростає до тих пір, поки не переповниться буферний пристрій обробленого вузла. Переповнення буферного пристрою може статися через високу інтенсивність навантаження, яке надходять на вхід від джерел, яка більша за швидкість обробки пристрою комутації. У разі переповнення відбувається втрата пакетів, так як пакети, які надійшли, знову не можуть бути записані в буферний пристрій. При цьому вважається, що система обробляє пакети, що надійшли з буферного пристрою з максимально допустимою швидкістю, якій відповідає тривалість обслуговування одного пакету $\tau_{j\max}$. Зупинимось на граничній умові, коли інтенсивність

навантаження, яке надходить, буде еквівалентне навантаженню, яке здатне обслуговувати комутаційна система. При цьому втрати будуть відсутні, так як розмір черги буде постійним, і буферний пристрій не є схильним до переповнення.

Використання запропонованого методу дозволяє зменшити інтенсивність відеінформаційного ресурсу до необхідного значення, а, отже, зменшити кількість сформованих пакетів, зменшуючи при цьому затримку пакетування. Залежність затримки очікування в черзі від інтенсивності вхідного відеопотоку λ_j з урахуванням формули (7.15) визначається як:

$$\lambda_j = d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1},$$

де d_j – обсяг біт даних, який передається від j -го джерела в каналі комп'ютерної мережі спеціального призначення, [біт];

d_1 – розмір пакета, [біт];

d_{1cp} – усереднений розмір поля даних пакета, [біт];

d_2 – розмір службової частини пакета, [біт];

d_3 – розмір інтервалу між пакетами, [біт].

Так як вузол комутації мережі доступу будується для обслуговування декількох джерел повідомлень, то для групи пакетів, які формуються від кількох джерел, середню тривалість обслуговування можна визначити як $\tau_{jn\lambda} = \tau_{j\lambda} \cdot n_j$, де n_j – кількість пакетів в групі.

Залежність середньої тривалості обслуговування групи пакетів від інтенсивності відеопотоку визначається таким чином:

$$\tau_{jn\lambda} = \tau_{j\lambda} \cdot n_j = (\tau_{jmax} - \tau_j) \cdot n_j = \left(\tau_{jmax} - d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1} \right) \cdot n_j.$$

Коефіцієнт використання вузла комутації ρ показує, наскільки завантажений вузол комутації обробкою даних, які надходять від джерел та визначає його можливість до збільшення навантаження, що постійно збільшується. Іншими словами, коефіцієнт показує резерв з обробки даних, поява яких може очікуватися $(1 - \rho)$:

$$\rho = \lambda_j \cdot \tau_{\lambda_j} = d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1} \cdot \tau_{\lambda_j}. \quad (7.17)$$

Формула (7.17) орієнтована для умов високого завантаження вузла комутації. Тому для його розвантаження використовують значення $\rho = 0,5$ від номінальної продуктивності, тобто $\rho' = \rho \cdot 0,5$.

Істотне зниження часу затримки на вузлі доступу досягається при малих значеннях коефіцієнта компресії. Надалі приріст скорочення часу затримки зменшується експоненціально до значення, відповідного продуктивності вузла комутації. Однак це не означає, що внаслідок малого приросту скорочення часу затримки доцільно зупинятися на малих значеннях коефіцієнта компресії. Оскільки початкові умови для постановки задачі визначалися граничними умовами, при яких інтенсивність, що надходить на вхід вузла доступу інформаційного потоку, дорівнює його максимальній продуктивності. При збільшенні інтенсивності вхідного потоку необхідне підвищення коефіцієнта компресії.

Як приклад, наведемо розрахунок тривалості затримки на вузлі доступу для мережі WiFi від інтенсивності відеопотоку ($\tau_{jn\lambda_{WiFi}}(\lambda_j)$):

$$\tau_{jn\lambda_{WiFi}}(\lambda_j) = \left(\tau_{j\max_{WiFi}} - \frac{1}{\frac{d_{1cp}}{\left(\frac{d_{1cp}}{d_{inf\ 1nWiFi}} + 1\right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})} + \frac{1 + C_b^2}{2 \cdot t_i}} \right) \cdot n_j, \quad (7.18)$$

де $\tau_{j\max \text{ WiFi}}$ – максимальний час затримки на вузлі доступу WiFi мережі

($\tau_{j\max \text{ WiFi}} = 1,71 \cdot 10^{-6}$ с);

$d_{\text{inf 1nWiFi}}$ – розмір інформаційної частини пакету
($d_{\text{inf 1nWiFi}} = 18720$ бит);

$t_{1\text{WiFi}}$ – часовий інтервал передачі інформаційної частини пакету в бітових інтервалах ($t_{1\text{WiFi}} = 18720$ bt);

$t_{2\text{WiFi}}$ – часовий інтервал передачі службової частини пакету в бітових інтервалах ($t_{2\text{WiFi}} = 224$ bt);

$t_{3\text{WiFi}}$ – міжкадровий часовий інтервал в бітових інтервалах
($t_{3\text{WiFi}} = 36434$ bt).

Наведена на рис. 7.17 залежність характеризує зменшення затримки на вузлі доступу для очікуючих в черзі на обробку інформаційних пакетів користувачів. Це досягається внаслідок зменшення обсягу переданих даних і кількості формуємих для цього пакетів. Зі збільшенням коефіцієнта компресії в стільки ж разів буде зменшуватися як необхідний обсяг даних, так і кількість сформованих для передачі пакетів. Отже, зі збільшенням коефіцієнта компресії затримка на вузлі доступу буде знижуватися і далі наближаючись до значення обернено пропорційному значенню продуктивності за пропускнуою спроможністю вузла доступу.

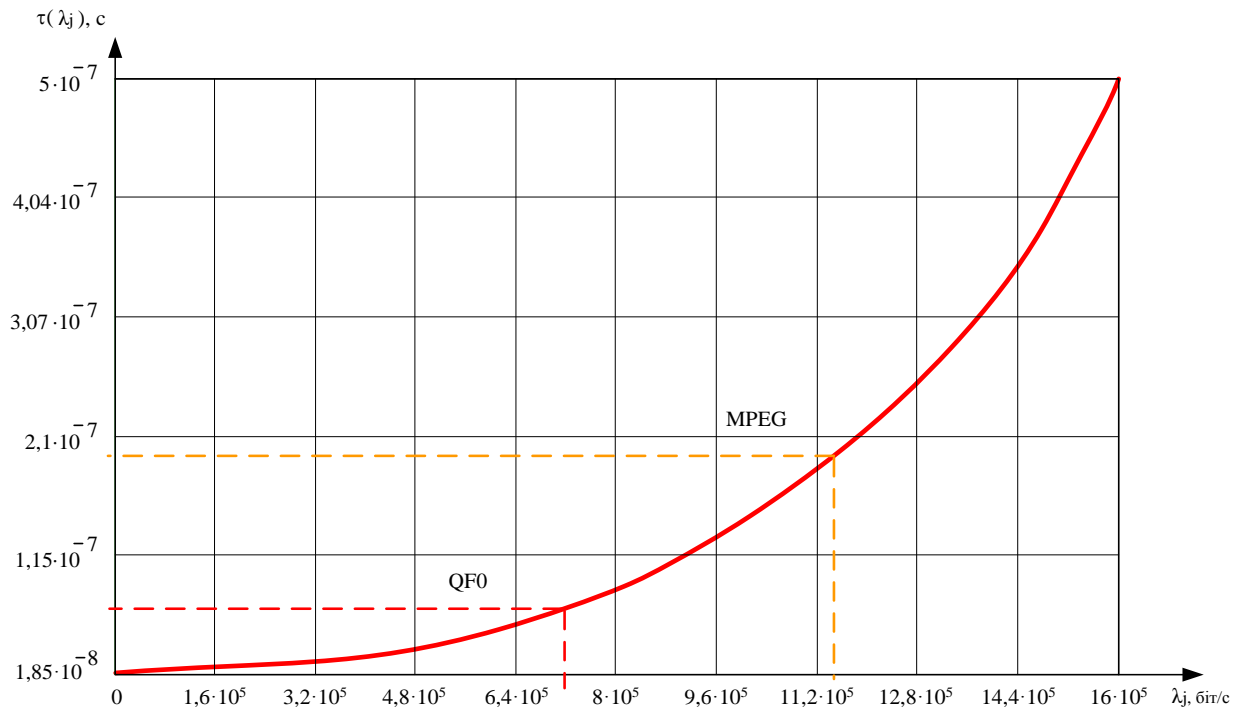


Рисунок 7.17 – Залежність середньої тривалості обслуговування групи пакетів від інтенсивності відеопотоку

Коефіцієнт використання вузла доступу $\rho(\lambda_j)$, наведений на рис. 7.18, дорівнює:

$$\rho(\lambda_j) = \lambda_j \cdot \tau_{\lambda_j \text{WiFi}} = \frac{d_{1cp}}{\left(\left\lfloor \frac{d_{1cp}}{d_{inf \text{WiFi}}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot (t_{1\text{WiFi}} + t_{2\text{WiFi}} + t_{3\text{WiFi}})} \cdot \tau_{\lambda_j \text{WiFi}} \quad (7.19)$$

Відповідно, при тих самих умовах, на підставі яких були отримані залежності затримки на вузлі доступу, побудуємо залежності ймовірності втрат пакетів $P(\lambda_j)$ на вузлі комутації (рис. 7.19).

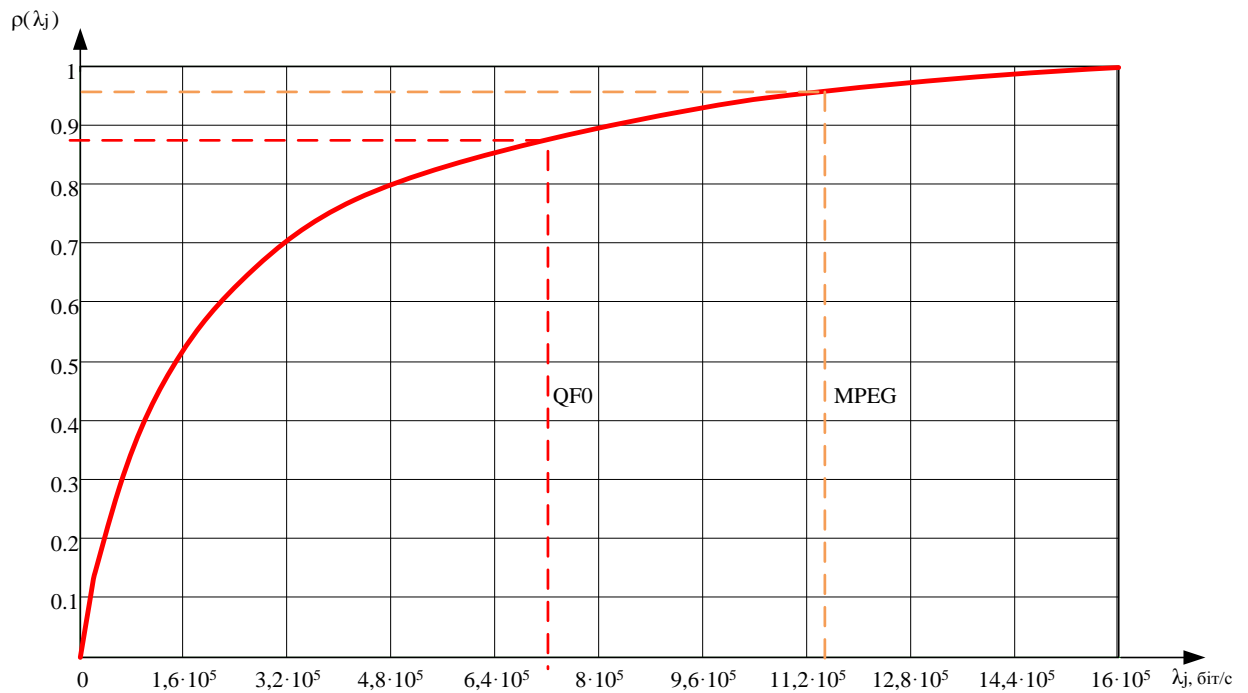


Рисунок 7.18 – Залежність коефіцієнта використання вузла комутації від інтенсивності відеопотоку

Імовірність втрат пакетів на вузлі доступу $P_0(\lambda_j)$ дорівнює:

$$P_0(\lambda_j) = \frac{1 - \left(\left\lfloor \frac{d_{1cp}}{d_{inf \ln WiFi}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})}{\mu} \cdot \left(\frac{\left(\left\lfloor \frac{d_{1cp}}{d_{inf \ln WiFi}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})}{\mu} \right)^{Nu+1}. \quad (7.20)$$

Одним з можливих механізмів зниження значень імовірності втрат є збільшення розміру буферної пам'яті на вузлі доступу, що дійсно зменшує імовірність втрат. Однак при збереженні колишніх тенденцій зростання переданих обсягів трафіку розмір буферної пам'яті практично перестає грати істотну роль. Зі збільшенням обсягу буферної пам'яті підвищується час

обробки пакетів, а отже, і час затримки передачі за рахунок очікування обробки на обслуговуючому елементі.

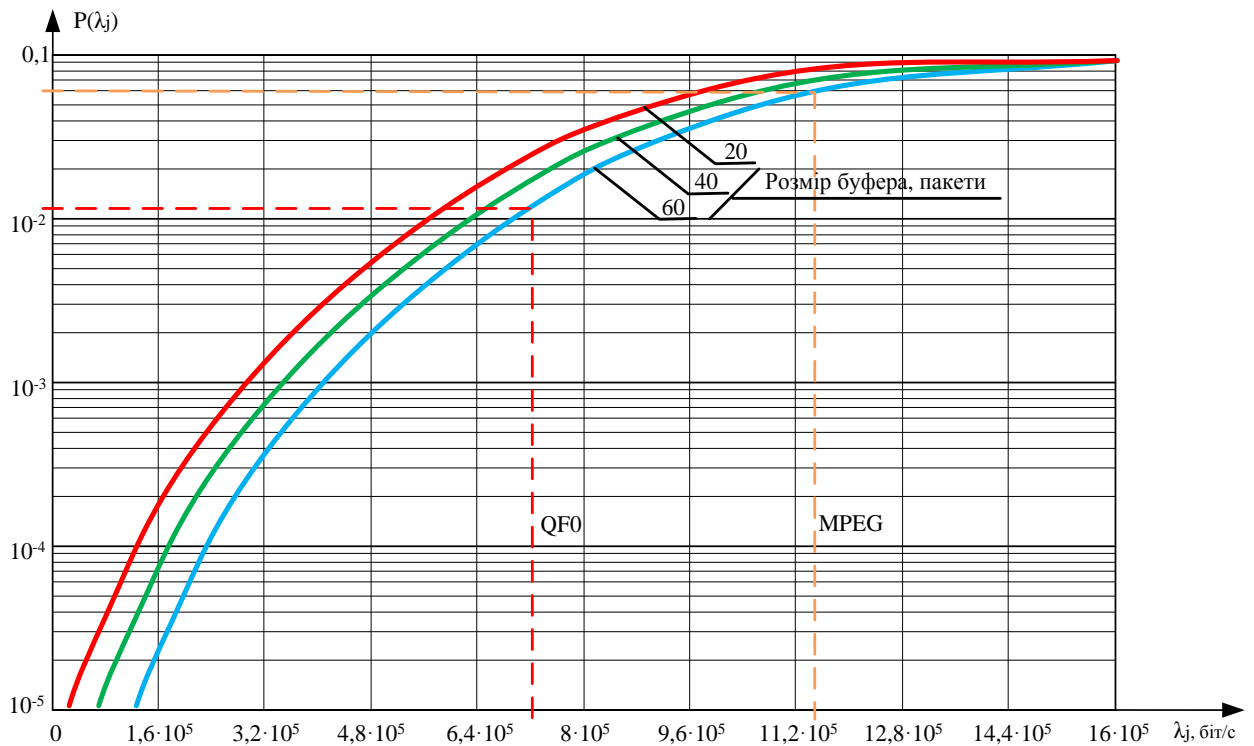


Рисунок 7.19 – Залежності ймовірності втрат пакетів від інтенсивності відеопотоку

Очевидно, що при використанні розробленого методу компресії до переданої по мережі відеоінформації характеристики КСМ спеціального призначення істотно покращаться. Це дозволить підвищити своєчасність доставки пакетів до кінцевого користувача або вивільнити ресурси комп'ютерних систем та мереж СП для обслуговування додаткового навантаження з необхідною якістю.

З урахуванням рис. 7.17-7.19 можна зробити висновок, що розроблений метод управління забезпечує:

- скорочення часу передачі відеоданих від джерела до одержувача в середньому на 23% для технології Wi-Fi;

- зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 8% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;

- зменшення імовірності втрат пакетів в середньому в 6 разів порівняно зі стандартом MPEG.

Для повної оцінки ефективності розробленого методу, також проведемо порівняння складності алгоритмічної реалізації процесів компресії за типом арифметики та кількості типових операцій, які витрачаються на обробку. Розглянемо всі етапи обробки відеопотоку для розробленого методу компресії.

Перший етап пов'язаний з формуванням блоків Р-кадру для складових колірної моделі із застосуванням заданого формату субдискретизації.

На другому етапі проводиться адаптивне кодування з прогнозом, на підставі чого формуються різницеві матриці.

На наступному етапі проводиться порівняння функціоналу, який визначає інформативність матриці, з порогом прийняття рішень та блоку присвоюється тип подальшої обробки - I або P.

Далі для I-блоків виконуються процедури попередньої трансформації на основі двовимірного дискретного косинусного перетворення, отримані значення квантуються та формується n-елементний вектор на базі зигзаг-сканування.

На останньому етапі проводиться блочне кодування різницевих значень P-блоків та трансформованих I-блоків.

Сумарна кількість операцій залежно від їх типів, яку необхідно виконати з використанням створеного методу для всього кадру, наведено в табл. 7.2. Враховано, що кількість блоків n для кадру розміром $M \times N$ елементів дорівнюватиме $(M \times N / n^2)$. Параметр k показує кількість блоків, які оброблялися повторно з урахуванням зміни типу блоку.

Таблиця 7.2 – Кількість операцій при обробці відеопотоку для MPEG та розробленого методів

Метод компресії	Кількість операцій додавання/віднімання	Тип операцій	Кількість операцій добуток / ділення	Тип операцій
MPEG				
Блок $M \times N$	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний
	$12M \times N$	цілочисельний	-	-
Всього	$2M \times N \log_2 n^2 + 12M \times N$	змішаний	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний
Розроблений метод				
Блок $M \times N$	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2$	дійсний	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2$	дійсний
	$12M \times N$	цілочисельний	$8M \times N$	цілочисельний
Всього	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2 + 12M \times N$	змішаний	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2 + 8M \times N$	дійсний

З урахуванням табл. 7.2 для заданої розмірності відео 1280·1024 пікселів для розробленого методу компресії кількість математичних операцій дорівнюватиме $1,17 \cdot 10^6$, а для стандарту MPEG – $1,229 \cdot 10^6$. Значить, розроблений метод управління забезпечує скорочення часу обробки

відеопотоку в середньому на 5% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 7

Розроблено метод управління бітової швидкістю, який дозволяє проводити корекцію інтенсивності відеопотоку відповідно до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення. Розроблений метод враховує такі механізми:

1) застосовується диференціальна обробка блоків, яка обирається по заданій межі та показує міру інформативності поточного блоку;

2) в процесі роботи алгоритму компресії проводиться зміна наступних параметрів: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень, а також фактора якості. Механізм комбінування ораних параметрів складено таким чином, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. Це дозволяє швидко адаптуватися до пропускнуої спроможності каналу зв'язку і вибирати якість переданого зображення;

3) для обробки яркісної та кольорорізнисних складових кадру відповідно до розробляємим методом значення порога та фактора якості будуть обиратися меншими для складової яскравості в порівнянні з кольорорізнисними. Таким чином, яркісна складова кадру зменшується з кращою якістю ніж кольорорізнисні в середньому на 70%.

Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданій якості будуть змінюватися параметри факторів якості та порогів таким чином, щоб обрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволить використовувати розроблений метод в режимі часу близькому до реального.

Таким чином, реалізована можливість контролю та корекції значень середньоквадратичної помилки та бітової швидкості в процесі обробки Р-кадру.

Проведені порівняльні характеристики показали, що найбільш оптимальним для обробки Р-кадрів є формат колірної субдискретизації 4: 2: 2, при якому для фактора якості (крок квантування), який дорівнює нулю та порозі прийняття рішення рівному 33 з 255 можливих значень забезпечується:

- вигреш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому на 36% по відношенню до стандарту MPEG;

- заданий рівень інтенсивності в процесі її управління для більш високих показників якості, яке визначається параметром PSNR на рівні 30 дБ, що в середньому на 16% краще стандарту MPEG;

- забезпечується скорочення часу передачі відеоданих від джерела до одержувача в середньому на 23% для технології Wi-Fi;

- забезпечується зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 8% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;

- забезпечується скорочення часу обробки відеопотоку в середньому на 5% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG;

- забезпечується зменшення ймовірності втрат пакетів в середньому в 6 разів в порівнянні зі стандартом MPEG.

Результати досліджень сьомого розділу опубліковані в роботах [47, 49, 61, 64, 65, 170, 174, 180, 184, 190].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова проблема підвищення якості відеоінформаційного сервісу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення. Це досягається за рахунок розробки методу управління бітовою швидкістю відеотрафіка на кінцевих вузлах комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення, що дозволяє знизити інтенсивність відеопотоку при необхідній якості надання відеоінформаційних послуг, а також забезпечує розвантаження вузлів комутації комп'ютерної мережі спеціального призначення.

В процесі проведення досліджень при обробці прогнозованих кадрів з форматом колірної субдискретизації 4: 2: 2 при значеннях фактора якості $QF = 0$ та порога прийняття рішення $\Delta D = 33$ з 255 можливих отримані наступні основні науково-практичні результати:

- створено метод обробки відеопотоку на основі кодування прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, що дозволяє зменшити обсяг переданих даних в середньому в 3 рази. Це забезпечує вигреш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому від 18% до 40% по відношенню до стандарту MPEG;

- вдосконалено метод формування компактного представлення сегментованих зображень, що відрізняється від відомих процесом побудови кодограм з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину кодограми та забезпечує компресію в режимі обмежених значень фактора втрати якості. Це забезпечує скорочення часу передачі відеоданих від джерела до приймача в середньому від 15% до 25% для технології Wi-Fi;

- модифіковано метод обробки кадрів відеопотоку на основі трансформування, що відрізняється від відомих компактним поданням трансформанти в результаті рекурентного дворівневого кодування, що дозволяє організувати реконструкцію зображень за зменшеною кількістю операцій та підвищити оперативність надання ВІС. Заданий рівень інтенсивності в процесі управління для більш високих показників якості, який визначається параметром PSNR, на рівні приблизно 35 дБ. Це в середньому на 19% краще стандарту MPEG;

- розроблено метод компресії відеопотоку динамічних зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових, що дозволяє врахувати структурні особливості диференціального кадру та підвищити якість та повноту надання ВІС. Це надає можливість усунення надмірності на джерелі інформаційного ресурсу в режимі часу близькому до реального з урахування обмежених можливостей з обробки;

- удосконалено метод обробки динамічної складової диференційно-представлених кадрів, що відрізняється від відомих побудовою позиційних чисел з адаптивним вибором значень основ та дозволяє збільшити ступінь компресії двійкової маски диференційно-представленого кадру та оперативність надання ВІС. Це дозволило зменшити коефіцієнт використання вузла комутації в середньому на 10% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;

- удосконалено метод компактного представлення службових даних, що відрізняється від відомих застосуванням структурної подібності матриці показників знаків і матриці двійкової маски та дозволяє враховувати структурну подібність відеопотоку та якість надання ВІС. Це призводить до скорочення часу обробки відеопотоку в середньому на 7% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG;

- розроблено метод представлення службових даних диференційно-представленого кадру, який дозволяє побудувати адаптивну систему управління бітовою швидкістю відеопотоку в комп'ютерних системах та

мережах з низькою пропускнуою здатністю каналу для підвищення якості та повноти надання ВІС. Це дозволило зменшити ймовірності втрати пакетів в середньому від 5 до 7 разів у порівнянні зі стандартом MPEG. Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданій якості змінюються параметри якості обробки кольорорізнисних складових та їх порогів таким чином, щоб обрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволило використовувати розроблений метод у масштабі часу, близькому до реального.

Практична значимість отриманих результатів дисертації підтверджена їх використанням при виконанні держбюджетних НДР шифр «Моніторинг», шифр «Око», шифр «Палітра», при постановці навчальних дисциплін «Комп'ютерні інформаційні системи та технології» і «Комп'ютерні мережі» та актами впровадження:

у військовій частині А1215 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 23.12.2019 року);

у Харківському регіональному структурному підрозділі «Украерорух» (акт впровадження дисертаційних досліджень від 13.07.2020 року);

у військовій частині А4608 (акт впровадження дисертаційних досліджень від 17.07.2020 року).

Таким чином, реалізована можливість контролю та корекції значень середньоквадратичної помилки і бітової швидкості в процесі обробки прогнозованого кадру. При якій досягається зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 9% при максимальній інтенсивності відеотрафіка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agrawal S. Survey on Anomaly Detection using Data Mining Techniques /S. Agrawal // *Procedia Computer Science*. – 2015 – vol. 60 – P. 708–713.
2. Alhihi M. Method of Distribution Network Resources after Restoration, the Networks MPLS-TE Use of Various Telecommunications Technologies to Construct Backbone Networks. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*. 2017. Vol. 10. Pp. 251-260.
3. Amitava M. An adaptive exponentially weighted moving average-type control chart to monitor the process mean / M. Amitava // *European Journal of Operational Research*. –Volume 279.– Issue 3.– 16 December, 2019,– P. 902-911.
4. Anderson D., Cleveland W., Xi B. Multifractal and Gaussian fractional sum-difference models for Internet traffic. *Performance Evaluation*. 2017. No. 107. Pp. 1-33.
5. Andrews M., Zhang L. Rate-adaptive weighted fair queueing for energy-aware scheduling. *Information Processing Letters*. 2014. Vol. 114(5). Pp.247-251.
6. Angrishi K. An end-to-end stochastic network calculus with effective bandwidth and effective capacity. *Computer Networks*. 2013. Vol. 57(1). P. 78-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2012.09.003>.
7. Best Network Monitoring Tools and Software of 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comparitech.com/net-admin/network-monitoring-tools>.
8. Bogdan P., Marculescu R. Non-stationary traffic analysis and its implications on multicore platform design. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. 2011. No. 30. Pp. 508-519.
9. Cai H., Eun D., Ha S., Rhee I., Xu L. Stochastic ordering for internet congestion control and its applications. *Proceedings of the 26th IEEE International*

Conference on Computer Communications (May 6-12, 2007, Anchorage). Anchorage, USA, 2007. Pp. 910-918.

10. Chan C., Armony M., Bambos N. Maximum weight matching with hysteresis in overloaded queues with setups. *Queueing Systems: Theory and Applications*. 2016. Vol. 82. Pp. 315-351.

11. Chandola V. Anomaly detection for discrete sequences: A survey/ V. Chandola, A. Banerjee, V. Kumar // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. – 2012. – Vol. 24, №. 5. – P. 823–839.

12. Detector Performance Analysis Using ROC Curves. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.mathworks.com/help/phased/examples/detector-performance-analysis-using-roc-curves.html>.

13. Ding W., Tang L., Ji S. Optimizing routing based on congestion control for wireless sensor networks. *Wireless Networks*. 2015. Vol. 22(3). Pp. 1-11.

14. El-Hassany A., Tsankov P., Vanbever L., Vechev M. Network-wide configuration synthesis. Ithaca: Cornell University, 2016. 24 p. URL: <http://arxiv.org/abs/1611.02537>.

15. El-Sherif A., Mohamed A. Joint routing and resource allocation for delay minimization in cognitive radio based mesh networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2014. Vol. 13(1). Pp. 186-197.

16. Erfani S A randomised nonlinear approach to large-scale anomaly detection/S. Erfani S., Sarah, M. Baktashmotlagh, S. Rajasegarar, S. And e.t.c.] // 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence.– 2015, p. 25–30.

17. Exponentially Weighted Moving Averages [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.math.montana.edu/jobost528/documents/chap9d.pdf>.

18. Feinberg E.A. and . Shwartz A. *Handbook of Markov Decision Processes*. – Kluwer, Boston, MA, 2002. – 562 p.

19. Fiems D., Dorsman J., Rogiest W. Analysing queueing behaviour in void-avoiding fibre-loop optical buffers. *Performance Evaluation*. 2016. Vol. 103. Pp. 23-40.

20. Fradkin D., Support Vector Machines for Classification/ Fradkin, Dmitriy; and Muchnik, Ilya: DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science.– 2006,– v.70.– P. 13–20.
21. Fraleigh C., Tobagi F., Diot C. Provisioning IP backbone networks to support latency sensitive traffic. Proceedings of IEEE INFOCOM 2003 (April 1-3, 2003, San Francisco). San Francisco, California, USA, 2003. Pp. 375-385.
22. Furfaro A., Malena G., Molina L. A simulation model for the analysis of DDOS amplification attacks. Proceedings of the 17th International Conference on Computer Modelling and Simulation (March 25-27, 2015, Cambridge). Cambridge, United Kingdom, 2015. Pp. 267-272.
23. Gelenbe E., Pujolle G. Analysis and synthesis of computer systems. 2nd Edition. Advances in Computer Science and Engineering, 2010. Vol. 4. 309 p.
24. George D., Xia C., Squillante M. Exact-Order Asymptotic Analysis for Closed Queueing Networks. Journal of Applied Probability. 2012. Vol. 49(2). Pp. 503-520.
25. Glisic S. Advanced Wireless Communications: 4G Technologies. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 878 p.
26. Gomez-Corral A., Garcia M. Maximum queue lengths during a fixed time interval in the M/M/c retrial queue. Applied Mathematics and Computation. 2014. Vol. 235. Pp. 124-136.
27. Han. J. Data mining, southeast Asia edition: Concepts and techniques / J. Han, M. Kamber, J. Pei. – Morgan Kaufmann, 2006.– 703 p.
28. Hero A. O. Secure space-time communication // IEEE Transactions on Information Theory. 2003. Vol. 49, No. 12, P. 3235–3249.
29. Honnappa H., Jain R., Ward A. A queueing model with independent arrivals, and its fluid and diffusion limits. Queueing Systems. 2015. Vol. 80(1-2). Pp. 71-103.
30. Huali F., Yuan L. Network traffic prediction based on wavelet analysis and AR-LSSVM. Computer Engineering and Applications. 2011. Vol. 47(20). Pp. 88-90.

31. Intrusion detection and firewall security. Oslo, 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.hioa.no/teaching/materials/MS004A/html/L65.en.pdf>.

32. Jiao Z., Zhang B., Gong W., Mouftah H. A virtual queue-based back-pressure scheduling algorithm for wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2015. Vol. 2015(35). Pp. 1-9.

33. Khurshid A., Zou X., Zhou W., Caesar M., Godfrey P. VeriFlow: Verifying Network-wide Invariants in Real Time. *Proceedings of the 10th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (April 2-5, 2013, Lombard)*. Lombard, IL, USA, 2013. Pp. 15-27.

34. Knight S., Nguyen H., Falkner N., Bowden R., Roughan M. The internet topology zoo. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2011. No. 29. Pp. 1765-1775.

35. Konishi Y., Masuyama H., Kasahara S., Takahashi Y. Performance analysis of dynamic spectrum handoff scheme with variable bandwidth demand of secondary users for cognitive radio networks. *Wireless Networks*. 2013. Vol. 19. Pp. 607-617.

36. Kosenko V. Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2017. No. 1(1). P. 45-51.

37. Larin V. The analys of cyberattacks against the information and telecommunication systems / V. Larin, R. Tarnopolov // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2013; Sevastopol, Crimea; Ukraine; 8 September 2013. — pp. 448 – 449. **ISBN**: 978-966335401-9. **Scopus**

38. Larin V. The methodical base of cryptocompression presentation of videoinformation resorces / V. Larin, S. Sidchenko // 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in

Microelectronics, CADSM 2013: Lviv; Ukraine. — pp. 27 – 28. **ISBN:** 978-966219116-5. **Scopus**

39. Larin V. Analysis of Options for Increasing Secrecy of the Videosystem Resource / V. Larin, S. Sidchenko, R. Tarnopolov // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University Lviv-Slavske, Ukraine February 25 – March 1, 2014. — p. 231.

40. Larin V. Design of steganographic system on the basis of a code container in nonnequilibrium positional base / V. Larin, S. Sidchenko // International Conference TCSET'2015 [Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science] (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University, 2015. — pp. 39 – 41.

41. Larin V. A mathematical model of the process of transferring video / V. Larin, S. Podlesny, A. Hahanova // International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015). — pp. 383 – 385.

42. Larin V. The analysis of template method of video processing / V. Larin, P. Krasnikov, D. Gavrilov // 1st International Conference [«Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)»], (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015). — pp. 80 – 82.

43. Larin V. The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security / V. Larin, I. Tupitsya // IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTTS 2016; Yerevan; Armenia; 14 October 2016. — pp. 77 – 78. **ISBN:** 978-966219116-5. **DOI:** 10.1109/EWDTTS.2016.7807749. **Scopus**

44. Larin V. Method of image segments compression based on two-level local position representation of vectors / V. Larin, A. Alimpiev // 2th International Conference [IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT)], 2017. — pp. 75 – 78.

45. Larin V. A method for constructing a combined compression system and encryption of video data / V. Larin, A. Korotenko, D. Baiush, A. Ivanichenko // Системи озброєння і військова техніка 2(50). – 2017. – X. ХУПС. 2017. - С. 121 - 124.

46. Larin V. Rationale for necessity of improving the protection of operational videoinformation in wireless infocommunication systems / V. Larin, Yu. Riabukha // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — № 4(53). – 2017. – X. ХНУПС. 2017. — С. 54 — 58.

47. Larin V. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems / V. Larin, N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 4, Issue 9, 2018. — pp. 27 — 35. **ISSN:** 17293774. **DOI:** 10.15587/1729-4061.2018.139723. **Scopus.**

48. Larin V. Model of syntactic representation of aerophoto images segments/ V. Larin, A. Krasnorutsky, A. Hahanova, S. Shulgin // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018; Lviv-Slavske; Ukraine; 20 February 2018. — pp. 974 – 977. **ISBN:** 978-153862556-9. **DOI:** 10.1109/TCSET.2018.8336356. **Scopus.**

49. Larin V. The reasoning of necessity enhancing video privacy in conditions of providing the quality of the video information service provided in virtual infocommunication systems / V. Larin, D. Yerema, Y. Bolotska // Системи озброєння і військова техніка 2(35). – X. ХНУПС. 2019. — С. 158 — 162.

50. Larin V. Model and development of plasma technology for the protection of radio-electronic means of laser emission / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, D. Dulenko, V. Kravchenko, O. Golubenko, D. Sorokin, O. Zolotukhin // IJATCSE. - 2019. - № 8 (5). - P. 2429-2433. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/85852019. **Scopus.**

51. Larin V. Influence of ionization source onto macroscopic parameters of the air media in the holes in cops-screens of radio electronic means / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksyuta, O. Ochkurenko // APRN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2019. - № 14 (20). - P. 3566-3571. **ISSN:** 18196608. **Scopus.**

52. Larin V. Protection of board radioelectronic equipment from the destructive powerful electromagnetic radiation with the use of natural technologies / M. Iasechko, O. Turinskyi, M. Burdin, V. Larin, Y. Gnusov // IJETER. - 2019. - № 7 (11). - P. 542-548. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/237112019. **Scopus.**

53. Larin V. Model of Combined Solid Plasma Material for the Protection of Radio-Electronic Means of Optical and Radio Radiation / A. Syrotenko, O. Sotnikov, M. Iasechko, V. Larin // IJATCSE. - 2019. - № 8 (4). - P. 1241-1247.

54. Larin V. The model of a medium for creation of electric hermetic screens of the radio electronic means / M. Iasechko, O. Sotnikov, V. Larin, O. Ochkurenko, D. Maksyuta // IJATCSE. - 2019. - № 8 (2). - P. 300-304. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/32822019. **Scopus.**

55. Larin V. Determining the function of splitting the charged particles of the strongly ionized air environment in the openings of the case-screens of radioelectronic means / M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, // IJATCSE. - 2019. - № 8 (13). - P. 19-23. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019. **Scopus.**

56. Larin V. Formalized Model Descriptions Of Modified Solid-State Plasma-Like Materials To Protect Radio-Electronic Means From The Effects Of Electromagnetic Radiation / M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, S. Salkutsan, L. Mikhailova, O. Kozak // IJATCSE. - 2019. - № 8 (3). - P. 393-398. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/09832019. **Scopus.**

57. Larin V. Determination of requirements for the protection of radio-electronic equipment from the terroristic influence by electromagnetic radiation / M. Iasechko, Y. Gnusov, I. Manzhai, O. Uhrovetskyi, V. Manoylo, A. Iesipov, O. Zaitsev, M. Volk, O. Vovk // IJETER. - 2019. - № 7 (12). - P. 772-777.

58. Larin V. Model description of the modified solid state plasma material for electromagnetic radiation protection / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksiuta, O. Ochkurenko, I. Krasnoshapka, Y. Samsonov, H. Lyashenko, A. Zinchenko, R. Vozniak // IJETER. — 2019. — № 7 (10). — P. 376—382. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/027102019. **Scopus.**

59. Larin V. Conditions for reliable transmission of information over long distances using a powerful electromagnetic radiation / M. Iasechko, M. Mozhaiev, I. Manzhai, M. Volk, V. Manoylo, O. Ochkurenko, D. Maksiuta, V. Larin, A. Markov, O. Kostyria // IJETER. - 2020. - № 8 (1). - P. 138-144. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/18812020. **Scopus.**

60. Larin V. Estimation of the influence of the nonequilibrium state of the electronic subsystem and the dispersion properties of a solid-state plasma medium in the conditions of decay instability on the reflection of laser radiation / O. Tymochko, O. Kolodiazhnyi, V. Larin, O. Rybkin, V. Patalakha, V. Mazharov, N. Benyk, A. Heilyk, M. Mozhaiev // IJETER. - 2020. - № 8 (2). - P. 568-573. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/47822020. **Scopus.**

61. Larin V. The Investigation of the Impulse Evolution of the Radio-Frequency and Optical Radiation During the Interaction With the Solid-State Plasma Media On Radioisotope and Hexaferrite Inclusions / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, T. Prokopenko, O. Kolmohorov, O. Salash, V. Tarshyn // IJETER. — 2020. — 8(4). — pp. 1333 – 1337. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/64842020. **Scopus.**

62. Larin V. The characteristics evaluation of securing videoinformation process for wireless system / V. Larin, D. Zhuikov, V. Dokuchaev, A. Liuti, A. Abdalla // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 16 міжнародна наукова конференція ХНУПС 15-16 квітня 2020 р. – Харків, 2020 тези допов. — С. 410.

63. Volodymyr Larin. Development of an advanced method of video information resource compression in navigation and traffic control systems. / Serhii Yevseiev, Ahmed Abdalla, Serhii Osiiivskyi and others. All – 5 authors. //

EUREKA: Physics and Engineering. No. 5 (2020), pp. 31-42. – ISSN 24614254.

DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001405. **Scopus.**

64. V.Larin. Method of coding predictable frames with the account of management mechanisms for improving the quality of video information's service./ O.Tymochko, A. Liuti, A. Abdalla // Системи управління, навігації та зв'язку. 4(62). – П. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2020, С. 69-72.

65. V.Larin. Method of processing video information resource for aircraft navigation systems and motion control. / O.Tymochko, S. Osiiievskyi // Сучасні інформаційні системи. X. – Том 4, № 2 (2020), с. 140-145.

66. V.Larin. The method of the compact video frames representation, which are presented in a differential form in computer systems. / M. Pavlenko, A. Abdalla, P. Open'ko // Збірник наукових праць ХНУПС 4(66). – X. ХНУПС. 2020, С. 79-84.

67. V.Larin. Development of an advanced method for compressing the dynamic component of a differential-represented frame. / O.Tymochko, I. Sheviakov, A. Abdalla// Телекомунікаційні та інформаційні технології. 3(68). – К. ДУТ. 2020, С. 67-83.

68. V.Larin. Improved method of coding predictable frames with the account of management mechanisms in computer systems. / M. Pavlenko, O.Tymochko // Monograph. - Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. – Poland. 2020, P. 167-174.

69. V.Larin. The video processing features research in computer systems and special purpose networks. / E. Kazakov, I. Sheviakov, A. Abdalla // Системи озброєння і військова техніка 4(64). – X. ХУПС. 2020. — С. 111 — 119.

70. V.Larin. Investigation of the mechanism for processing predicted frames in the technology of compression of transformed images in computer systems and special purpose networks. / O.Tymochko, I. Sheviakov, A. Abdalla // Системи обробки інформації.– № 4. – X. ХУПС. 2020. — С. 24 — 31.

71. Larin V. Conceptual Basis of Cascading Differential Masking Technology / V. Larin, M. Pavlenko, O. Tymochko, M. Kolmykov, S. Khmelevskiy // IEEE 11 th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. DESSERT: 2020. — pp. 290 – 294. **ISBN:** 978-172819957-3. **DOI:** 10.1109/DESSERT50317.2020.9125024. **Scopus.**

72. Larin V. The method of determining the probability of affection of the semiconductor elements under the influence of the multifrequency space-time signals / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksyuta, S. Bazilo, I. Sharapa // Journal of Critical Reviews. — 2020. — № 7(9),2020. — P. 569-571. **ISSN:** 23945125. **DOI:** 10.31838/jcr.07.09.113. **Scopus.**

73. Larin V. Drawbacks of wireless telecommunication systems / V. Larin, M. Pavlenko, A. Abdalla // 2-а міжнародна науково-практична конференція, (Кропивницький, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький: 2020: тези допов. — С. 49.

74. Lewis T.G. Critical infrastructure protection in homeland security: defending a networked nation. New Jersey : John Wiley & Sons, 2006. 474 p.

75. Liang L., Gao D., Leung V. Queue-based congestion detection and multistage rate control in event-driven wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2014. Vol. 14(8). Pp. 818-830.

76. Liu Y., Whitt W. Many-server heavy-traffic limit for queues with time-varying parameters. *The Annals of Applied Probability*. 2014. Vol. 24(1). Pp. 378-421.

77. Ma S., Ji C. Modeling video traffic in the wavelet domain. *Proceedings of IEEE INFOCOM 1998 (March 29 – April 2, 1998, San Francisco)*. San Francisco, CA, USA, 1998. Pp. 201-208.

78. Manadhata P., Wing J. An attack surface metric. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2011. Vol. 37(3). Pp. 371-386.

79. Nucci A., Sridharan A., Taft N. The Problem of Synthetically Generating IP Traffic Matrices: Initial Recommendations. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 2005. Vol. 35. Pp. 19-32.

80. Panda M. Hybrid intelligent systems for detecting network intrusions / M. Panda, A. Abraham, M. Patra: Security Comm. Networks. – 2012.– vol. 8.– P. 2741–2749.
81. Parker C. B. ROC methodology within a monitoring framework / C. B. Parker, DeLong E. R. // Stat Med. – 2003.– C.347-348.
82. Qureshi K. N., Abdullah A. H., Hassan A. N., Sheet D. K., Anwar R. W. Mechanism of Multiprotocol Label Switching for Forwarding Packets & Performance in Virtual Private Network. Middle–East Journal of Scientific Research. 2014. Vol. 20, No. 12. P. 2117–2127.
83. Rams M., Vehel L. Large deviation multifractal analysis of a class of additive processes with correlated non-stationary increments. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2012. Vol. 21. Pp.1309-1321.
84. Roughan M. Spatio-Temporal Compressive Sensing and Internet Traffic Matrices. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2012. Vol. 20. Pp. 662-676.
85. Sedlar U. Contextualized Monitoring and Root Cause Discovery in IPTV Systems Using Data Visualization. IEEE Network. 2012. Vol. 26. Pp. 40-46.
86. Shafiq M., Ji L. Large Scale Measurement and Characterization of Cellular Machine-to-Machine Traffic. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2013. Vol. 21(6). Pp. 1960-1973.
87. Software defined radio: architectures, systems, and functions. Dillinger, Madani, Alonistioti. Wiley, 2003.
88. Somenath M., Rajdeep R., Mofazzal H., Rajkumar S., Goutam S. Characterisation of wireless network traffic: fractality and stationarity. Proceedings on the Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (November 3-5, 2017, Kolkata). Kolkata, India, 2017. Pp. 79-82.
89. Stoev S., Michailidis G., Vaughan J. On Global Modeling of Backbone Network Traffic. Proceedings of IEEE INFOCOM 2010 (March 15-19, 2010, San Diego). San Diego, California, USA, 2010. Pp. 196-200.

90. Tang F., Tang C., Yang Y., Yang L., Zhou T., Li J., Guo M. Delay-Minimized Routing in Mobile Cognitive Networks for Time-Critical Applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2017. Vol. 13(3). Pp. 1398-1409.
91. Teles F., Bianchi G., Ling L. A network traffic prediction approach based on multifractal modeling. *Journal of High Speed Networks*. 2010. Vol. 17(2). Pp. 83-96.
92. Vaquero L., Rodero-Merino L. Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 2014. Vol. 44(5). Pp. 27-32.
93. Woodall W.H. Controversies and Contradictions in Statistical Process Control // *Journal of Quality Technology*. –2000. –Vol. 32. – P. 341-378.
94. Xi N., Sun C., Ma J., Shen Y. Secure service composition with information flow control in service clouds. *Future Generation Computer Systems*. 2015. Vol. 49. Pp. 142-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2014.12.009>.
95. Yong S., Guangwei B., Lu Z. Network traffic prediction based on Gamma wavelet model. *Computer Engineering*. 2011. Vol. 37(9). Pp. 187-189.
96. Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. - Минск: Амалфея, 2000. – 303 с.
97. Автоматизація виробництва і промислова електроніка: енциклопедії, словники, довідники в 4 т. / Гл. ред. А. І. Берг, В. А. Трапезников. - М.: Радянська енциклопедія, 1963. - Т. 2. - 528 с.
98. Автоматизація виробництва і промислова електроніка: енциклопедії, словники, довідники в 4 т. / Гл. ред. А. І. Берг, В. А. Трапезников. - М.: Радянська енциклопедія, 1965. - Т. 4. - 544 с.
99. Агеев Д.В. Проектирование современных телекоммуникационных систем с использованием многоуровневых графов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. Т.4. № 2(46). С. 75-77.
100. Аксенов С.М., Волков А.Н. Особенности выполнения процедуры хэндоверов, обусловленных спецификой радиоканала, в сетях стандарта GSM. *Мобильные системы*. 2007. №4. С. 7-11.

101. Алгазинов Е.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем. М. : Диалог МИФИ, 2009. 414 с.
102. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т. Г. Гурський, С. О. Кравчук, О. А. Липський [та ін.] // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2007. – Вип. 1. – С. 30-42.
103. Анин Б. Защита компьютерной информации / Б.Анин. - СПб.: БХВ-Петербург, 2000. - 384 с.
104. Антонов В.М., Пермяков О.О. Комп'ютерні мережі військового призначення. К. : МК-Прес, 2005. 320 с.
105. Афифи А. Статистический анализ: пер. с англ. Ежова И. С. и Новикова И. Д. / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: МИР, 1982. — 488 с.
106. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Рао; пер. с англ. под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
107. Багатоканальний електровз'язок та телекомунікаційні технології: Підручник для студентів вищих навч. закладів / За редакцією Поповського В.В. - Харків: «Компанія СМІТ»; 2003. – 512 с.
108. Бакалов В.П. Цифровое моделирование случайных процессов. –М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002.-88с.:ил.
109. Барановская Т.П., Лойко В.И., Семенов М.И. и др. Архитектура систем и сетей. М. : Финансы и статистика, 2003. 364 с.
110. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика. 2004. – 176 с.
111. Беркман Л. Н. Багатоканальні модеми: Монографія / Л. Н. Беркман, І. С. Щербина, О. І. Чумак, Л. В. Рудик; під науковою редакцією С. Є. Захаренка. – К.: Зв'язок, 2006. – 149 с.

112. Бестугин А.Р., Богданова А.Ф., Стогов Г.В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей. СПб.: Политехника, 2003. 174 с.
113. Білінський Й.Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах. Вінниця: ВНТУ, 2010. - 272 с.
106. Бобков С.П. Моделирование систем: учеб. пособие / С.П.Бобко, Д.О. Бытев // Иван. гос. хим.-тех. ун-т. – Иваново, 2008. – 156 с.
114. Богуш В.М. Інформаційна безпека держави /В.М. Богуш, О.К. Юдин. – К.: МК–Прес, 2005. – 432 с.
115. Бондарев В.Н. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. / В.Н. Бондарев, Г. Трестер, В.С. Чернега // Учебное пособие для вузов. 2-е изд. – Х.: Конус, 2001. – 398с.
116. Борисов І. В. Оцінка характеристик каналу зв'язку з селективними завмираннями / І. В. Борисов // Тези III науково-практичної конференції ВІПІ НТУУ „КПІ”. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2006. – С. 111.
117. Быков Р.Е. Цифровое преобразование изображений / Р.Е. Быков. – М.: Горячая линия - Телеком. – 2003. – 228 с.
118. Бычков Е.Д. Математические модели управления состояниями цифровой телекоммуникационной сети с использованием теории нечетких множеств : монография. Омск : изд-во ОмГТУ, 2010. 236 с.
119. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / [Т.С. Хуанг, Дж.О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.]; под ред. Т.С. Хуанга; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
120. Васильев В.Н. Компьютерная обработка сигналов / В.Н. Васильев, И.П. Гуров. - СПб: БХВ Санкт-Петербург, 1998. – 240 с.
121. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384с.

122. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов / [Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др.]; под ред. Я.А. Фурмана. – [2-е изд.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.

123. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.

124. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский; [пер. с польск. И. Д. Рудинского; под ред. А. И. Ледовского]. – М: Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.

125. Володарский Е.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / Е.Т. Володарский, В.В. Кухарчук В.О. Поджаренко.– Вінниця: Велес, 2001.– 219 с.

126. Воробьев О.В. Моделювання самоподібного трафіку синтезом ансамблю стохастичних квазіперіодичних джерел та ON/OFF моделі. Системи озброєння і військова техніка : науковий журнал. 2006. № 3(6). С. 97-105.

127. Галицкий А.В. Защита информации в сети – анализ технологий и синтез решений/ А.В. Галицкий. – М.: ДМК Пресс, 2005. –616 с.

128. Генрихов И. В. Построение и исследование полных решающих деревьев для задач классификации по прецедентам [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ccas.ru/avtorefe/101avtor.pdf>.

129. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1073 с.

130. Гончар С.Ф. Аналіз ймовірності реалізації загроз захисту інформації в автоматизованих системах управління технологічним процесом. Захист інформації: науковий журнал. 2014. Том 16. № 1. С. 40-46.

131. Горбулін В.П. Актуальні проблеми системного забезпечення інформаційної безпеки України / В.П. Горбулін, М.М. Биченок, П.М. Копка // Матер.міжнар. наук.-практ. конф. “Форми та методи забезпечення інформаційної безпеки держави”. – К.: Національна академія СБ України, 2008.– С. 79 – 85.

132. Гургенидзе А.Т., Корше В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – СПб., 2003. – 434 с.
133. Давиденко И.Н. Распределенное управление трафиком в мобильных сетях. Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. Київ : НАУ, 2008. Т. 12. С. 113-124.
134. Двадцать пять лучших инструментов и программ для мониторинга сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://codeby.net/threads/25-luchshix-instrumentov-i-programm-dlja-monitoringa-seti-pervye-10-pozicij-rejtinga>.
135. Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления: учеб. пособ. / А. Н. Дилигенская. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2009. – 136 с.
136. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике: пер. с франц. / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1982. – 486 с.
137. Егупов Н. Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 744 с.
138. Завадостійкість каналів зв'язку / Бабич В. Д., Кувшинов О. В., Лежнюк О. П., Лівенцев С. П. // Навчальний посібник. – К.: КВІУЗ, 2001. – 150 с.
139. Заковоротный А.Ю. Основы вычислительного интеллекта / А.Ю. Заковоротный: лабораторный практикум. – Х.: НТМТ, 2013. – 308 с.
140. Закон України "Про національну безпеку України" / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2018, № 31.
141. Закон України «Про інформацію» / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, N 48.
142. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 45.
143. Залманзон Л. А. Пневмоника – новая отрасль пневмоавтоматики / Л. А. Залманзон.— М. : Машиностроение, 1967. — 67 с.

144. Залманзон Л. А. Бесіди про автоматику і кібернетику / Л. А. Залманзон. - М.: Наука, 1985. - 416 с.
145. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л.А. Залманзон. – М.: Наука, 1989. – 496 с.
146. Захарченко М. В. Системи передавання даних / М.В. Захарченко, М.М. Гаджиєв, В.Є. Басов, О.М. Мартинова та ін. // – Т.1: Завадостійке кодування: підручник [для студ. вищ. техн. навч. закл.]. / – Одеса «Фенікс», 2009. – 406 с.
147. Зінченко А. О. Вдосконалений метод контролю стану каналу зв'язку із селективними завмираннями та навмисними завадами / А. О. Зінченко Р. М. Возняк // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 3 (15)/2012 – С. 19-22.
148. Зубков Е. В. Методы интеллектуального анализа данных и обнаружение вторжений / Е. В. Зубков, В. М. Белов: Вестник СибГУТИ. – 2016.– №1.– сс.118-132.
149. Ильина И.В., Можаяев А.А., Коваленко А.А. Многоуровневая модель телекоммуникационного трафика системы глобальной навигации. Системи управління, навігації та зв'язку. Київ: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. Вип. 2(18). С. 76-82.
150. Ипатов В.П., Орлов В.К., Самойлов И.М., Смирнов В.Н. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 272 с.
151. Истомина, И. А. Новые подходы к исследованию временных рядов /И. А. Истомина. – М.: РГБ, 2007. – 124 с.
152. Конахович Г.Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах / Г.Ф. Конахович, В.П. Климчик, С.М. Паук, В.Г. Потапов. – К.: МК – Пресс, 2005. – 288 с.
153. Кендалл М. Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стюарт. – М. : Наука, Физматлит.– Т. 2.– 1973. – 899 с.

154. Килин П. М. Статистические методы обработки данных: учебное пособие / П. М. Килин, Н. И. Чекмарева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 128 с.
155. Климов А.С. Форматы графических файлов. – С. – Пб.: ДиаСофт, 1995. – 385 с.
156. Кокорева Я. Поэтапный процесс кластерного анализа данных на основе алгоритма кластеризации k-means / Я. Кокорева, А. Макаров // Молодой ученый. – 2015. – №13. – С. 126-128.
157. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций / А.Н. Колмогоров // Доклады АН СССР. – 1957. – Т.5(114). – С.935-956.
158. Конах В.К. Національний інформаційний простір України: проблеми формування та державного регулювання : аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2014. 76 с.
159. Корченко А.А. Система выявления аномального состояния в компьютерных сетях / А.А. Корченко // Безопаска інформації. – 2012. – № 2 (18). – С. 80-84.
160. Косенко В.В., Сорока Л.С. Моделирование базового дерева решений для распределенного поиска в инфокоммуникационных сетях. Системы обработки информации. Харьков : ХУПС, 2009. Вип. 6(80). С. 116-118.
161. Косенко В.В. Разработка математической модели технической структуры информационно-телекоммуникационной сети. Математические модели та новітні технології управління економічними та технічними системами : монографія / за заг. ред. В.О. Тимофеева, І.В. Чумаченко. Харьков, 2016. С. 380-391.
162. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. – М.: Вузовская книга, 2011. – 320 с.
163. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1, 2, 3 / Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.
164. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб.: БХВ–Петербург, 2005. 288 с.

165. Кувшинов О. В., Лівенцев С. П., Лежнюк О. П., Міночкін А. І., Могилевич Д. І. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: Підручник. К.: ВІТІ НТУУ "КПІ", 2008., – 286 с.

166. Кузнецов А.А. Метод структурной идентификации информационных потоков в телекоммуникационных сетях на основе *BDS*-тестирования / А.А. Кузнецов, С.Г. Семенов, С.Н. Симоненко, //Науково-технічний журнал "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". Випуск 2 (4). – Харків: ХУПС. – 2010. – С. 131 - 137.

167. Куо Ф.Ф. Протоколы и методы управления в сетях передачи данных. М. : Радио и связь, 1985. 480 с.

168. Кучук Г.А., Косенко В.В., Давікоза О.П., Калкаманов С.А. Методика синтезу інформаційної технології управління мережевим трафіком. Системи управління, навігації та зв'язку. Київ : ДП «ЦНДІ НіУ», 2013. Вип. 2(26). С. 138-143.

169. Кучук Г.А., Гахов Р.П., Пашнев А.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций. М.: Физматлит, 2006. 220 с.

170. Кучук Г.А. Кіріллов І.Г., Пашнев А.А. Моделювання трафіка мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС, 2006. Вип. 9(58). С. 50-59.

171. Лаврут О.О. Дослідження якості управління потоками інформації у телекомунікаційній системі критичного призначення. Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. 2014. № 4(40). С. 89-93.

172. Лаврут О.О., Блажко Л.М. Математичне моделювання процесів функціонування фрагменту мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС, 2011. Вип. 8(98). С. 170-174.

173. Лагутин В.С., Костров В.О. Оценка характеристик пропускной способности мультисервисных пакетных сетей при реализации технологии разделения типов нагрузки. Электросвязь. 2003. № 3. С. 28-32.

174. Ларін В. Методологічні основи криптосемантичного представлення відеозображень в інформаційних комунікаціях. / В. Ларін, С. Сідченко. Наукоємні технології. – К. – 2012. - №3(15). – С. 78 – 82.

175. Ларин В. В. Анализ кибератак на информационно-телекоммуникационные системы / В. В. Ларин, Ю. Н. Рябуха, Р. В. Тарнополов // Научные технологии в инфокоммуникациях: Обработка и защита информации: коллективная монография. — Харьков: Компания Смит, 2013. С. 336 — 344.

176. Ларін В. В. Оцінка вразливості телекомунікаційних систем та мереж від кібератак / В. В. Ларін, А. В. Ширяєв, Д. О. Медведєв // Научные технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: Коллективная монография. - Харьков : Издательство «Лидер», 2017. - С. 483 - 516.

177. Ларін В. В. Обґрунтування необхідності зниження стрімкості відео потоків для надання можливості підвищення якості відеоінформаційних послуг / В. В. Ларін, А. Абдалла // Кібербезпека та інформаційні технології: Колективна монографія. — Харьков : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. — С. 327 — 340.

178. Ларин В. Подходы для защиты видеoinформации на основе устранения избыточности в инфокоммуникациях / В. Ларин, А. Яковенко, Р. Тарнополов, // Современная специальная техника. 2014. - №2(37). - С. 82 - 89.

179. Ларін В. Метод захисту низькочастотних складових в алгоритмі кодування JPEG / В. Ларін, Д. Гаврилов, Д. Комолов, К. Ялівець // Системи обробки інформації.– № 9. – Х. ХУПС. 2015. - С. 24 - 27.

180. Ларін В. Адаптивний селективний алгоритм обробки цифрових зображень на основі пошуку та виділення об'єктів інтересу / В. Ларін, Д. Гаврилов, Т. Гаврилець // Системи озброєння і військова техніка 2(46). – Х. ХУПС. 2016. - С. 121 - 124.

181. Ларін В. Засоби відеоаналітики рухомих цілей на основі отриманого зображення/ В. Ларін, В. Ткачук, Є. Лисенко // Системи обробки інформації.– 2016. - № 1. – Х. ХУПС. 2016. - С. 26 - 28.

182. Ларин В. В. Способ криптокомпрессионного представления видеoinформации в АСУ / В. В. Ларин, А.П Давикоза // Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року / . тези допов – Х.: ХУПС, 2013. — С. 97.

183. Ларин В. В. Метод криптокомпрессионных преобразований с ключом. / Ларин В., Сидченко С. Сучасна спеціальна техніка. – 2013. - №1(32). – С. 51-57.

184. Ларин В. В. Методологическая база криптокомпрессионного представления видеoinформационных ресурсов. / В. В. Ларин, С.А. Сидченко. Захист інформації. Х., ХНУРЭ, 2012. Том №15(2) С.97-104.

185. Ларин В. В. Комбинированная технология безопасности видеoinформации в инфокоммуникационных системах / В. В. Ларин // Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року / . тези допов – Х.: ХУПС, 2013. — С. 197.

186. Ларин В. В. Анализ существующих технологий защиты видеoinформации / В. В. Ларин, Р.В. Тарнополов // Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року / . тези допов – Х.: ХУПС, 2013. — С. 198.

187. Ларин В. В. Способы обеспечения безопасности видеoinформационного ресурса. / В. В. Ларин, Р.В.Тарнополов. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - №4 (165). Х. ХНУРЕ – 2013. – С. 72–79.

188. Ларин В. В. Анализ существующих технологий защиты видеoinформации в процессе устранения избыточности. / Ларин В.,Тарнополов Р. Сучасна спеціальна техніка. 2013. - №4(31). – С. 29 – 34.

189. Ларин В. В. Показатель характеризующий процесс защиты изображений в процессе устранения избыточности / В. В. Ларин, Р. В. Тарнополов, Д. С. Гаврилов // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 10 наукова конференція ХУПС 9-10 квітня 2014 р. – Харків / тези допов – Х.: ХУПС, 2014. — С. 161.

190. Ларин В. В. Подходы для защиты видеоинформации на основе устранения избыточности в инфокоммуникациях. / Ларин В., Яковенко А., Тарнополов Р. Сучасна спеціальна техніка. 2014. - №2(37). – С. 82 – 89.

191. Ларин В. В. Стратегии защиты видеоинформации в процессе устранения избыточности. / Ларин В., Тарнополов Р. Сучасна спеціальна техніка. 2014. - №2(33). – С. 17 – 23.

192. Ларин В. В. Недостатки современных беспроводных инфокоммуникационных технологий / В. В. Ларин, Р. В. Королев, В. П. Кацюба // Новітні технології для захисту повітряного простору. 10 наукова конференція ХУПС 9-10 квітня 2014 р. – Харків, 2014 тези допов. — С. 161-162.

193. Ларин В. В. Анализ методов маскирования данных в частотной области / В. Ларин, В. Твердохлеб // Науково-практична конференція. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем 10-11 березня 2016. К.: КНУ ім. Т. Шевченко: тези допов. — С. 49 – 51.

194. Ларин В. В. Оценка методов выделения контуров на цифровых изображениях / В. Ларин // 2 Міжнародна науково-практична конференція. 24-27 лютого 2016. К.: Європейський університет: тези допов. — С. 94 – 96.

195. Ларин В. В. Концепція реструктуризації даних інформаційного ресурсу / В. В. Ларин, І. М. Тупиця // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 15 міжнародна наукова конференція ХНУПС 10-11 квітня 2019 р. – Харків, 2019 тези допов. — С. 299.

196. Ларин В. В. Метод визначення показників якості перспективних зразків озброєння в умовах нестохастичної невизначеності / В. В. Ларин, Н. О. Королук // НІСТ 2019 Міжнародна науково-практична конференція

«Наукоємні технології в інфокомунікаціях» 23-25 травня 2019 р. – Харків – Кам’янець-Подільський, 2019 тези допов. — С. 112 – 113.

197. Ларін В. В. Метод формалізації процесу наведення штурмової авіації на наземні цілі на основі синтезу нечіткої нейронної мережі / В. Ларін, С. Олізаренко, А. Самокіш, О. Черток // 7-а міжнародна науково-технічна конференція, (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 13 – 15 листопада 2019 р.) / Черкаський державний технологічний університет, Черкаси: 2019 тези допов. — С. 43.

198. Левин Д. М. Статистика для менеджеров / Дэвид М. Левин Д. Стефан, Т. Кребель, М.Л. Беренсон/, 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1312 с.

199. Лемешко А.В., Вавенко Т.В. Разработка и исследование потоковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013. № 3(29). С. 100-108.

200. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю., Дробот О.А. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации. Праці УНДІРТ. 2006. № 4(48). С. 69-74.

201. Ливенцев С. П. Математическая модель канала передачи сигналов стандарта IEEE 802.11 / С. П. Ливенцев, А. В. Кувшинов. – К.: Зв’язок, 2004. – № 7. – С. 24-26.

202. Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. – М.: Компания Спутник+, 2004. – 111 с.

203. Лосев Ю.И., Руккас К.М. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей. Системы обробки інформації. Харків : ХУПС, 2007. Вип. 8(66). С. 55-60.

204. Люгер Д.. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 865с.

205. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. – СПб.: Самиздат, 2013. – 166 с.
206. Мандель И. Д. Методы кластерного анализа. / И. Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
207. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агєєв та ін.: За загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
208. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. – М.: Триумф, 2003. – 336 с.
209. Миронов А. М., Френкель С. Л.. Минимизация вероятностных моделей программ. Фундаментальная и прикладная математика. – 2014, т. 19, вып.1, с. 121-163.
210. Мосов С. П. Аерокосмічна розвідка в сучасних військових конфліктах: [монографія] / С. П. Мосов. - К.: РУМБ, 2008 - 247 с.
211. Найман Эрик. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических показателей: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wealth-lab.net/Data/Sites/1/SharedFiles/doc/forindicators/articles/04_erik_naiman_herst.pdf.
212. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: пер. с англ. / К. Нейлор. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 285с.
213. Нестеров С. А. Информационная безопасность.– М. Издательство Юрайт.– 2018. – 321 с.
214. Нормативний документ системи технічного захисту інформації “ Термінологія в галузі захисту інформації в комп’ютерних системах від несанкціонованого доступу” НД ТЗІ 1.1-003-99. Затверджено наказом Департаменту спеціальних телекомунікаційних систем та захисту інформації

Служби безпеки України від “ 28 ” квітня 1999 р. № 22 / Режим доступу: <https://tzi.com.ua/downloads/1.1-003-99.pdf>.

215. Ограниченность теории предельной полезности. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gallery.economicus.ru/cgi-bin/frame_rightn.pl?type=in&links=./in/veblen/works/veblen_w2.txt&img=works.jpg&name=veblen.

216. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.

217. Основи нейрокомп'ютингу: навчально-методичний посібник до практичних занять / В. Д. Дмитрієнко, О. Ю. Заковоротний, В. І. Носков, В. Мезенцев. – Х.: НТМТ, 2014. – 140 с.

218. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений, М.: Радио и связь. – 1986. – 400 с.

219. Пат. № 92959 Україна, МПК G06 F 15/00 (2014). Спосіб динамічного кодування та захисту інформаційного ресурсу в інфокомунікаційних системах / Власов А.В., Корольов Р.В., Красноруцький А.О., Ларін В.В.; заявник та патентотримувач Харк. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. — № u201403946, заявл. 14.04.14; опубл. 10.09.14. Бюл. №17.

220. Пат. № 92960 Україна, МПК G06 F 15/00 (2014). Спосіб розподілу та кодування інформаційного ресурсу в мультисервісних мережах / Власов А.В., Корольов Р.В., Красноруцький А.О., Ларін В.В.; заявник та патентотримувач Харк. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. — № u201403950, заявл. 14.04.14; опубл. 10.09.14. Бюл. №17.

221. Пат. № 92968 Україна, МПК G06F 15/00 (2014). Спосіб обробки та захисту інформації в розподілених сховищах даних / Власов А.В., Корольов Р.В., Красноруцький А.О., Ларін В.В.; заявник та патентотримувач Харк. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. — № u201403957, заявл. 14.04.14; опубл. 10.09.14. Бюл. №17.

222. Перспективы применения международного Стандарта ISO/IEC 15408 в Украине/ М. Бондаренко, Л. Скрынник, И. Горбенко, А. Потий // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, Х.:ХНУРС.– 2001. –№ 3, С.7 – 20.

223. Питер Фишберн. Теория полезности для принятия решений.– М:Наука, 1978.–352 с.

224. Польщиков К.А., Одарущенко О.Н. Метод оценки эффективности управления информационными потоками в телекоммуникационной сети специального назначения. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи: науково-технічний журнал. 2008. № 6(33). С. 269-276.

225. Поповский В.В., Олейник В.Ф. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учебник. Х.: ООО «Компания СМІТ», 2011. 362 с.

226. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.01.2016 № 19-р Про затвердження Державної цільової оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки до 2020 року.

227. Поштаренко В.М., Андреев А.Ю., Амаль М. Обеспечение качества обслуживания на критических участках мультисервисной сети. Вісник Національного технічного університету. 2013. № 60. С. 94-100.

228. Про затвердження Порядку формування переліку інформаційно–телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави: документ 563–2016–п, чинний, поточна редакція: прийняття від 23.08.2016. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>.

229. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 т. / У. Прэтт; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 736 с.

230. Радиоэлектронні системи: основи побудови та теорія: [довідник / під ред. Я. Д. Ширмана]. - М.: Радіотехніка, 2007. - 512 с.

231. Раскин Л. Г. Анализ нечетких экспертных систем оценки состояния объектов. Комбинированная экспертная система / Л. Г. Раскин, Т.

И. Каткова, В. А. Головки // Системи обробки інформації. – 2013. – вип. 2. – С. 77-81.

232. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус, 2008. – 352с.

233. Рошан П., Лиэре Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. М.: Вильямс, 2004. 296 с.

234. Рубан І.В., Кучук Г.А., Давікоза О.П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС, 2013. Вип. 7(114). С. 106-112.

235. Рудик В. В. Актуальні проблеми та напрями розвитку системи зв'язку Збройних Сил України як складової частини системи управління військами (силами) / В. В. Рудик // Наука і оборона. – 2005. – № 2. – С. 22-28.

236. Рутковская Д.С. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д.С. Рутковская, М.В. Пилиньский, Л.П. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

237. Рутковский Лешек. Методы и технологии искусственного интеллекта / Лешек Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 520 с.

238. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ: [пер. с англ. Носков В. Л.] / Дж. Себер; под ред. и с предисл. М.Б. Малютова. – М.: Мир, 1980. – 456 с.

239. Складар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Складар. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.

240. Соколов А. М. Современные модели обнаружения аномалий в компьютерных системах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/bcd4/7e770a22fcf5c5312d46a652091d31861b29.pdf>].

241. Соколов А.Ю. Методы формирования параметров пространственного движения объекта на основе обработки визуальной информации / А.Ю. Соколов, Ватик М.Хуссейн // Радіелектроні і комп'ютерні системи, 2009. - №3 (37). - с.104 - 107.

242. Соломон Г. Зависящие от данных методы кластерного анализа / Г. Соломон // Классификация и кластер. – М.: 1980. – С.130-147.
243. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: Підр. для вищ. навч. закл / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький; під ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
244. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М. : Эко-Трендз, 2010. 391 с.
245. Султанов А.Х., Султанов Р.Р. Метод оценки показателей качества обслуживания иерархических мультисервисных сетей. Вестник УГАТУ. 2009. № 1(30). С. 175-181.
246. Суханов А.В. Стохастическая Марковская модель поиска аномалий в темпоральных данных / А.В. Суханов // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'13». Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2013. – Т.1. – С. 177-181.
247. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М: Техносфера, 2004. – 368 с.
248. Талалаев В.О., Грицький Р.В., Кучер С.В. Мобільні телекомунікаційні мережі критичного застосування: інформаційно–понятійна модель предметної області. Радіoeлектронні і комп'ютерні системи. 2006. № 5(17). С. 185-192.
249. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу / Ю.Г. Даник, Г.А. Дробаха, В.І. Карпенко, Р.Е. Пащенко, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2002. – 260 с.
250. Тестування PRTG Network Monitor і порівняння з Zabbix. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/softline/blog/433414/>.
251. Тимочко О. Об'єктно-орієнтоване програмування. Конспект лекцій для курсантів, слухачів, студ. ВНЗ. Тимочко О., Ларін В., Павленко М. та ін. Харків: ХНУПС, 2020. – 76 с.

252. Тимочко О. Теоретичні основи автоматизації процесів управління військами та озброєнням: навч. посіб. для слух., курсантів та студ. вищ. навч. закл. Тимочко О., Ларін В., Павленко М. та ін. Харків: ХНУПС, 2017. – 220 с.

253. Толюпа С.В. Підходи до проектування та оцінки ефективності системи захисту інформації в автоматизованих системах обробки та передачі даних / С.В. Толюпа, О.М. Іванова, І.О. Демченко // Сучасний захист інформації.–К.: 2013.– №1,– С.25 – 30.

254. Тропченко А.Ю. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео / А.Ю. Тропченко, А.А. Тропченко // Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.

255. Указ Президента України № 92/2016 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року “Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України”.

256. Указ Президента України №240/2016 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року “Про Стратегічний оборонний бюлетень України”.

257. Фефелов А.А. Модификация алгоритма отрицательного отбора на основе механизмов искусственной иммунной сети для решения задач обнаружения аномалий / А.А. Фефелов, В.И. Литвиненко, П.И. Бидюк // Збірник наукових праць у п'яти томах другої міжнародної наукової конференції Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій / Євпаторія. – 2007.– Том 3.– с.73-78.

258. Фисенко В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебн. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

259. Фізична енциклопедія / під ред. А. М. Прохорова. - М.: Радянська енциклопедія, 1992. - Т. 3. - 672 с.

260. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.

261. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
262. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. Научное издание. / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.
263. Шаламов А.Н. Обработка результатов и оценка точности измерений при многократных наблюдениях: учеб. пособие / А.Н. Шаламов, Б.А. Кудряшов, Т.М. Раковщик. – М.: МАДИ, 2016. – 164 с.
264. Шеври Ф. Нечеткая логика / Ф. Шеври Ф Гели. : Schneider electric. –2016.–№3 – С.3-27.
265. Шевченко М.М. Методика системно-комплексного дослідження державного управління забезпеченням національної безпеки. Вісник Національної академії оборони України. Київ : НАОУ, 2010. № 4. С. 235-240.
266. Шелухин О.И. Обнаружение вторжений в компьютерные сети / О.И. Шелухин, Д. Ж Сакалема, А.С. Филинова. – М.: Горячая линия-Телеком. – 2013. – 220 с.
267. Шелухин О.И. Анализ изменений фрактальных свойств телекоммуникационного трафика вызванных аномальными вторжениями. / О.И. Шелухин, А.А. Антонян // Т- Comm. – 2014.– №6. – С.61-64.
268. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. Москва : Горячая линия – Телеком, 2012. 516 с.
269. Шишацький А.В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А. В. Шишацький О. М. Башкиров, О.М.Костина // Науково-технічний журнал “Озброєння та військова техніка”. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2015. № 1(5) 2015. – С.35 – 40.
270. Шкодырев П. В. Обзор методов обнаружения аномалий в потоках данных / П. В. Шкодырев, К.И. Ягафаров, В.А. Баштовенко: Proc. Of the Second Conference on Software Engineering and Information Management / Санкт-Петербург, Россия. – 2017.– Vol. 18 С . 64–70.

271. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт // М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.

272. Юдін О.К. Захист інформації в мережах передачі даних: підручник / Г.Ф. Конахович, О.Г. Корченко, О.К. Юдін. – К.: Видавництво ТОВ НВП «ІНТЕРСЕРВІС», 2009. – 714с.

273. Ярушкіна Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: учеб. пособие / Н. Г. Ярушкіна. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

274. Ярушкіна, Н.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие / Н.Г. Ярушкіна, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева // Ульяновск: УлГТУ. – 2010. – 210 с.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

А.1. Список публікацій здобувача за темою дисертації:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Ларин В. Подходы для защиты видеоинформации на основе устранения избыточности в инфокоммуникациях / В. Ларин, А. Яковенко, Р. Тарнополов, // Сучасна спеціальна техніка. 2014. - №2(37). — С. 82 — 89.

2. Larin V. A method for constructing a combined compression system and encryption of video data / V. Larin, A.Korotenko, D.Baiush, A. Ivanichenko // Системи озброєння і військова техніка 2(50). – 2017. – Х. ХУПС. 2017. — С. 121 — 124.

3. Ларін В. Метод захисту низькочастотних складових в алгоритмі кодування JPEG / В. Ларін, Д. Гаврилов, Д. Комолов, К. Ялівець // Системи обробки інформації.– № 9. – Х. ХУПС. 2015. — С. 24 — 27.

4. Ларін В. Адаптивний селективний алгоритм обробки цифрових зображень на основі пошуку та виділення об'єктів інтересу / В. Ларін, Д. Гаврилов, Т. Гаврилець // Системи озброєння і військова техніка 2(46). – Х. ХУПС. 2016. — С. 121 — 124.

5. Ларін В. Засоби відеоаналітики рухомих цілей на основі отриманого зображення/ В. Ларін, В. Ткачук, Є. Лисенко // Системи обробки інформації.– 2016. - № 1. – Х. ХУПС. 2016. — С. 26 — 28.

6. Larin V. Rationale for necessity of improving the protection of operational videoinformation in wireless infocommunication systems / V. Larin, V. Barannik, Yu. Riabukha // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — № 4(53). – 2017. – Х. ХНУПС. 2017. — С. 54 — 58.

7. Larin V. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems / V. Larin, N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 4, Issue 9, 2018. — pp. 27 — 35. **ISSN:** 17293774. **DOI:** 10.15587/1729-4061.2018.139723. **Scopus.**

8. Larin V. The reasoning of necessity enhancing video privacy in conditions of providing the quality of the video information service provided in virtual infocommunication systems / V. Larin, D. Yerema, Y. Bolotska // Системи озброєння і військова техніка 2(35). – Х. ХНУПС. 2019. — С. 158 — 162.

9. Volodymyr Larin. Development of an advanced method of video information resource compression in navigation and traffic control systems. / Serhii Yevseiev, Ahmed Abdalla, Serhii Osiievskyi and others. All – 5 authors. // EUREKA: Physics and Engineering. No. 5 (2020), pp. 31-42. – **ISSN** 24614254. **DOI:** 10.21303/2461-4262.2020.001405. **Scopus.**

10. V.Larin. Method of coding predictable frames with the account of management mechanisms for improving the quality of video information's service./ О.Тумочко, А. Liuti, А. Abdalla // Системи управління, навігації та зв'язку. 4(62). – П. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». 2020, С. 69-72.

11. V.Larin. Method of processing video information resource for aircraft navigation systems and motion control. / О.Тумочко, S. Osiievskyi // Сучасні інформаційні системи. Х. – Том 4, № 2 (2020), с. 140-145.

12. V.Larin. The method of the compact video frames representation, which are presented in a differential form in computer systems. / M. Pavlenko, A. Abdalla, P. Open'ko // Збірник наукових праць ХНУПС 4(66). – Х. ХНУПС. 2020, С. 79-84.

13. Ларин В. Метод криптокомпрессионных преобразований с ключом. / С.Сидченко // Сучасна спеціальна техніка. К. – 2013. - №1(32). – С. 51-57.

14. Ларин В. Методологическая база криптокомпрессионного представления видеoinформационных ресурсов. / С.Сидченко // Захист інформації. К., НАУ, 2013. Том №15(2) С.97-104.

15. Ларін В. Методологічні основи криптосемантичного представлення відеозображень в інформаційних комунікаціях. / С.Сідченко // Наукоємні технології. – К. – 2012. - №3(15). – С. 78 – 82.

16. V.Larin. Development of an advanced method for compressing the dynamic component of a differential-represented frame. / O.Tymochko, I. Sheviakov, A. Abdalla// Телекомунікаційні та інформаційні технології. 3(68). – К. ДУТ. 2020, С. 67-83.

17. V.Larin. Investigation of the mechanism for processing predicted frames in the technology of compression of transformed images in computer systems and special purpose networks. / O.Tymochko, A. Abdalla // Системи обробки інформації.– № 4. – Х. ХУПС. 2020. — С. 24 — 31.

18. V.Larin. The video processing features research in computer systems and special purpose networks. // Системи озброєння і військова техніка 4(64). – Х. ХУПС. 2020. — С. 111 — 119.

19. Ларін В. В. Оцінка вразливості телекомунікаційних систем та мереж від кібератак / В. В. Ларін, А. В. Ширяєв, Д. О. Медведєв // Наукоємкіе технології в інфокомунікаціях: обробка інформації, кібербезпека, інформаційна боротьба: Колективна монографія. — Харків : Издательство «Лидер», 2017. — С. 483 — 516.

20. Ларін В. В. Обґрунтування необхідності зниження стрімкості відео потоків для надання можливості підвищення якості відеоінформаційних послуг /

В. В. Ларін, А. Абдалла // Кібербезпека та інформаційні технології: Колективна монографія. — Харків : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. — С. 327 — 340.

21. Ларін В. В. Патент № UA 92959 10.09.2014 / Спосіб динамічного кодування та захисту інформаційного ресурсу в інфокомунікаційних системах // Патент № UA 92959 2014. Бюл. №17 / Третяк В.Ф., Корольов Р.В., Красноручський А.О. та ін.

22. Ларін В. В. Патент № UA 92960 10.09.2014 / Спосіб розподілу та кодування інформаційного ресурсу в мультисервісних мережах // Патент № UA 92960 2014. Бюл. №17 / Власов А.В., Голубничий Д.Ю., Корольова Н.А. та ін.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Larin V. The analys of cyberattacks against the information and telecommunication systems / V. Larin, R. Tarnopolov // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2013; Sevastopol, Crimea; Ukraine; 8 September 2013. — pp. 448 – 449. **ISBN:** 978-966335401-9. **Scopus.**

2. Ларин В. В. Комбинированная технология безопасности видеoinформации в инфокоммуникационных системах / В. В. Ларин // Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року / тези допов – Х.: ХУПС, 2013. — С. 197.

3. Larin V. The methodical base of cryptocompression presentation of videoinformation resorces / V. Larin, V. Barannik, S. Sidchenko // 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013 : Lviv; Ukraine. — pp. 27 – 28. **ISBN:** 978-966219116-5. **Scopus.**

4. Ларин В. В. Показатель характеризующий процесс защиты изображений в процессе устранения избыточности / В. В. Ларин, Р. В. Тарнополов, Д. С. Гаврилов // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 10

наукова конференція ХУПС 9-10 квітня 2014 р. – Харьков /. тези допов – Х.: ХУПС, 2014. — С. 161.

5. Larin V. Analysis of Options for Increasing Secrecy of the Videosystem Resource / V. Larin, S. Sidchenko, R. Tarnopolov // Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University Lviv-Slavske, Ukraine February 25 – March 1, 2014. — p. 231.

6. Larin V. Design of steganographic system on the basis of a code container in nonnequilibrium positional base / V. Larin, S. Sidchenko // International Conference TCSET'2015 [Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science] (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University, 2015. — pp. 39 – 41.

7. Larin V. A mathematical model of the process of transferring video / V. Larin, S. Podlesny, A. Hahanova // International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015). — pp. 383 – 385.

8. Larin V. The analysis of template method of video processing / V. Larin, P. Krasnikov, D. Gavrilov // 1st International Conference [«Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)»], (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015). — pp. 80 – 82.

9. Ларин В. В. Анализ методов маскирования данных в частотной области / В. Ларин, В. Твердохлеб // Науково-практична конференція. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем 10-11 березня 2016. К.: КНУ ім. Т. Шевченко: тези допов. — С. 49 – 51.

10. Ларин В. В. Оценка методов выделения контуров на цифровых изображениях / В. Ларин // 2 Міжнародна науково-практична конференція. 24-27 лютого 2016. К.: Європейський університет: тези допов. — С. 94 – 96.

11. Larin V. The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security / V. Larin, I. Tupitsya // IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2016; Yerevan;

Armenia; 14 October 2016. — pp. 77 – 78. **ISBN:** 978-966219116-5. **DOI:** 10.1109/EWDTS.2016.7807749. **Scopus.**

12. Larin V. Method of image segments compression based on two-level local position representation of vectors / V. Larin, A. Alimpiev // 2th International Conference [IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT)], 2017. — pp. 75 – 78.

13. Larin V. Model of syntactic representation of aerophoto images segments/ V. Larin, A. Krasnorutsky, A. Hahanova, S. Shulgin // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018; Lviv-Slavske; Ukraine; 20 February 2018. — pp. 974 – 977. **ISBN:** 978-153862556-9. **DOI:** 10.1109/TCSET.2018.8336356. **Scopus.**

14. Ларін В. В. Концепція реструктуризації даних інформаційного ресурсу / В. В. Ларін, І. М. Тупиця // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 15 міжнародна наукова конференція ХНУПС 10-11 квітня 2019 р. – Харків, 2019 тези допов. — С. 299.

15. Ларін В. В. Метод визначення показників якості перспективних зразків озброєння в умовах нестохастичної невизначеності / В. В. Ларін, Н. О. Королюк // НІСТ 2019 Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях» 23-25 травня 2019 р. – Харків – Кам'янець-Подільський, 2019 тези допов. — С. 112 – 113.

16. Ларін В. В. Метод формалізації процесу наведення штурмової авіації на наземні цілі на основі синтезу нечіткої нейронної мережі / В. Ларін, С. Олізаренко, А. Самокіш, О. Черток // 7-а міжнародна науково-технічна конференція, (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 13 – 15 листопада 2019 р.) / Черкаський державний технологічний університет, Черкаси: 2019 тези допов. — С. 43.

17. Larin V. The characteristics evaluation of securing videoinformation process for wireless system / V. Larin, D. Zhuikov, V. Dokuchaev, A. Liuti, A. Abdalla // Новітні технології-для захисту повітряного простору. 16

міжнародна наукова конференція ХНУПС 15-16 квітня 2020 р. – Харків, 2020
тези допов. — С. 410.

18. Larin V. Conceptual Basis of Cascading Differential Masking Technology / V. Larin, M. Pavlenko, O. Tymochko, M. Kolmykov, S. Khmelevskiy // IEEE 11 th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. DESSERT: 2020. — pp. 290 – 294. **ISBN:** 978-172819957-3. **DOI:** 10.1109/DESSERT50317.2020.9125024. **Scopus.**

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Ларин В. В. Анализ кибератак на информационно-телекоммуникационные системы / В. В. Ларин, Ю. Н. Рябуха, Р. В. Тарнополов // Научные технологии в инфокоммуникациях: Обработка и защита информации: коллективная монография. — Харків: Компания Смит, 2013. С. 336 — 344.

2. Larin V. Determining the function of splitting the charged particles of the strongly ionized air environment in the openings of the case-screens of radio electronic means / M. Iasechko, V. Larin, A. Trystan, O. Ochurenko // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Volume 8, Issue 1.3 S1 — 2019. — P. 19—23. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019. **Scopus.**

3. Larin V. The method of determining the probability of affection of the semiconductor elements under the influence of the multifrequency space-time signals / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksjuta, S. Bazilo, I. Sharapa // Journal of Critical Reviews. — 2020. — № 7(9),2020. — P. 569-571. **ISSN:** 23945125. **DOI:** 10.31838/jcr.07.09.113. **Scopus.**

4. Larin V. Model description of the modified solid state plasma material for electromagnetic radiation protection / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksjuta, O. Ochurenko, I. Krasnoshapka, Y. Samsonov, H. Lyashenko, A. Zinchenko,

R. Vozniak // IJETER. — 2019. — № 7 (10). — P. 376—382. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/027102019. **Scopus.**

5. Larin V. Protection of board radioelectronic equipment from the destructive powerful electromagnetic radiation with the use of natural technologies / M. Iasechko, O. Turinskyi, M. Burdin, V. Larin, Y. Gnusov, D. Ikaev, V. Borysenko, V. Manoylo // IJETER. — 2019. — № 7 (11). — pp. 542 – 548. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2019/237112019. **Scopus.**

6. Larin V. Model of Combined Solid Plasma Material for the Protection of Radio-Electronic Means of Optical and Radio Radiation / M. Iasechko, O. Sotnikov, A. Syrotenko, V. Larin, S. Iasechko, O. Ochkurenko, A. Volkov // IJATCSE. — 2019. — № 8 (4). — pp. 1241 – 1247.

7. Larin V. The model of a medium for creation of electric hermetic screens of the radio electronic means / M. Iasechko, O. Sotnikov V. Larin, O. Ochkurenko, D. Maksiuta // IJATCSE. — 2019. — 8(2). — pp. 300 – 304. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/32822019. **Scopus.**

8. Larin V. The Investigation of the Impulse Evolution of the Radio-Frequency and Optical Radiation During the Interaction With the Solid-State Plasma Media On Radioisotope and Hexaferrite Inclusions / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, T. Prokopenko, O. Kolmohorov, O. Salash, V. Tarshyn // IJETER. — 2020. — 8(4). — pp. 1333 – 1337. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/64842020. **Scopus.**

9. Larin V. Conditions for reliable transmission of information over long distances using a powerful electromagnetic radiation / M. Iasechko, M. Mozhaiev, I. Manzhai, M. Volk, V. Manoylo, O. Ochkurenko, D. Maksiuta, V. Larin, A. Markov, O. Kostyria // IJETER. — 2020. — 8(1). — pp. 138 – 144. **ISSN:** 23473983. **DOI:** 10.30534/ijeter/2020/18812020. **Scopus.**

10. Larin V. Estimation of the influence of the nonequilibrium state of the electronic subsystem and the dispersion properties of a solid-state plasma medium in the conditions of decay instability on the reflection of laser radiation / O. Tymochko, O. Kolodiazhnyi, V. Larin, O. Rybkin, V. Patalakha, V. Mazharov, N. Benyk, A. Heilyk, M. Mozhaiev // IJETER. — 2020. — 8(2). — pp. 568 –573.

11. Larin V. Formalized Model Descriptions Of Modified Solid-State Plasma-Like Materials To Protect Radio-Electronic Means From The Effects Of Electromagnetic Radiation / M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, S. Salkutsan, L. Mikhailova, O. Kozak // IJATCSE. — 2019. — 8(3). — pp. 393 – 398. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/09832019. **Scopus.**

12. Larin V. Model and development of plasma technology for the protection of radio-electronic means of laser emission / M. Iasechko, O. Turinskyi, V. Larin, D. Dulenko, V. Kravchenko, O. Golubenko, D. Sorokin, O. Zolotukhin // IJATCSE. — 2019. — 8(5). — pp. 2429 – 2433. **ISSN:** 22783091. **DOI:** 10.30534/ijatcse/2019/85852019. **Scopus.**

13. Larin V. Drawbacks of wireless telecommunication systems / V. Larin, M. Pavlenko, A. Abdalla // 2-а міжнародна науково-практична конференція, (Кропивницький, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький: 2020: тези допов. — С. 49.

14. Larin V. Influence of ionization source onto macroscopic parameters of the air media in the holes in cops-screens of radio electronic means / M. Iasechko, V. Larin, D. Maksyiuta, O. Ochkurenko, Y. Samsonov, H. Lyashenko, A. Zinchenko // APRN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2019. — № 14 (20). — pp. 3566 – 3571. **ISSN:** 18196608. **Scopus.**

A.2. Відомості про апробацію результатів дисертації

Апробація результатів дисертації була проведена на:

– 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2013; Sevastopol, Crimea; Ukraine; 8 September 2013, участь з доповіддю;

– Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 17-18 квітня 2013 року, участь з доповіддю;

– 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013: Lviv; Ukraine, участь з доповіддю;

– Новітні технології-для захисту повітряного простору. 10 наукова конференція ХУПС 9-10 квітня 2014 р., участь з доповіддю;

– Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2014 Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University Lviv-Slavske, Ukraine February 25 – March 1, 2014 доповідь та її тези подано дистанційно;

– International Conference TCSET'2015 [Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science] (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University доповідь та її тези подано дистанційно;

– International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015) доповідь та її тези подано дистанційно;

– 1st International Conference [«Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015)»], (Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015), доповідь та її тези подано дистанційно;

– Науково-практична конференція. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем 10-11 березня 2016. К.: КНУ ім. Т. Шевченко, участь з доповіддю;

– 2 Міжнародна науково-практична конференція. 24-27 лютого 2016. К.: Європейський університет, участь з доповіддю;

– IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2016; Yerevan; Armenia; 14 October 2016, доповідь та її тези подано дистанційно;

– 2th International Conference [IEEE Advanced Information and Communication Technologies (AICT)], 2017, доповідь та її тези подано дистанційно;

– 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018; Lviv-Slavske; Ukraine; 20 February 2018, участь з доповіддю;

– Новітні технології для захисту повітряного простору. 15 міжнародна наукова конференція ХНУПС 10-11 квітня 2019 р. – Харків, участь з доповіддю;

– НІСТ 2019 Міжнародна науково-практична конференція «Наукоємні технології в інфокомунікаціях» 23-25 травня 2019 р. – Харків – Кам'янець-Подільський, 2019, участь з доповіддю;

– 7-а міжнародна науково-технічна конференція, (Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 13 – 15 листопада 2019 р.) / Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, участь з доповіддю;

– Новітні технології-для захисту повітряного простору. 16 міжнародна наукова конференція ХНУПС 15-16 квітня 2020 р. – Харків, участь з доповіддю;

– IEEE 11 th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies. DESSERT. 2020, участь з дистанційною доповіддю.

ДОДАТОК Б**Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи**



ЗАТВЕРДЖУЮ
Командир військової частини А1215
полковник А.НОВОЖИЛОВ
23.12.2019 року



АКТ
про впровадження результатів наукових досліджень
доцента кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
підполковника ЛАРИНА Володимира Валерійовича

Комісія у складі: голова комісії – начальник штабу – перший заступник командира військової частини А1215 підполковник С.Сургай та членів комісії – начальник розвідки військової частини А1215 майор А.Осінський, начальник зв'язку військової частини А1215 капітан М.Антіпенко, начальник групи бойової підготовки військової частини А1215 майор Е.Копа розглянула питання щодо реалізації результатів наукових досліджень доцента кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба підполковника ЛАРИНА В.В.

За результатами розгляду порушеного питання комісія встановила:

1. Під час проведення досліджень встановлені такі наукові результати, розроблені (отримані) особисто підполковником ЛАРИНИМ В.В.:
метод кодування і реконструкції прогнозованих кадрів шляхом використання блочного кодування;
методологічна база, яка дозволяє побудувати метод управління бітовою швидкістю відеопотоку;
метод управління бітовою швидкістю, який дозволяє проводити корекцію інтенсивності відеопотоку відповідно до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення;
механізм адаптації підсумкової бітової швидкості відеопотоку до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення при обробці прогнозованих кадрів;

вимоги до систем компресії відеоданих в комп'ютерних мережах спеціального призначення для компресії зображень стаціонарного фону на основі виявлення і роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових.

2. Отримані наукові результати можуть бути використані під час експлуатації комп'ютерних мереж аеронавігаційної мережі, що безпосередньо здійснює функції організації потоків повітряного руху.

Голова комісії:

Начальник штабу – перший заступник
командира військової частини А1215
підполковник

С.СУРГАЙ

Члени комісії:

Начальник розвідки військової частини А1215
майор

А.ОСІНСЬКИЙ

Начальник зв'язку військової частини А1215
капітан

М.АНТІПЕНКО

Начальник групи бойової підготовки
військової частини А1215
майор

Е.КОПА

ЗАТВЕРДЖУЮ
 ТВО директором Харківського
 регіонального наукового підрозділу
 «Укрспрорух» В.А.ШТАНЬКО
 « 13 » 12 2020 року

А К Т

про впровадження результатів наукових досліджень отриманих в ході
 виконання дисертаційної роботи
 ЛАРІНА Володимира Валерійовича

Комісія у складі:

Голова комісії – заступник директора із ЗНС Чебунін Ю.В.

Члени комісії:

- Начальник комплексу АРЛК Білицький О.А.;
- Провідний інженер АС УПР Козіхін С.В.;

розглянула питання щодо реалізації результатів наукових досліджень
 ЛАРІНА Володимира Валерійовича в ході дослідницьких навчань.

Комісія встановила:

в ході дослідницьких робіт були використані наукові результати
 дисертаційної роботи Ларіна Володимира Валерійовича - розроблені автором
 методи:

кодоутворюючі співвідношення для компактного представлення
 усіченого вектора двокомпонентних кортежів як комбінаторного об'єкту;

метод формування компактного представлення сегментованих
 зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для
 лінеаризованих трансформант;

технологія розподілу компонентів кортежу по колограмі в комбінованому режимі, а саме коли будуються нерівномірні кодтрами з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонентів.

Метод обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по колограмі, який формується з комбінованого принципу для встановленого обмеження:


технологія формування кодових конструкцій обробленого сегмента зображення в умовах інтеграції послідовності колограм, які містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокортежних кортежів

Отримані наукові результати можуть бути використані під час побудови комп'ютерних систем із мереж автоматизованої системи управління повітряним рухом.

Розроблені методи використані в науково-дослідній роботі вважаю реальними.

Голова комісії:

заступник директора із ЗІС



О.В. ЧЕБУТІН

Члени комісії:

Начальник комплексу АРЛК

Головний інженер АС УПР



О.А. БІЛИЦЬКИЙ

С.В. КОЗИХІН



ЗАТВЕРДЖУЮ
ТВО командира військової частини А4608
полковник П.БІЛОГУБ
17.08.2020 року



АКТ
про впровадження результатів наукових досліджень
доцента кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
підполковника ЛАРИНА Володимира Валерійовича

Комісія у складі: голова комісії – ТВО начальника штабу військової частини А4608 підполковник М.Гомельський та членів комісії – начальник групи бойової підготовки військової частини А4608 підполковник В.Клачков, начальник електротехнічної служби – енергетик військової частини А4608 майор Є.Колесник, старший інженер служби РАО військової частини А4608 майор Б.Біцай розглянула питання щодо реалізації результатів наукових досліджень доцента кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба підполковника ЛАРИНА В.В.

За результатами розгляду порушеного питання комісія встановила:

1. Під час проведення досліджень встановлені такі наукові результати, розроблені (отримані) особисто підполковником ЛАРИНИМ В.В.:
 - метод формування кодограм кодових значень укрупнених позиційних чисел по комбінованому принципу;
 - метод реконструкції сегментів зображення на основі декодування усічених векторів двокомпонентних кортежів;
 - метод компресії зображень стаціонарного фону на основі виявлення областей стаціонарного фону, що дозволить враховувати наявність міжкадрової надмірності між сусідніми кадрами;
 - метод компресії зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки виділених стаціонарної та динамічної складових, з використанням операції накладення бінарної маски;
 - принципи побудови технології компактного представлення двійкових масок кадрів, представлених в диференціальному вигляді.

2. Отримані наукові результати можуть бути використані під час застосування комп'ютерної мережі відеоспостереження, контролю та попередження безпеки праці та умов роботи військової частини.

Голова комісії:

ТВО начальника штабу військової частини А4608
підполковник

М.ГОМЕЛЬСЬКИЙ

Члени комісії:

Начальник групи бойової підготовки військової частини А4608
підполковник

В.КЛАЧКОВ

Начальник електротехнічної служби – енергетик військової частини А4608
майор

Є.КОЛЕСНИК

Старший інженер служби РАО військової частини А4608
майор

Б.БІЦАЙ

ДОДАТОК В

Лістинг програмного додатку методу обробки відеопотоку на основі
кодування прогнозованих кадрів

```
unit predbmp;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, Menus, ExtCtrls, ExtDlgs, Grids, Math;

type
  TForm1 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    Edit1: TEdit;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    Label37: TLabel;
    Panel1: TPanel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Label21: TLabel;
    Label22: TLabel;
    Label23: TLabel;
    Label24: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Label26: TLabel;
    Label25: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label27: TLabel;
    Label28: TLabel;
    Label29: TLabel;
    Label30: TLabel;
    Label31: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label32: TLabel;
    Label33: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label34: TLabel;
    Label35: TLabel;
    Label36: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label14: TLabel;
    OpenPictureDialog1: TOpenPictureDialog;
    Image1: TImage;
    Panel2: TPanel;
    Label38: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label39: TLabel;
    Label40: TLabel;
    Label41: TLabel;
    Label42: TLabel;
    Label43: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label46: TLabel;
    Label47: TLabel;
    Label48: TLabel;
    Label49: TLabel;
  end;
end;
```

```

Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label45: TLabel;
Label54: TLabel;
Label44: TLabel;
MainMenu1: TMainMenu;
N1: TMenuItem;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure N1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
  procedure ReadFileHeader(fName : string);
  procedure BmpStego(fName : string; NPlosk : byte);
  procedure StegoBmp(fName : string; NPlosk : byte);
public
  { Public declarations }
  MStR, MStB, M_Diap : byte;
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

uses options;

{$R *.DFM}

procedure TForm1.ReadFileHeader(fName : string);
type
  bmFileHeader = record {заголовок файлу}
    Typf : word; {сигнатура}
    Size : longword; {довжина файлу в байтах}
    Res1 : word; {зарезервовано}
    Res2 : word; {зарезервовано}
    OFbm : longword; {зміщення кадру в байтах (1078)}
  end;
  bmInfoHeader = record {інформаційний заголовок}
    Size : longint; {довжина заголовка в байтах (40)}
    Widt : longint; {ширина кадру (в елементах)}
    Heig : longint; {висота кадру (в елементах)}
    Plan : word; {кількість площин (1)}
    BitC : word; {глибина кольору (біт на елемент) (8)}
    Comp : longint; {тип компресії (0 - ні)}
    SizI : longint; {розмір кадру в байтах}
    XppM : longint; {горизонтальний дозвіл}
    {елементів на метр - зазвичай 0}
    YppM : longint; {вертикальний дозвіл}
    {елементів на метр - зазвичай 0}
    NCoL : longint; {кількість кольорів}
    {якщо максимально допустиме - 0}
    NCoI : longint; {кількість основних кольорів}
  end;
  bmHeader = record {повний заголовок файлу}
    f : bmFileHeader; {заголовок файлу}
    i : bmInfoHeader; {інформаційний заголовок}
    p : array[0..255,0..3]of byte; {таблиця палітри}
  end;
var
  bmpfile : file;
  str : string;
  h2 : word;
  h4 : Longword;
  p : array[0..255,0..3]of byte; {таблиця палітри}
begin
  system.assign(bmpfile,fName);
  reset(bmpfile,1);

  blockread(bmpfile,h2,sizeof(h2));
  str := IntToStr(h2);
  Label1.Caption := str;
  if h2 = 19778 then Label1.Caption := 'BM';
  blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
  str := IntToStr(h4);

```

```

Label2.Caption := str;
blockread(bmpfile,h2,sizeof(h2));
str := IntToStr(h2);
Label3.Caption := str;
blockread(bmpfile,h2,sizeof(h2));
str := IntToStr(h2);
Label4.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label5.Caption := str;

blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label6.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label7.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label8.Caption := str;
blockread(bmpfile,h2,sizeof(h2));
str := IntToStr(h2);
Label9.Caption := str;
blockread(bmpfile,h2,sizeof(h2));
str := IntToStr(h2);
Label10.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label11.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label12.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label13.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label14.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label15.Caption := str;
blockread(bmpfile,h4,sizeof(h4));
str := IntToStr(h4);
Label16.Caption := str;
blockread(bmpfile,p,sizeof(p));

system.close(bmpfile);
end;

procedure TForm1.BmpStego(fName : string; NPlosk : byte);
var
  f, f2      : TFileStream;
  header     : BITMAPFILEHEADER;
  info       : BITMAPINFOHEADER;
  i, j       : longint;
  StB, StR   : word;
  c          : array[1..3] of byte;
  b          : byte;
  A, A1      : array of array of byte;
  Mmax, Mmin : array of byte;
  StrMmax1, StrMmin1,
  StrMmax, StrMmin : array of word;
  A2, V      : array of int64;
  StrA1      : array of byte;
  d          : integer;
  Qelem      : integer;
  Str1       : word;
  N          : int64;
  Log        : extended;
  pfile      : file of int64;
  fbyte1, fbyte2 : file of byte;
begin
  f := TFileStream.Create(fName, fmOpenRead);
  f.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
  f.ReadBuffer(info, sizeof(info));

  f2 := TFileStream.Create(fName+'.inf', fmCreate);
  f2.WriteBuffer(header, sizeof(header));
  f2.WriteBuffer(info, sizeof(info));

```

```

f2.Free;

setlength(A,info.biHeight,info.biWidth);
StR:= info.biWidth shr 8;
if StR=0 then StR:=1;
if StR>2 then StR:=2;

for j := (info.biHeight-1) downto 0 do
begin
for i := 0 to (info.biWidth-1) do
begin
f.ReadBuffer(c, 3); // зчитую колір
A[j,i] := c[NPlok];
end;
f.ReadBuffer(b,StR);
end;

f.Free;

setlength(A1,MStR,MStB);
setlength(Mmax,MStR);
setlength(Mmin,MStR);
setlength(StrA1,MStR*MStB);
setlength(StrMmax1,MStR*MStB);
setlength(StrMmin1,MStR*MStB);
d := MStR*MStB*trunc(info.biWidth/MStB)*trunc(info.biHeight/MStR);
setlength(A2,d);
setlength(StrMmax,d);
setlength(StrMmin,d);

AssignFile(fbyte1,fName+'.max'+IntToStr(NPlok));
Rewrite(fbyte1);
AssignFile(fbyte2,fName+'.min'+IntToStr(NPlok));
Rewrite(fbyte2);

for j := 1 to trunc(info.biHeight/MStR) do
for i :=1 to trunc(info.biWidth/MStB) do
begin

// Обираю масив
for StR := 0 to MStR-1 do
for StB := 0 to MStB-1 do
A1[StR,StB]:=A[MStR*(j-1)+StR,MStB*(i-1)+StB];

// Визначення максимального елемента в рядках матриці
for StR := 0 to MStR-1 do
begin
Mmax[StR]:=0;
Mmin[StR]:=255;
for StB := 0 to MStB-1 do
begin
if Mmax[StR] < A1[StR,StB] then Mmax[StR] := A1[StR,StB];
if Mmin[StR] > A1[StR,StB] then Mmin[StR] := A1[StR,StB];
end;
//Mmax[StR]:=Mmax[StR]+1;
write(fbyte1,Mmax[StR]);
write(fbyte2,Mmin[StR]);
end;

// Перехід вихідного масиву в рядок
for StB := 0 to MStB-1 do //по стовбцям
for StR := 0 to MStR-1 do //по рядкам
StrA1[StB*MStR+StR]:=A1[StR,StB];

// Створення проміжних рядків максимумів і мінімумів довжиною StR x StB
for StB := 0 to MStB-1 do //по стовбцям
for StR := 0 to MStR-1 do //по рядкам
begin
StrMmax1[StB*MStR+StR]:=Mmax[StR]+1;
StrMmin1[StB*MStR+StR]:=Mmin[StR];
end;

for StR := 0 to (MStR*MStB)-1 do
begin
A2[(MStR*MStB)*trunc(info.biWidth/MStB)*(j-1)+(MStR*MStB)*(i-1)+StR]:=StrA1[StR];
StrMmax[(MStR*MStB)*trunc(info.biWidth/MStB)*(j-1)+(MStR*MStB)*(i-1)+StR]:=StrMmax1[StR];
StrMmin[(MStR*MStB)*trunc(info.biWidth/MStB)*(j-1)+(MStR*MStB)*(i-1)+StR]:=StrMmin1[StR];
end;

```



```

end;      //for j=1:fix(INFO.Height/MStR)
         //for i=1:fix(INFO.Width/MStB)

CloseFile(fbyte1);
CloseFile(fbyte2);

AssignFile(pfile,fName+'.p'+IntToStr(NPlosk));
Rewrite(pfile);

Qelem:=0;

while Qelem < trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR do
begin

    %%Перевірка
    d:=0;
    StR1:=0;
    while (d < M_Diap) and ((Qelem+StR1)<trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR) do
    begin
        Log := Log2(StrMmax[Qelem+StR1]-StrMmin[Qelem+StR1]);
        if Log > trunc(Log)
        then d:=d+trunc(Log)+1
        else d:=d+trunc(Log);
        StR1:=StR1+1;
    end;
    if (Qelem+StR1)=trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR
    then StR1:=StR1+1;
    StR1:=StR1-1;

    %%Розрахунок V(i)
    setlength(V,StR1);
    V[0]:=1;
    for StR := 1 to (StR1-1) do
        V[StR]:=V[StR-1]*(StrMmax[Qelem+StR-1]-StrMmin[Qelem+StR-1]);

    %%Рассчет N(j)=sum(A(ij)V(i)) - обробка кадру,
    %%где V(i)- _вектор максимальних значень
    N:=0;
    for StR := 0 to (StR1-1) do
        N:=N+(A2[Qelem+StR]-StrMmin[Qelem+StR])*V[StR];

    %% Побудова рядка трансформант в файл
    Write(pfile,N);

    Qelem:=Qelem+StR1;
end;

CloseFile(pfile);
end;

procedure TForm1.StegoBmp(fName : string; NPlosk : byte);
var
    f, f2      : TFileStream;
    header      : BITMAPFILEHEADER;
    info        : BITMAPINFOHEADER;
    i, j        : longint;
    StB, StR    : word;
    c           : byte;
    b           : byte;
    A           : array of array of byte;
    Mmax, Mmin  : array of byte;
    StrMmax1, StrMmin1,
    StrMmax, StrMmin : array of word;
    A2, V       : array of int64;
    d           : integer;
    Qelem, StR_N : integer;
    Str1        : word;
    N           : int64;
    Log         : extended;
    pfile       : file of int64;
    fbyte1, fbyte2 : file of byte;
begin
    f := TFileStream.Create(fName+'.inf', fmOpenRead);
    f.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читання заголовку
    f.ReadBuffer(info, sizeof(info));
    f.Free;

    d := MStR*MStB*trunc(info.biWidth/MStB)*trunc(info.biHeight/MStR);
    setlength(StrMmax,d);

```

```

setlength(StrMmin,d);
setlength(StrMmax1,MStR*MStB);
setlength(StrMmin1,MStR*MStB);
setlength(Mmax,MStR);
setlength(Mmin,MStR);

//Створення проміжних рядків максимумів і мінімумів довжиною StR x StB
AssignFile(fbyte1,fName+'.max'+IntToStr(NPlosk));
Reset(fbyte1);
AssignFile(fbyte2,fName+'.min'+IntToStr(NPlosk));
Reset(fbyte2);

for i := 0 to trunc(d/(MStR*MStB))-1 do
begin
for StR := 0 to MStR-1 do
begin
read(fbyte1,Mmax[StR]);
read(fbyte2,Mmin[StR]);
end;
for StB := 0 to MStB-1 do //по стовбцям
for StR := 0 to MStR-1 do //по рядкам
begin
StrMmax1[StB*MStR+StR]:=Mmax[StR]+1;
StrMmin1[StB*MStR+StR]:=Mmin[StR];
end;
for StR := 0 to (MStR*MStB)-1 do
begin
StrMmax[i*(MStR*MStB)+StR]:=StrMmax1[StR];
StrMmin[i*(MStR*MStB)+StR]:=StrMmin1[StR];
end;
end;

CloseFile(fbyte1);
CloseFile(fbyte2);

Qelem:=0;
setlength(A2,d);

AssignFile(pfile,fName+'.p'+IntToStr(NPlosk));
Reset(pfile);

while Qelem < trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR do
begin
//%Перевірка
d:=0;
StR1:=0;
while (d < M_Diap) and ((Qelem+StR1)<trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR) do
begin
Log := Log2(StrMmax[Qelem+StR1]-StrMmin[Qelem+StR1]);
if Log > trunc(Log)
then d:=d+trunc(Log)+1
else d:=d+trunc(Log);
StR1:=StR1+1;
end;
if (Qelem+StR1)=trunc(info.biWidth/MStB)*MStB*trunc(info.biHeight/MStR)*MStR
then StR1:=StR1+1;
StR1:=StR1-1;

//%Розрахунок V(i)
setlength(V,StR1);
V[0]:=1;
for StR := 1 to (StR1-1) do
V[StR]:=V[StR-1]*(StrMmax[Qelem+StR-1]-StrMmin[Qelem+StR-1]);

Read(pfile,N);
//% Розрахунок A(ij) – відновлення кадру
for StR := 0 to StR1-1 do //по стовбцям
A2[Qelem+StR]:=trunc(N/V[StR])-trunc(N/(V[StR]*(StrMmax[Qelem+StR]-StrMmin[Qelem+StR]))*(StrMmax[Qelem+StR]-
StrMmin[Qelem+StR])+StrMmin[Qelem+StR]);

Qelem:=Qelem+StR1;
end;

CloseFile(pfile);

//% Відновлення вихідного масиву з рядка
setlength(A,info.biHeight,info.biWidth);
StR_N:=0;
for j := 1 to trunc(info.biHeight/MStR) do

```

```

for i :=1 to trunc(info.biWidth/MStB) do
begin
  for StB := 0 to MStB-1 do          %% по столбцам
  for StR := 0 to MStR-1 do          %% по рядкам
  begin
    A[MStR*(j-1)+StR,MStB*(i-1)+StB]:=A2[StR_N];
    StR_N:=StR_N+1;
  end;
end;

f2 := TFileStream.Create(fName+'.pl'+IntToStr(NPlosk), fmCreate);
for j := (info.biHeight-1) downto 0 do
for i := 0 to (info.biWidth-1) do
  f2.WriteBuffer(A[j,i], 1);
f2.Free;
end;

function CKO(fName1, fName2 : string): Extended; forward;

function CKO;
var
  f1, f2      : TFileStream;
  c1, c2      : array [1..3] of byte;
  i, j        : longint;
  header      : BITMAPFILEHEADER;
  info        : BITMAPINFOHEADER;
  StR, b      : byte;
  k           : byte;
  CKO1        : Extended;
begin
  CKO1 := 0;

  f1 := TFileStream.Create(fName1, fmOpenRead);
  f1.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
  f1.ReadBuffer(info, sizeof(info));

  f2 := TFileStream.Create(fName2, fmOpenRead);
  f2.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
  f2.ReadBuffer(info, sizeof(info));

  StR := info.biWidth shr 8;
  if StR=0 then StR:=1;
  if StR>2 then StR:=2;
  for j := 0 to (info.biHeight-1) do
  begin
    for i := 0 to (info.biWidth-1) do
    begin
      f1.ReadBuffer(c1, 3);
      f2.ReadBuffer(c2, 3);
      if (i <= Form1.MStB*trunc(info.biWidth/Form1.MStB)-1) and (j >= info.biHeight-Form1.MStR*trunc(info.biHeight/Form1.MStR)) then
        for k := 1 to 3 do
          CKO1 := CKO1 + (c1[k]-c2[k])*(c1[k]-c2[k]);
        end;
      f1.ReadBuffer(b,StR);
      f2.ReadBuffer(b,StR);
    end;
  end;

  f1.Free;
  f2.Free;

  CKO:=sqrt(CKO1/(Form1.MStR*Form1.MStB*trunc(info.biWidth/Form1.MStB)*trunc(info.biHeight/Form1.MStR)));
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
  NPlosk, StR,
  b      : byte;
  i, j   : longint;
  f, f1, f2, f3 : TFileStream;
  header  : BITMAPFILEHEADER;
  info    : BITMAPINFOHEADER;
  fStr    : string;
  fb     : file of Byte;
  fint   : file of int64;
  ftext  : textfile;
  int    : int64;
begin
  if FileExists(Edit1.Text) then
  begin

```

```

//Компресія площин
for NPlosk := 1 to 3 do
  BmpStego(Edit1.Text,NPlosk);

//
NPlosk := 1;
AssignFile(fint, Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk));
Reset(fint);
AssignFile(ftext, Edit1.Text+'.asc'+IntToStr(NPlosk));
Rewrite(ftext);
while not EOF(fint) do
begin
  read(fint,int);
  write(ftext,IntToStr(int),' ');
end;
CloseFile(ftext);
CloseFile(fint);

//_Розрахунок розмірів даних після компресії
i := 0;
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
  AssignFile(fb, Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk));
  Reset(fb);
  TLabel(FindComponent('Label' + IntToStr(49+NPlosk))).Caption := IntToStr(FileSize(fb));
  i := i + FileSize(fb);
  CloseFile(fb);
end;
Label49.Caption := IntToStr(i);

AssignFile(fb, Edit1.Text+'.max1');
Reset(fb);
Label54.Caption := IntToStr(FileSize(fb));
i := FileSize(fb)*6+54;
CloseFile(fb);
Label53.Caption := IntToStr(i);

Label44.Caption := IntToStr(i+StrToInt(Label49.Caption));
Label49.Caption := Label49.Caption + '+12';

//_Створення файлу архіву
f := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.paf', fmCreate or fmShareExclusive);
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
  f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk), fmOpenRead or fmShareDenyWrite);
  try
    i := f1.Size;
    f.WriteBuffer(i, sizeof(i));
    f.CopyFrom(f1, 0);
  finally
    f1.Free;
  end;
end;
f.Free;

//_Створення службового файлу архіву
f := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.pafd', fmCreate or fmShareExclusive);
f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.inf', fmOpenRead);
f1.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
f1.ReadBuffer(info, sizeof(info));
f.WriteBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
f.WriteBuffer(info, sizeof(info));
f1.Free;

for NPlosk := 1 to 3 do
begin
  f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.max'+IntToStr(NPlosk), fmOpenRead or fmShareDenyWrite);
  try
    f.CopyFrom(f1, 0);
  finally
    f1.Free;
  end;
end;

for NPlosk := 1 to 3 do
begin
  f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.min'+IntToStr(NPlosk), fmOpenRead or fmShareDenyWrite);
  try
    f.CopyFrom(f1, 0);
  end;
end;

```

```

finally
    f1.Free;
end;
end;

f.Free;

// Видаляти тимчасові файли
if Form2.CheckBox1.Checked = True then
begin
DeleteFile(Edit1.Text+'.inf');
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
DeleteFile(Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk));
DeleteFile(Edit1.Text+'.max'+IntToStr(NPlosk));
DeleteFile(Edit1.Text+'.min'+IntToStr(NPlosk));
end;
end;

//-----

// Відновлення з файлу архіву
f := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.paf', fmOpenRead or fmShareDenyWrite);
try
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk), fmCreate or fmShareExclusive);
try
f.ReadBuffer(i, sizeof(i));
f1.CopyFrom(f, i);
finally
f1.Free;
end;
end;
finally
f.Free;
end;

//Відновлення таблиць min-max зі службового файлу архіву
f := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.pafd', fmOpenRead or fmShareDenyWrite);
try
f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.inf', fmCreate or fmShareExclusive);
f1.CopyFrom(f, 54);
f1.Free;
i := Trunc((f.Size-54)/6);
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.max'+IntToStr(NPlosk), fmCreate or fmShareExclusive);
try
f1.CopyFrom(f, i);
finally
f1.Free;
end;
end;
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.min'+IntToStr(NPlosk), fmCreate or fmShareExclusive);
try
f1.CopyFrom(f, i);
finally
f1.Free;
end;
end;
finally
f.Free;
end;

// Відновлення площин
for NPlosk := 1 to 3 do
StegoBmp(Edit1.Text, NPlosk);

// Відновлення кадру з площин
f := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.inf', fmOpenRead);
f.ReadBuffer(header, sizeof(header)); // читаю заголовки
f.ReadBuffer(info, sizeof(info));
f.Free;

fStr := ChangeFileExt(Edit1.Text, '_poly') + ExtractFileExt(Edit1.Text);
f := TFileStream.Create(fStr, fmCreate);

```

```

f.WriteBuffer(header, sizeof(header));
f.WriteBuffer(info, sizeof(info));

f1 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.p1', fmOpenRead);
f2 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.p2', fmOpenRead);
f3 := TFileStream.Create(Edit1.Text+'.p3', fmOpenRead);

StR:= info.biWidth shr 8;
if StR=0 then StR:=1;
if StR>2 then StR:=2;
for j := (info.biHeight-1) downto 0 do
begin
for i := (info.biWidth-1) downto 0 do
begin
f1.ReadBuffer(b, 1);
f.WriteBuffer(b, 1);
f2.ReadBuffer(b, 1);
f.WriteBuffer(b, 1);
f3.ReadBuffer(b, 1);
f.WriteBuffer(b, 1);
end;
b:=0;
f.WriteBuffer(b,StR);
end;

f3.Free;
f2.Free;
f1.Free;
f.Free;

// Видаляти тимчасові файли
if Form2.CheckBox1.Checked = True then
begin
DeleteFile(Edit1.Text+'.inf');
for NPlosk := 1 to 3 do
begin
DeleteFile(Edit1.Text+'.p'+IntToStr(NPlosk));
DeleteFile(Edit1.Text+'.max'+IntToStr(NPlosk));
DeleteFile(Edit1.Text+'.min'+IntToStr(NPlosk));
DeleteFile(Edit1.Text+'.pl'+IntToStr(NPlosk));
end;
end;

Label47.Caption := FloatToStr(CKO(Edit1.Text,fStr));
end;
end;

procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
// Відкрити файл
if OpenPictureDialog1.Execute
then Edit1.Text := OpenPictureDialog1.FileName;
if FileExists(Edit1.Text) {and ((ExtractFileExt(Edit1.Text)='.BMP') or (ExtractFileExt(Edit1.Text)='.bmp'))} then
begin
ReadFileHeader(Edit1.Text);
Image1.Picture.LoadFromFile(Edit1.Text);
end;
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var
CurentDir    : string;
i            : byte;
begin
// Визначення поточного директорія (папки)
system.GetDir(0,CurentDir);
OpenPictureDialog1.InitialDir := CurentDir;

for i := 1 to 16 do
TLabel(FindComponent('Label' + IntToStr(i))).Caption := '';
for i := 47 to 54 do
TLabel(FindComponent('Label' + IntToStr(i))).Caption := '';

MStR := 8;
MStB := 8;
M_Diap := 63;
end;
end.

```