

ВІСНОВОК
про наукову новизну, теоретичне та практичне
значення результатів дисертації
Усіка Павла Сергійовича на тему:

«Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в
комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку»
для здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дослідження. Дві основні тенденції спонукають індустрію безпровідного зв'язку розвивати мережі стільникового зв'язку п'ятого покоління: стрімке збільшення попиту на безпровідні широкосмугові послуги, які потребують значно більших швидкостей передачі даних та мережі значно більшої ємності, які можуть надавати відео та інші ресурсоємні послуги; та послуги Інтернету Речей (IoT), що спонукають до необхідності масового підключення пристройів, а також до необхідності наднадійного зв'язку з наднизькою затримкою.

Можна визначити низку різних областей застосування, де будуть використовуватись дані мережі, а саме: V2X комунікація (комунікація транспортних засобів між собою та з іншими об'єктами інфраструктури); промислова автоматизація та комунальні програми; безпровідні медичні послуги; споживчі та бізнес-послуги віртуальної та доповненої реальності; деякі додатки розумного міста; розумні будинки та велика кількість застосувань мобільного широкосмугового зв'язку.

Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що розвиток стільникових мереж п'ятого покоління і підвищення їх ефективності є задачею актуальною та перспективною.

При цьому, із розвитком стільникових мереж з'являються нові більш досконалі мережеві архітектури для передачі даних та керування. Проте залишається ряд невирішених завдань та проблемних місць, які необхідно вирішувати та усувати відповідно.

Так, наприклад, за останні десятиріччя модель хмарних потужностей та обчислень отримала широке застосування в області Інформаційних Технологій

(IT). Проте, не дивлячись на свій успіх, впровадження хмарних технологій має подолати декілька проблем, з якими вони зіштовхнулись при появі Інтернету речей (IoT) та мереж 5-го покоління. В першу чергу, це швидкий ріст кількості пристройів IoT (такі як сенсори, виконавчі механізми, мобільні телефони та інші пристлади доступу), що створюють дуже велику кількість даних, які можуть привести до перевантаження мережі, центрів обробки даних та великих фінансових витрат. По-друге, це велика фізична відстань між пристроями IoT та хмарними центрами обробки даних, що приводить до великих затримок, які можуть бути критичними для деяких чутливих до затримок програмних додатків (наприклад, потокова передача відео високої якості, інтерактивні мобільні ігри, програми доповненої реальності та інші спеціалізовані додатки), які потребують вкрай малої затримки отримання даних від кінцевого пристрою (наприклад, 10 мс або навіть 1 мс). По-третє, додаткам, які розгорнуті в хмарі, тяжко адаптуватися до змін локальних умов (наприклад, точне місцерозташування користувачів та умови роботи локальної мережі) розподілених мобільних пристройів.

З метою вирішення цих проблем, пов'язаних з хмарами, нещодавні дослідження представили аналогічну концепцію, яка розширяє можливості хмарних розрахунків, які близче до кінцевих користувачів (тобто на межі мережі) – Mobile Edge Computing or Multi-access Edge Computing (MEC). MEC надає новий рівень розподілених обчислювальних вузлів між пристроями кінцевих користувачів і хмарними центрами обробки даних. Тому додатки, які працюють на MEC, можуть виконуватись дії, які близькі до їх користувачів, перед підключенням до хмари. Це значно знижує навантаження на мережу, забезпечує більш оперативну відповідь і надає змогу отримувати локальну контекстну інформацію найбільш ефективним способом.

Останнім часом з'явилося багато наукових праць вітчизняних та здебільшого закордонних дослідників (Климаш М.М., Лемешко О.В., Одарченко Р.С., S. Zhou, Y. Chang, Robert Schober, Albert Banches, Tuyen X. Tran, Luca Foschini та багато інших, присвячених дослідженням оцінки та підвищення ефективності використання MEC для різних застосувань

для підвищення надійності та динамічності використання їх у мережах 5G. Проте дана технологія розподілених обчислень зовсім не позбавлена недоліків, які необхідно нівелювати для її повсюдного розгортання.

Таким чином, розробка методів підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку є важливою науково-технічною задачею, спрямованою на вдосконалення якості обслуговування абонентів сучасних стільникових мереж і забезпечення вимог до мереж наступних поколінь.

Тему затверджено на засіданні вченої ради Черкаського державного технологічного університету 17.02.2021 р. (протокол № 9).

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку.

Для досягнення поставленої мети автором вирішуються наступні **задачі**:

- розробка методу оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора;
- удосконалення методу динамічного розвантаження та планування задач для граничних комп'ютерних систем оператора стільникового зв'язку;
- удосконалення методу керування випромінюваною потужністю мобільних пристройів під час розвантаження завдань в розподіленій комп'ютерній системі граничних обчислень оператора стільникового зв'язку;

Об'єктом дослідження є процес передавання та обробки даних у комунікаційних мережах комп'ютерних систем операторів стільникового зв'язку.

Предметом дослідження є методи та моделі передавання та обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених цілей в дисертаційній роботі використано: методи теорії інформації та передавання сигналів – для аналізу методів передавання інформації у стільникових мережах четвертого та п'ятого поколінь; методи теорії розповсюдження електромагнітних хвиль – для дослідження процесу затухання електромагнітного поля та визначення рівня інтерференції; методи теорії телетрафіку – для генерування та дослідження

розділу навантаження на мережу; методи комп'ютерного моделювання – для перевірки адекватності розроблених моделей та алгоритмів; математичної статистики – для обробки отриманих експериментальним шляхом та під час комп'ютерного моделювання статистичних даних, теорія множин – для опису множин мережевих функцій тощо.

Формулювання наукового завдання. У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу, що полягає в підвищенні ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку. Ця задача передбачає необхідність удосконалення існуючих методів підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку, оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора.

Дисертаційне дослідження містить в собі наступні **наукові положення, розроблені особисто дисертантом:**

– *вперше розроблено* метод оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора, що на відміну від відомих, за рахунок використання моделі граничних обчислень, узагальненої моделі мережі стільникового оператора та евристичного рішення, заснованого на використанні генетичних алгоритмів, дозволяє зменшити рівень деградація якості обслуговування кінцевих абонентів мережі стільникового оператора;

– *отримав подальший розвиток* метод динамічного розвантаження та планування задач для граничних комп'ютерних систем оператора стільникового зв'язку, який за рахунок формування задачі змішаного цілочисельного програмування та її вирішення за допомогою декомпозиції Бендера, надає змогу максимізувати кількість допущених та відповідно виконаних завдань на розподілених граничних ресурсах мережі стільникового оператора.;

– *отримав подальший розвиток* метод керування випромінюваною потужністю мобільних пристройів під час розвантаження завдань в розподіленій

комп'ютерній системі граничних обчислень оператора стільникового зв'язку, який за рахунок послідовного використання моделі для оцінки умови необхідності розвантаження завдань в мобільній мережі та керування випромінюваною потужністю радіопередавальних пристройів в каналах з інтерференцією на основі теорії ігор, дозволяє зменшити використання енергії під час використання граничних обчислень в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку;

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки та рекомендації роботи обґрунтовано достатньою мірою. Обґрунтованість отриманих теоретичних результатів дисертації базується на використанні методів теорії інформації та передавання сигналів, теорії розповсюдження електромагнітних хвиль, теорії телетрафіку, комп'ютерного моделювання, математичної статистики та теорії множин.

Для підтвердження висунутих наукових положень здобувачем виконано дослідні випробування на основі розроблених програмних моделей із застосуванням методів і засобів дослідження статистичних властивостей систем передавання даних.

Рівень теоретичної підготовки здобувача. Дисертантом виконано змістовне дослідження предметної області, розглянуто основні методи забезпечення інтегрованого захисту інформації, методи кодування мовленнєвої інформації, а також методи забезпечення множинного доступу. На основі опрацювання значної кількості літературних джерел, наукових публікацій, патентного пошуку автором роботи в максимальній мірі враховано наукові досягнення в обраному напрямку досліджень. Отримані результати свідчать також про грунтовні теоретичні знання дисертанта в області теорії ймовірності і математичної статистики, теорії інформації, теорії розподілених обчислень, цифрової обробки сигналів та теорії систем передачі даних.

Повнота викладу матеріалів дисертації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, у тому числі: 1 розділ колективної монографії, 3 статті у фахових виданнях, які входять в перелік наукових

видань, затверджений МОН України, 1 стаття у періодичних виданнях, які включені до наукометричної бази Scopus, інших 2 праці, які включені до наукометричної бази Scopus, матеріали доповідей на науково-технічних конференціях – 5. Повній перелік публікацій:

- [1] Usik P., Odarchenko R., Volkov O., Simakhin V., Gospodarchuk O., Burmak Yu. 5G networks cyberincidents monitoring system for drone communications. *Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*: 2019 IEEE 5th Int. Conf., (Oct. 22–24, 2019). P. 165–169 (**Scopus**).
- [2] Usik P., Smirnov O., Odarchenko R., Abakumova A., Kundyz M. QoE assesment technique for media delivery in 5g networks. *Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*: 2019 IEEE Int. Sci.-Pract. Conf., (Kyiv, Oct. 8–11, 2019). P. 597–601 (**Scopus**).
- [3] Ponomarenko O., Bulakovskaya A., Skripnichenko A., Usik P., Olenyuk A. Tomographic application-specific integrated circuits for fast radon transformation. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. No. 2654. P. 339–351 (**Scopus**).
- [4] Усік П.С., Смірнов О.А. Дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g. *Кібербезпека та інформаційні технології*: монографія. Харків: ДІСА ПЛЮС, 2020. С. 122–135.
- [5] Котелянець В.В., Усік П.С., Кищенко В.В., Гнатюк В.О. Інтелектуалізована система моніторингу параметрів навколошнього середовища на базі технології інтернету речей. *Вісник інженерної академії України*. 2018. № 4. С. 133–140 (**фахове видання**).
- [6] Усік П.С., Полігенко О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю., Смірнов О.А. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв’язку». *Проблеми телекомуникацій*. 2020 № 1(26). С. 83-96 **фахове видання, категорія «Б»**.
- [7] Усік П.С., Смірнов О.А., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп’ютерних системах операторів стільникового зв’язку. *Вісник Черкаського*

державного технологічного університету. 2020. № 4. С. 103–110 (фахове видання, категорія «Б»).

[8] Усік П.С., Полігенько О.О., Смірнов О.А. Напрямки підвищення ефективності управління підсистемою базових станцій стільникових операторів. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: тези доп. наук.-техн. конф., (м. Київ, 21–23 листоп. 2018 р.). Київ: НАУ, 2019. С. 32.

[9] Одарченко Р.С., Мараткызы К., Усик П.С. Аналіз перспектив использования сетей 5g для автоматизации производственных процессов. *Өндірістегі цифрлық технологиялар конференциясы*: Республикалық ғылыми және практикалық конференциясының жинағы=Цифровые технологии в промышленности: материалы респ. науч.-практ. конф.=Digital technologies in industry: Materials of sci. and pract. conf. Казахстан, Актау: КГУТИ им. Ш. Есенова, 2019. Каз., рус., англ. С. 42–44.

[10] Усік П.С., Смірнов О.А., Якименко Н.М. Перспективи використання мережевих технологічних рішень в 5g. *Інформаційна безпека та інформаційні технології (Information Security and Information Technologies)*: II Міжнар. наук.-практ. конф., (м. Кропивницький, 2–3 квіт. 2020 р.). С. 56.

[11] Усік П.С., Смірнов О.А. Підвищення ефективності функціонування підсистеми базових станцій на основі Multi-Access Edge Computing. *Інформаційні технології – 2020 (IT-2020)*: VII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих науковців, (м. Київ, 21 трав. 2020 р.). С. 135–136.

[12] Chumachenko B.S., Zaitseva N.O., Grigorenko D.K., Usik P.S. Research of the advantages and disadvantages of the network virtualization of network resources of a consistent architecture of 5g networks. *POLIT. Challenges of science today*, (Apr. 1–3, 2020). P. 99–100.

Результати аналізу роботи, в тому числі за допомогою перевірки тексту дисертації з використанням Системи виявлення текстових збігів, свідчить про відповідність дисертації принципам академічної добросереди.

Апробація основних положень дисертаційного дослідження відбувалась на наступних наукових конференціях:

- Міжнародна науково-практична конференція «Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» (Київ, 2018-2020 рр.);
- VIII Міжнародна науково-технічна конференція "Комп'ютерні системи і мережні технології" (Київ, НАУ, 2019 р.);
- Міжнародна науково-технічна конференція "ITSEC" (Київ, НАУ, 2019 р.);
- Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів "Політ. Сучасні проблеми науки" (Київ, НАУ, 2019 р., 2020 р.);
- Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 2019, 2020 р.р.);
- Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція (Кропивницький, 2019, 2020 рр.);
- Перший Міжнародний семінар з кібергігієни і управління конфліктами в глобальних інформаційних мережах (Київ, НАУ, 2019 р.);
- IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)» (Харків, ХНУРЕ, 2019 р.).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «ІСП Імперіал» (методика динамічного планування та розвантаження завдань в граничних комп'ютерних системах операторів зв'язку, акт від 14.09.2020) та у навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету (метод оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора, акт від 21.09.2020).

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертацію написано грамотно, а стиль викладу в них матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Відповідність змісту дисертації освітньо-науковій програмі. Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 123 - Комп'ютерна інженерія, освітньо-науковій програмі «Комп'ютерні системи та мережі».

Рекомендація дисертації до захисту. Дисертація Усіка П.С. на тему «Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія рекомендується до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Усіка П.С. сформовано за результатами проведення фахового семінару на кафедрі інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії Черкаського державного технологічного університету 30.03.2021 р. На засіданні фахового семінару були присутні: проф. Рудницький В.М., проф. Смірнов О.А., проф. Федоров Є.Є., проф. Гальченко В.Я., доц. Бабенко В.Г., доц. Миронець І.В., доц. Хрульов М.В., доц. Шувалова В.А., доц. Миронюк Т.В., доц. Лавданський А.О., доц. Лада Н.В., ст. викладач Гресько С.О., ст. викладач Сисоєнко С.В. Рішення про рекомендацію дисертації до захисту підтримано 13 особами з 13 присутніх на семінарі.

Рецензенти:

професор кафедри приладобудування,
мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаського державного
технологічного університету,
д.т.н., професор


В.Я. Гальченко

професор кафедри робототехніки
засвідчує
та спеціалізованих комп'ютерних систем
Черкаського державного
технологічного університету,
д.т.н., професор


Є.Є. Федоров