

Черкаський державний технологічний університет
Міністерство освіти і науки України

ПУСТОВАРОВ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 004.827+528.8(043.3)

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО РОЗПІЗНАВАННЯ БУДІВЕЛЬ НА КОСМІЧНИХ ТА
АЕРОФОТОЗНІМКАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Черкаси – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович**,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри «Обчислювальна техніка та програмування»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **ГАЙДУР Галина Іванівна**,
Державний університет телекомунікації Міністерства освіти і науки України,
завідувачка кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **ОЛІЗАРЕНКО Сергій Анатолійович**,
Харківський Національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри «Електронні обчислювальні машини».

Захист відбудеться "06" травня 2021 року о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18000, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18000, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460.

Автореферат розісланий "31" березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д73.052.04
к.т.н, доцент



Ю.Ю. БОНДАРЕНКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з особливостей розвитку сучасної інфраструктури держави є швидке зростання міст. Зростання міських територій потребує удосконалення систем управління. Для здійснення ефективного управління сучасним містом необхідно своєчасне отримання даних, що забезпечується веденням відповідного моніторингу. Однією з основних вимог, що пред'являються до такого моніторингу, є точність отриманих результатів моніторингу. При цьому, найбільш важливим при веденні моніторингу є виявлення змін міського середовища і аналіз причин їх виникнення. Найпоширенішими змінами міського середовища, що можуть контролюватися, є знесення і зведення будівель, виявлення незаконного будівництва, зміни площі зелених насаджень, будівництво або розширення доріг і т.д.

Ефективним підходом до підвищення точності результатів моніторингу міського середовища є підхід, що заснований на розробці знання орієнтованих систем підтримки прийняття рішень (СППР) для розпізнавання міських об'єктів на цифрових космічних та аерофотознімках з визначенням наявності їх змін. Основним елементом знання орієнтованих СППР подібного класу є база знань, що представляє собою сукупність правил, фактів, механізмів виведення, реалізованих на основі використання знання-орієнтованих моделей, наприклад, глибоких нейромережевих або гібридних (нечітких нейромережевих) моделей. Розробка бази знань є одним з найбільш трудомістких етапів при створенні знання орієнтованих СППР. В свою чергу одним з найбільш складних етапів розробки СППР є етап формального представлення знань про процеси, що автоматизуються. Але, при цьому, питання комплексного підходу до розробки СППР і зокрема бази знань на промисловому рівні для розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках з використанням глибоких нейронних мереж (ГНМ) і гібридних (нечітких нейромережевих) моделей є недостатньо дослідженими.

Традиційно, в основі базової технології створення знання орієнтованих СППР використовуються класичні технології розробки інтелектуальних систем. При цьому, в якості основного підходу використовується метод прототипування, який заснований на виконанні певної послідовності етапів розробки СППР з проміжним поданням, уточненням і формуванням відповідного прототипу. У той же час, для етапів класичних технологій створення інтелектуальних систем характерно досить умовне, не формалізоване визначення меж виконання цих етапів і переходів між ними. Все це значно ускладнює забезпечення технологічності створення СППР для моніторингу міського середовища з промислової точки зору, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з її створення, ускладнює процес управління веденням розробки і т.д. Безпосередньо за темою автоматичного (автоматизованого) розпізнавання об'єктів на даний час існує значна кількість досліджень. Наприклад, цим питанням були присвячені дослідження, які проводилися під керівництвом таких відомих вчених, як Горелік А.М. Ротштейн АП., Герасімов Б.М. та ін. Однак, розроблені в рамках цих досліджень підходи або не дозволяють у повному обсязі врахувати всі фактори, що впливають на процес формалізації знань про розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках, або

ґрунтуються на математичному апараті без врахування сучасних тенденцій у відповідній галузі науки.

Таким чином, у предметній області має місце протиріччя, що полягає, з одного боку, – у необхідності розробки знання орієнтованих систем підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках з використанням глибоких нейронних мереж і нечіткої логіки, з іншого боку, – у обмежених можливостях існуючих технологій розробки подібного класу систем.

Для розв'язання вказаного протиріччя в дисертаційній роботі сформульоване і вирішене актуальне *наукове завдання* – побудови інформаційної технології розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках для підвищення ефективності автоматизованого моніторингу міського середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Базовими для проведення дисертаційних досліджень є науково-дослідні роботи (НДР): шифр “Тор-1” (номер ДР 0101U000615), яка виконувалась у Харківському університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба та в якій наукові результати дисертаційної роботи використані частково та – шифр “Повітря” (номер № ДР 0101U000835), яка виконувалась у Центрі контролю космічного простору України та в якій наукові результати дисертаційної роботи використані частково.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках з використанням методів сегментації та виявлення змін на різночасних цифрових знімках.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні часткові завдання:

- 1) аналіз стану та напрямків автоматизації процесів розпізнавання об'єктів на цифрових космічних та аерофотознімках при моніторингу міського середовища;
- 2) обґрунтування вибору напрямку дослідження та визначення основних підходів щодо удосконалення процесу автоматизованого моніторингу міського середовища, постановка завдання на дослідження;
- 3) удосконалення апарату формалізації знань про розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках на основі використання знання-орієнтованих методів і моделей;
- 4) побудова інформаційної технології розробки СППР для розпізнавання будівель на аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища;
- 5) моделювання та оцінка ефективності розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища з використанням розробленої СППР.

Об'єкт дослідження: процеси розробки систем підтримки прийняття рішень.

Предмет дослідження: інформаційна технологія розробки системи підтримки прийняття рішень, моделі і методи для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках.

Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні:

системного аналізу – для пошуку проблемних питань щодо розпізнавання

будівель на космічних та аерофотознімках;

моделювання – для формування моделей розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках;

теорії машинного навчання та нечіткої логіки – для удосконалення моделі згорткової нейронної мережі для сегментації об'єктів на цифрових знімках;

теорію прийняття рішень – для формування раціональних управлінських рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках у СППР;

моделі і методи штучного інтелекту – для обґрунтування структури СППР про розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках;

методи об'єктно-орієнтованого проектування та структурного синтезу інформаційних систем – для проектування відповідної інформаційної технології у складі СППР.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Удосконалено модель згорткової нейронної мережі для сегментації об'єктів на цифрових знімках, у якій, на відміну від відомих, в якості нейромережевого звужуючого блоку для підмережі вилучення ознак використовується попередньо навчена згорткова нейронна мережа з більш глибокою архітектурою, а в якості класифікатора використовується модифікована нейронна мережа Ванга-Менделя, яка реалізує операції над інтервальними нечіткими множинами другого типу, що дозволяє забезпечити більшу точність сегментації визначених об'єктів на цифрових знімках.

2. Дістав подальший розвиток метод формалізації знань щодо семантичної сегментації будівель на космічних та аерофотознімках, у якому, на відміну від відомих, розроблений апарат формалізації побудований на основі використання удосконаленої згорткової нейромережевої моделі для сегментації об'єктів та модифікованої методики передачі навчання з використанням декількох вузьких місць (проміжних зв'язків між звужуючим та розширюючим блоками удосконаленої згорткової нейромережевої моделі), що дозволяє підвищити якість та зменшити час навчання нечіткої згорткової нейромережевої моделі.

3. Вперше побудовано інформаційну технологію розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища, яка на основі функціонального моделювання формально представляє процес розробки системи підтримки прийняття рішень з використанням нечіткої згорткової нейромережевої моделі, що дозволяє забезпечити уніфікацію та стандартизацію процесу розробки системи підтримки прийняття рішень відповідного класу.

Практичне значення отриманих результатів визначається можливістю їх використання при розробці перспективних систем автоматизованого моніторингу міського середовища та підтверджується актами впровадження наукових результатів: у навчальному процесі і науково-дослідних роботах, а також при виконанні міжнародних проектів, які виконувалися і визначається можливістю їх використання при розробці перспективних систем автоматизованого моніторингу міського середовища.

Застосування розробленої СППР дозволяє отримати вигоду в точності

сегментації будівель на цифрових космічних та аерофотознімках до 3 %.

Основні результати роботи реалізовані: в роботах ДП «ЗАО НДІРВ» на замовлення Національного агентства України; в роботах ПрАТ «НВП Сатурн» (акт впровадження вх.№01-2/0036 від 20.01.21); в роботах НВП ХАРТРОН АРКОС ЛТД; в навчальному процесі кафедри «Обчислювальна техніка та програмування» (акт впровадження від 12.03.21).

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати дисертації отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автором: [1] – проаналізовано можливість використання нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя для попиксельної класифікації визначених об'єктів та розроблено архітектуру модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя у якості класифікатора для сегментації будівель на космічних та аерофотознімках; [2] – розроблено пропозиції щодо реалізації класифікатора автокодувальника з використанням модифікованої нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя на основі ІНМТ2 для попиксельної класифікації визначених об'єктів та створення узагальненої нейромережевої моделі для сегментації міських будов. Роботи [3, 4] виконані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати виконаних у дисертації досліджень доповідались і обговорювались на 12 міжнародних, всеукраїнських, відомчих науково-технічних і науково-практичних конференціях: науково-практичній конференції Присвячена 60-ій річниці запуску першого штучного супутника Землі “Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи” 4 жовтня 2017 року, м. Київ; XI Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційна безпека та інформаційні технології” 24 – 25 квітня 2019 року, м. Харків; IX Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління” 11-12 квітня 2019 року, м. Баку – м. Харків – м. Жилка; Міжнародній науково-технічній конференції. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ. 16-17 травня 2019 року, м. Львів; Міжнародній науково-практичній конференції “Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи” 12-13 вересня 2019 року, м. Одеса; 19 науково-технічній конференції “Створення та модернізація ОВТ в сучасних умовах” 04-06 вересня 2019 року, м. Чернігів; X Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління” 10-11 квітня 2020 року, м. Баку – м. Харків – м. Жилка; XXVIII Міжнародній науково-практичній конференції MicroCAD-2020 “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” 13-15 травня 2020 року, м. Харків; Міжнародній науково-практичній конференції “Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи” 10-11 вересня 2020 року, м. Одеса; XX науково-технічній конференції “Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах” 03-04 вересня 2020 року, м. Чернігів; Міжнародній науковій конференції “Трансформація суспільних наук: соціально-економічний, лінгвістичний, політичний та ІТ-виміри” 11 вересня 2020 року, м. Дніпро; Do desenvolvimento mundial como resultado de realizações em ciência e investigação científica: Coleção de trabalhos científicos “ΛΟΓΟΣ” com materiais da

conferência científico prática internacional, 9 de outubro de 2020. Lisboa, Portugal: Plataforma Científica Europeia.

Публікації. Основні наукові положення і рекомендації дисертаційного дослідження відображені в повному обсязі у 4 статтях, написаних здобувачем самостійно і у співавторстві, 2 монографіях та 12 тезах доповідей на конференціях. Усі статті опубліковані у журналах та збірниках наукових праць, що входять до переліку наукових фахових видань, дозволених для публікації отриманих при виконанні роботи результатів досліджень по технічних науках, серед них 1 стаття – у періодичному науковому виданні Європейського Союзу.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 162 сторінки, у тому числі 12 сторінок анотації; 132 сторінки основного тексту; 1 рисунок на 1 окремій сторінки та 22 рисунки, 3 таблиці за текстом; список використаних джерел з 150 найменувань на 16 сторінках; 3 додатки на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, сформульовано мету та завдання дисертації, показано зв'язок роботи з науковими темами та програмами, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, виділено особистий внесок автора в опублікованих роботах зі співавторами, наведені дані про апробацію, публікації та впровадження основних результатів.

У першому розділі проведено аналіз стану та напрямків автоматизації вирішення задач розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища.

За результатами аналізу особливостей розробки СППР для розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища визначена необхідність дослідження та побудови інформаційної технології розробки СППР, яка забезпечить адекватні засоби формалізації відповідних знань з врахуванням специфіки задач моніторингу міського середовища, а також забезпечити уніфікацію та стандартизацію процесу розробки СППР відповідного класу. Визначена необхідність підвищення точності результатів розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках. При цьому, точність розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках характеризується наступними показниками:

1) точність класифікації об'єктів міського середовища:

$$Prec = \frac{Pos^{true}}{Pos^{true} + Pos^{false}} 100\% , \quad (1)$$

де Pos^{true} – істино-позитивне рішення; Pos^{false} - помилково-позитивне рішення;

2) повнота класифікації об'єктів міського середовища:

$$Rec = \frac{Pos^{true}}{Pos^{true} + Neg^{false}} 100\% , \quad (2)$$

де Neg^{false} – помилково-негативне рішення.

Проведено аналіз наукових досліджень з питань використання знання-орієнтованих методів для формалізації задач сегментації цифрових космічних та аерофотознімків. Визначено, що за базову модель представлення знань про задачі розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища, пропонується використовувати математичний апарат згорткових нейронних мереж (ЗНМ), а саме ГНМ U-Net.

У другому розділі обґрунтовано вибір напрямку дослідження та визначені основні шляхи удосконалення процесу розробки СППР для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках. Виконана постановка завдання дослідження та сформульоване актуальне наукове завдання побудови інформаційної технології розробки СППР для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках для



Рисунок 1 - Узагальнена структура методу формалізації знань щодо семантичної сегментації будівель на космічних та аерофотознімках

підвищення ефективності автоматизованого моніторингу міського середовища. Визначені часткові задачі, вирішення яких забезпечить досягнення поставленої мети.

Виконана постановка задачі з розробки апарату формалізації знань про розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках, яка включає удосконалення нейромережевої моделі та розробку методу формалізації знань про розпізнавання об'єктів з використанням ЗНМ і нечітких нейронних мереж (ННМ). За базову модель представлення знань для вилучення ознак об'єктів розпізнавання обрані ЗНМ, зокрема нейромережар U-Net. При цьому, у якості кодувальника (субдискретизатора) базової моделі пропонується використання ЗНМ Inception-v3, а для безпосередньої класифікації об'єктів розпізнавання у якості класифікатора базової моделі пропонується використання ННМ Ванга-Менделя.

У третьому розділі удосконалено модель та метод формалізації знань щодо семантичної сегментації космічних та аерофотознімків міських територій.

Згідно з постановкою задачі розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках і у відповідності з обґрунтуванням вибору базової моделі представлення знань розроблена структура методу (рис. 1). Структура моделі U-Net та її модифікація представлена на рис. 2.

Модифікація звужуючого блоку полягає у використанні попередньо навченої моделі Inception-v3 шляхом:

формування шарів підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3;

формування модулів підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3;

формування узагальненої структури модифікованої підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3.

Формування шарів підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3. Розмірність вхідних даних X довільного i -го шару представляється кортежем $\langle H^{in}, W^{in}, D^{in} \rangle$,

кожний елемент якого визначає висоту, ширину і глибину у пікселях вхідного зображення або карти ознак відповідно.

Розмірність вихідних даних Y для i -го шару формально представлено кортежем $\langle H^{out}, W^{out}, D^{out} \rangle$.

Тоді, розмірність рецептивного поля F i -го шару, як багатомірного фільтра, у загальному випадку представлено як кортеж $\langle H^f, W^f, D^{in}, D^{out} \rangle$.



Рисунок 2 - Структура моделі U-Net та її модифікація до Fuzzy UI

При цьому, вважається, що $W^f = H^f$.

Основними елементами архітектури підмережі виявлення ознак виступають наступні шари ЗНМ:

1) базові шари: згорткові шари (Convolution Layers, CONV-шари); шари об'єднання (Pooling Layers, POOL-шари); шари активації: безпосередньо використовується шар випрямлення (Rectified Linear Unit, шари RELU);

2) допоміжні шари: шар конкатенації або скріплення (Concatenation, Concat-шар); шари даних (Data Layers).

Згортковий шар формально представляється у вигляді функції:

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{CONV}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}), \quad (3)$$

де $X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$, $Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$ – коваріантні тензори третього рангу, що описують вхідні і вихідні дані CONV-шару відповідно.

Результат визначення елементу тензора $Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$ представляється як:

$$y_{i^{out} j^{out} k^{out}} = b_{k^{out}} + \sum_{i^{in}=0}^{H^f-1} \sum_{j^{in}=0}^{W^f-1} \sum_{k^{in}=1}^{D^{in}} f_{k^{out}}^{i^f j^f k^{in}} * x_{(i^{in}+i^{out})(j^{in}+i^{out})k^{in}} , \quad (4)$$

де $y_{i^{out} j^{out} k^{out}}$ – елемент тензора $Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$, $y_{i^{out} j^{out} k^{out}} \in Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$, Y – багатовимірний масив вихідних даних, який представляє множину вихідних карт ознак $Y \subset \mathbb{R}^{H^{out} \times W^{out} \times D^{out}}$; $b_{k^{out}}$ – елемент множини значень «нейронних зсувів» B , $b_{k^{out}} \in B$; $f_{k^{out}}^{i^f j^f k^{in}}$ – елемент комбінованого тензора четвертого рангу $F_{D^{out}}^{H^f W^f D^{in}}$, що описує рецептивні поля CONV-шару $f_{k^{out}}^{i^f j^f k^{in}} \in F_{D^{out}}^{H^f W^f D^{in}}$; $x_{(i^{in}+i^{out})(j^{in}+i^{out})k^{in}}$ – елемент тензора $X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$, $x_{(i^{in}+i^{out})(j^{in}+i^{out})k^{in}} \in X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$, X – багатовимірний масив вхідних даних, що представляє вхідне зображення або множину вхідних карт ознак для довільного шару $X \subset \mathbb{R}^{H^{in} \times W^{in} \times D^{in}}$; $*$ – операція згортки зв'язаних тензорів.

Шари об'єднання для операцій "max" і "avg" представляються функціями:

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{MaxPOOL}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}); \quad (5)$$

$$Y_{H^{out}W^{out}D^{out}} = f_{AvgPOOL}(X_{H^{in}W^{in}D^{in}}). \quad (6)$$

Результат визначення елемента тензора $Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$ представляється для операцій "max" і "avg" відповідно як:

$$y_{i^{out} j^{out} k^{out}} = \max_{1 \leq i^{pool} \leq H^{pool}, 1 \leq j^{pool} \leq W^{pool}} x_{(i^{in}+i^{out}-1)(j^{in}+i^{out}-1)k^{in}}; \quad (7)$$

$$y_{i^{out} j^{out} k^{out}} = \frac{1}{H^{pool}W^{pool}} \sum_{1 \leq i^{pool} \leq H^{pool}, 1 \leq j^{pool} \leq W^{pool}} x_{(i^{in}+i^{out}-1)(j^{in}+i^{out}-1)k^{in}}, \quad (8)$$

де $y_{i^{out} j^{out} k^{out}} \in Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$, $x_{i^{in} j^{in} k^{in}} \in X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$, $D^{out} = D^{in}$.

Шар випрямлення реалізує функцію активації RELU за виразом:

$$y_{i^{out} j^{out} k^{out}} = S(x_{i^{in} j^{in} k^{in}}) = \max(0, x_{i^{in} j^{in} k^{in}}), \quad (9)$$

де $y_{i^{out} j^{out} k^{out}} \in Y_{H^{out}W^{out}D^{out}}$, $x_{i^{in} j^{in} k^{in}} \in X_{H^{in}W^{in}D^{in}}$, $H^{out} = H^{in}$, $W^{out} = W^{in}$, $D^{out} = D^{in}$.

Concat-шар забезпечує об'єднання різних вихідних багатовимірних масивів карт ознак, отриманих у результаті функціонування шарів ЗНМ, в один. Шари даних є шарами, через які здійснюється безпосереднє введення первинних даних про зображення.

Формування модулів підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3. Структура CONV-шарів і шарів RELU модуля «inception» 1-го типу визначається за виразами (3) і (9), а результат функціонування – за виразом (4);

структура шару MaxPOOL – за виразом (5), а результат функціонування – за виразом (7).

Структура CONV-шарів і шарів RELU модуля «inception» 2-го та 3-го типу визначається за виразами (3) і (9), а результат функціонування – за виразами (4) і (9); структура шару AvgPOOL – за виразом (6), а результат функціонування – за виразом (8).

Формування узагальненої структури модифікованої підмережі вилучення ознак на основі використання ЗНМ Inception-v3. Для використання цієї підмережі у контексті функціонування модифікованого U-Net вводяться додаткові шари, які реалізують проміжні зв'язки між звужуючим та розширюючим блоками удосконаленої ЗНМ відповідно до базових принципів архітектури U-Net.

Формальне представлення процесу класифікації об'єктів з використанням модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя. Модифікація класичної мережі Ванга-Менделя полягає у:

1) представленні функцій приналежності в термінах інтервальних нечітких множин другого типу (ІНМТ2) і реалізації операцій фазифікації, агрегації і активації з використанням операцій на ІНМТ2;

2) введенні додаткової операції приведення типу в шарі дефазифікації вихідної змінної на основі класичного методу центру тяжіння (centroid);

3) введенні декількох виходів мережі для розпізнавання відповідної кількості класів об'єктів. Для цього, третій шар представлено набором з декількох пар нейронів-суматорів, а четвертий – реалізує декілька нейронів-нормалізаторів, кількість яких відповідає кількості пар третього шару.

Вихідний сигнал модифікованої мережі Ванга-Менделя розраховується наступним чином:

$$\bar{y}_{class}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{c}_i \prod_{j=1}^N \bar{\mu}_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \bar{\mu}_{ij}(x_j)}, \quad \underline{y}_{class}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \underline{c}_i \prod_{j=1}^N \underline{\mu}_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \underline{\mu}_{ij}(x_j)}, \quad (10)$$

$$Y = J_x^{class} = |\bar{y}_{class}(x), \underline{y}_{class}(x)|. \quad (11)$$

де x_j – вхідний сигнал; \bar{c} , \underline{c}_i - центр ширини верхньої і нижньої функції Гауса (функція приналежності нечіткої множини заключень правил); $\bar{\mu}_{ij}$, $\underline{\mu}_{ij}$ - значення верхньої і нижньої функцій приналежності передумов; J_x^{class} - первинна приналежність.

Відповідно до розроблених пропозицій пропонується формальне подання узагальненої топології нейромережевої моделі для сегментації об'єктів на цифрових знімках у вигляді суперпозиції функцій, де кожна функція представляє окрему ЗНМ (модуль) в рамках об'єднання мереж для сегментації будівель на цифрових космічних та аерофотознімках:

$$FuzzyUI = F_3(F_2(F_1(X_0))), \quad (12)$$

де X_0 - вхідний багатовимірний масив даних, який представляє цифровий аерофотознімок; F_1 – функція формального представлення результатів

функціонування модифікованого енкодера U-Net на базі ЗНМ Inception-v3; F_2 - функція формального представлення результатів функціонування модифікованого декодера U-Net; F_3 - функція формального представлення результатів функціонування модифікованої ННМ Ванга-Менделя, як класифікатора модифікованого декодера U-Net.

Удосконалена модель згорткової нейронної мережі дозволяє забезпечити більшу точність сегментації визначених об'єктів на цифрових знімках.

Метод формалізації знань щодо семантичної сегментації будівель на космічних та аерофотознімках міських територій відрізняється від відомих тим, що розроблений апарат формалізації, що побудований на основі використання удосконаленої ЗНМ для сегментації об'єктів та модифікованої методики передачі навчання з використанням декількох вузьких місць (проміжних зв'язків між звужуючим та розширюючим блоками удосконаленої ЗНМ).

Основними принципами, що лежать в основі навчання модифікованої моделі U-Net, є наступні:

по-перше, використовується технологія «вузького місця» згідно з якою на виході попередньо навченої моделі знімаються ознаки і подаються на вхід другої частини мережі (в даному випадку – це звужуючий блок U-Net) і в подальшому навчається тільки друга частина. Особливістю моделі U-Net, є наявність проміжних зв'язків між звужуючою та розширюючою блоками, тобто для розширюючого блока має місце кілька входів (в даному випадку – 5), що значно ускладнює використання технології «вузького місця» для семантичної сегментації. В ході дослідження розроблено підхід щодо вирішення даної задачі за рахунок використання відповідних шарів передискретизації UpSampling;

по-друге, використання технології тонкого налаштування моделі. На даному етапі, послідовно розморожуються 1 та 2 шари звужуючого блока попередньо навченої моделі Inception-V3 і виконується тонка настройка розморожених шарів звужуючого блока.

З урахуванням результатів сегментації, що отримані на попередніх етапах для порівняння сегментованих різночасових зображень, використовується метод зіставлення знімків після класифікації (сегментації), а саме віднімання.

Запропонований метод забезпечує формалізацію знань щодо семантичної сегментації будівель і дозволяє підвищити якість та зменшити час навчання нечіткої ЗНМ.

У четвертому розділі роботи побудована інформаційна технологія розробки СППР для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках. Виконано формальне представлення інформаційної технології з використанням методології функціонального моделювання IDEF0.

Інформаційна технологія розробки СППР для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках реалізується на принципах CALS-технологій (Continuous Acquisition and Lifecycle Support).

Формально інформаційну технологію розробки СППР (information technology of development the knowledge system) T^{ITDKS} представлено як:

$$T^{ITDKS} = \langle P^{ITDKS}, \{S_i\}, \{C_j\}, \{L_m\}, \{M_n\}, \{T_p\}, \{R_q\} \rangle, \quad (13)$$

де P^{ITDKS} – постановка завдання з розробки СППР; $\{S_i\}$ – множина етапів розробки СППР, $i=1, \dots, I$, I – кількість етапів; $\{C_j\}$ – множина зв'язків між етапами з $\{S_i\}$, $j=1, \dots, J$, J – кількість зв'язків; $\{L_k\}$ – множина використовуваних мов представлення знань (МЗ), $k=1, \dots, K$, K – кількість МЗ; $\{M_n\}$ – множина використовуваних моделей представлення знань (МПЗ), $n=1, \dots, N$, N – кількість МПЗ; $\{T_p\}$ – множина інструментальних (програмних і технічних) засобів для розробки СППР, $p=1, \dots, P$ – кількість інструментальних засобів; $\{R_q\}$ – множина груп розробників СППР, $q=1, \dots, Q$ – кількість груп за призначенням.

Для візуалізації і подальшого формального представлення структури і складу інформаційної технології T^{ITDKS} використовується методологія системного моделювання IDEF0. Її основу складає стандартизована графічна мова опису (моделювання) систем. Відповідно до структури мови інформаційна технологія T^{ITDKS} представляється як модель в нотації IDEF0. Вона включає множину рівнів деталізації представлення технології $\{D_l^{ITDKS}\}$, де, у свою чергу, кожен рівень представляється як:

$$D_l^{ITDKS} = \{ \{S_i^l\}, \{C_j^l\} \}, \quad (14)$$

де l – номер рівня деталізації представлення технології $l=0, \dots, N$. При $l=0$ формується контекстна діаграма (модель) верхнього рівня, при $l=1$ – верхня дочірня діаграма, при $l=2, \dots, N$ – дочірні діаграми.

Кожен етап розробки СППР $S_i^l \in \{S_i^l\}$ у контексті методології IDEF0 включає множину функцій, що реалізують прийоми, способи і методи роботи зі знаннями (даними) на D_l^{ITDKS} рівні деталізації представлення технології T^{ITDKS} . При $l=1$ за функції розглядаються основні «процеси» (функції-процеси) роботи зі знаннями (даними) в T^{ITDKS} , при $l=2$ – «підпроцеси» (функції-підпроцеси) в рамках відповідного «процесу» на етапах розробки й експлуатації бази знань, що розробляється, при $l=3$ – «операції» (функції-операції) роботи зі знаннями (даними) в ході розробки (експлуатації) СППР для розпізнавання будівель на космічних і аерофотознімках.

Множина зв'язків між етапами $\{C_j^l\}$ з урахуванням рівнів деталізації в контексті методології IDEF0 розглядається як:

$$\{C_j^l\} = \{\{F_f^l\}, \{I_h^l\}, \{O_t^l\}, \{CT_s^l\}, \{CM_r^l\}, \{CR_r^l\}\}, \quad (15)$$

де $\{F_f^l\} \subseteq \{C_j^l\}$ – множина внутрішніх взаємодій між функціями етапів розробки СППР з множини $\{S_i^l\}$; $\{I_h^l\} \in \{C_j^l\}$ – множина вхідних граничних взаємодій, що відображає дані (знання), що перетворюються у процесі розробки СППР; $\{O_t^l\} \in \{C_j^l\}$ – множина вихідних граничних взаємодій, що відображає дані (знання), об'єкти, проведені функцією в ході розробки СППР; $\{CT_s^l\} \in \{C_j^l\}$ – множина керівників граничних взаємодій, що відображає взаємозв'язок етапів і їх функцій з програмними і технічними засобами; $\{CM_r^l\} \in \{C_j^l\}$ – множина граничних взаємодій, що відображає взаємозв'язок етапів і їх функцій з математичним апаратом, що використовується для формалізації задач; $\{CR_r^l\} \in \{C_j^l\}$ – множина граничних взаємодій, що відображає взаємозв'язок етапів і їх функцій з групами розробників СППР.

Контекстна діаграма верхнього рівня описує область і межі представлення технології T^{ITDKS} відповідно до наступного виразу:

$$D_0^{ITDKS} = \{S_1^0, \{I_1^0, O_1^0, O_2^0, CT_1^0, CM_1^0, CR_1^0\}\}. \quad (16)$$

Як функції з множини $\{S_i^1\}$ верхньої дочірньої діаграми рівня D_1^{ITDKS} , що будується при декомпозиції діаграми рівня D_0^{ITDKS} , розглядаються функції-процеси, що реалізують прийоми, способи підготовчих етапів з СППР $S_1^1 \in \{S_i^1\}$, прийоми, способи і методи ідентифікації відповідних знань $S_2^1 \in \{S_i^1\}$, концептуалізації знань $S_3^1 \in \{S_i^1\}$, формалізації знань $S_4^1 \in \{S_i^1\}$, програмної реалізації СППР $S_5^1 \in \{S_i^1\}$ і тестування (верифікації) програмних і проектних рішень $S_6^1 \in \{S_i^1\}$.

Верхня дочірня діаграма описує функції-процеси технології (рис. 3):

$$D_1^{ITDKS} = \{\{S_i^1\}, \{\{F_t^1\}, I_1^0, O_1^0, O_2^0, CT_1^0, CM_1^0, CR_1^0\}\}. \quad (17)$$

На підготовчому етапі розробки СППР $S_1^1 \in \{S_i^1\}$ виконуються такі функції-процеси в термінології IDEF0: постановка завдання P^{ITDKS} ; формування груп розробників $\{R_q\}$; вибір інструментальних засобів $\{T_p\}$; планування розробки СППР.

На етапі ідентифікації знань $S_2^1 \in \{S_i^1\}$ – визначаються необхідні ресурси і джерела знань у вигляді множини експертів Knq_1 та множини різного роду

додаткових носіїв інформації Kn_g_2 (книги, документи, аудіо- і відеоінформація та ін.).

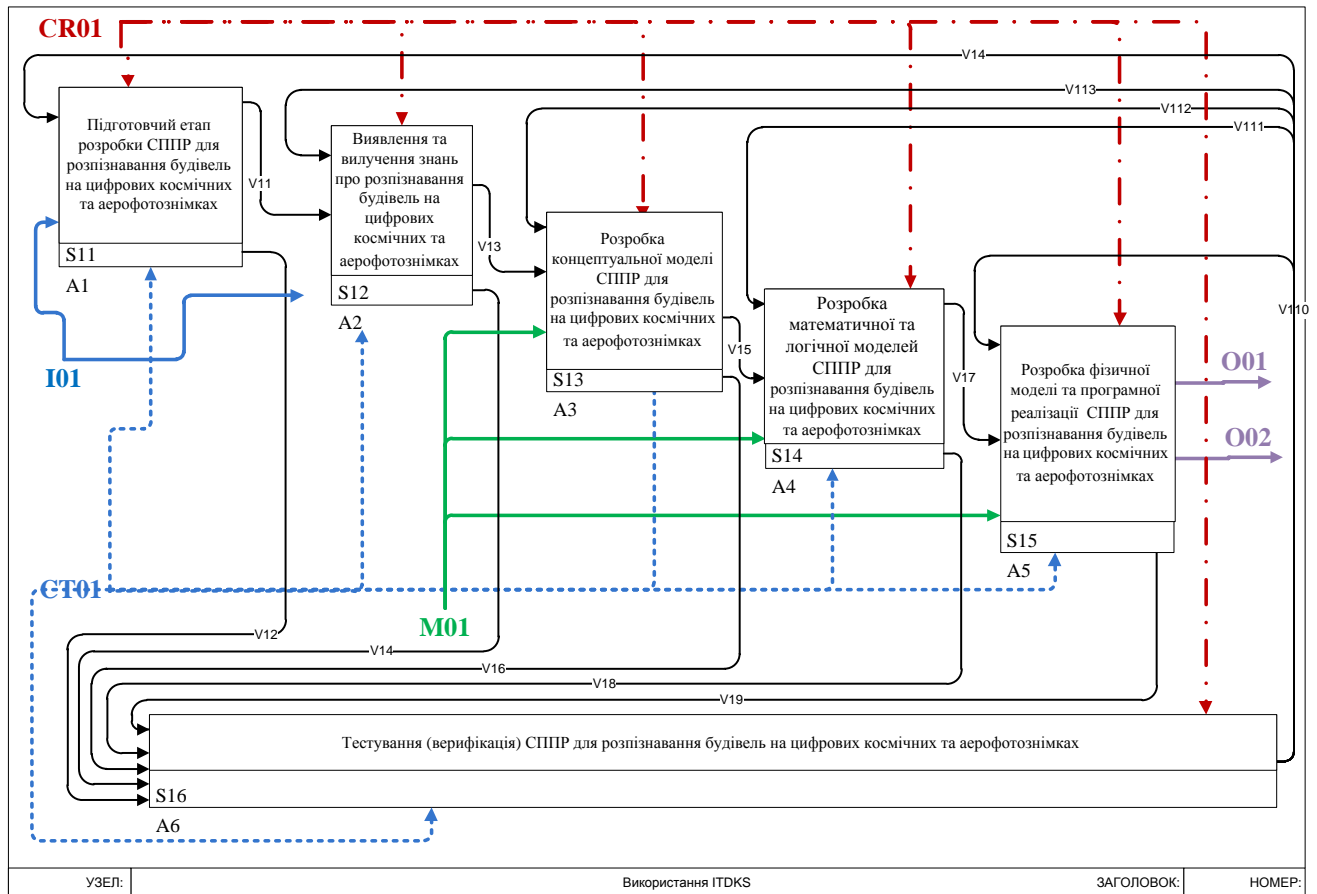


Рисунок 3 – Верхня дочірня діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ITDKS

На етапі концептуалізації $S_3^1 \in \{S_i^1\}$ – формується концептуальна модель (поле знань) СППР $M_1 \in \{M_n\}$:

1) виконується вилучення знань і визначається склад основних знань як вербальний опис – S_2^K , виконується вибір принципу класифікації об'єктів і формується словник ознак. Для нечітких логічних систем словник ознак формується апіорно. Для неймережевих класифікаторів ознаки формуються автоматично в ході навчання з використанням навчальної вибірки;

2) формується безпосередньо поле знань M_1 з використанням відповідної мови описів поля знань $S_2^{M_1}$ (у роботі – конструкції представлення концептуальних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML $L_1 \in \{L_k\}$). Безпосередньо для формального представлення поля знань пропонується використання моделі прецедентів (model of use cases) UML, що розробляється в рамках об'єктно-орієнтованого аналізу.

На етапі формалізації (подання) знань $S_4^1 \in \{S_i^1\}$ – формуються математична $M_2 \in \{M_n\}$ і логічна $M_3 \in \{M_n\}$ моделі СППР:

1) визначається формалізований склад знань – S_3^{KS} ;

2) визначаються моделі представлення знань і вибір (розробка) методів їх формалізації з використанням моделей представлення знань на основі методів нейромережевого та/або нечіткого моделювання – S_3^{KR} (методи на основі модифікованих ЗНМ, а також ІНМТ2, ІНЛСТ2 і модифікованих гібридних нейронечітких класифікаторів);

3) виконується формування математичної моделі M_2 з використанням вибраних МПЗ і розроблених на основі їх методів формалізації знань – S_3^{KD} ;

4) для кожної формалізованої задачі розробляється узагальнений алгоритм її рішення (в рамках моделі M_2), що враховує формалізовані знання і забезпечує виявлення тенденцій перебігу процесу рішення і представлення результатів – S_3^{AM} ;

5) елементи математичної моделі, що розглядаються як процедурні знання, перетворюються в логічну модель СППР, що описується конструкціями мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML $L_1 - S_3^{LM^{UML}}$. Для розробки всіх моделей в нотації UML використовуються CASE-засоби $L_6 \in \{L_k\}$;

б) елементи математичної моделі, що розглядаються як декларативні знання, перетворюються у логічну модель СППР, що описується з використанням конструкцій представлення логічних ER-моделей L_6 у вигляді відповідної схеми даних – $S_3^{LM^{ER}}$.

На етапі програмної реалізації СППР $S_5^1 \in \{S_i^1\}$ формується фізична модель $M_5 \in \{M_n\}$ і безпосередньо розробляється програмний прототип системи:

1) розробляється архітектура СППР, що визначає структуру, функції і взаємозв'язок компонентів СППР – S_4^{BA} ;

2) виконується реалізація компонентів СППР – S_4^{BP} , яка включає розробку проектних рішень (модель M_5) за програмною реалізацією СППР з використанням фізичних моделей мови об'єктно-орієнтованого моделювання UML L_1 і безпосередню програмну реалізацію з використанням високорівневої мови програмування $L_7 \in \{L_k\}$;

3) при фізичному проектуванні схеми даних СППР враховується специфіка цільової системи управління базами даних (фізичне середовище зберігання даних, розробка індексів і тощо) й обмеження на іменування об'єктів бази даних, обмеження на підтримувані типи даних і т.п.;

4) здійснюється наповнення бази знань СППР на основі елементів моделей

M_2 і M_4 , що розглядаються за декларативні знання – S_4^{ITDKS} . Так, при навчанні нейромереж формуються відповідні синаптичні карти.

Тестування (верифікація) СППР $S_6^1 \in \{S_i^1\}$ безпосередньо виконується над проектними рішеннями або над програмним кодом. У разі виявлення помилок повернення може здійснюватися на будь-який попередній етап розробки СППР.

Вперше побудована інформаційна технологія розробки СППР для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища, яка дозволяє забезпечити уніфікацію і стандартизацію процесу розробки СППР відповідного класу з використанням удосконалених в третьому розділі моделі та методу формалізації знань щодо семантичної сегментації космічних та аерофотознімків.

У п'ятому розділі проведена оцінка точності розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках з використанням СППР на основі сегментації та виявлення змін на різночасних цифрових знімках. Оцінка проводилася за показниками *Prec* та *Rec* (вирази (1), (2)) з використанням існуючих та запропонованої в роботі моделей для сегментації цифрових зображень. Для навчання існуючих та запропонованої в роботі нейромережових моделей була сформована навчальна вибірка з використанням набору даних для маркування аерофотознімків Inria. Основні дані для двох семантичних класів: будівля і не будівля. На зображеннях визначені різні міські поселення – від густонаселених (наприклад, фінансовий район Сан-Франциско) до альпійських міст (наприклад, Лієнц у австрійському Тіролі). Приклад аерофотознімка будівель та його маски наведено на рис. 4.



Рисунок 4 – Приклад зображення та його маски з набору даних Inria

Як базовий алгоритм навчання для всіх нейромережових детекторів використовувався алгоритм зворотного розповсюдження похибки з однаковою кількістю епох навчання – 35 (рис. 5).

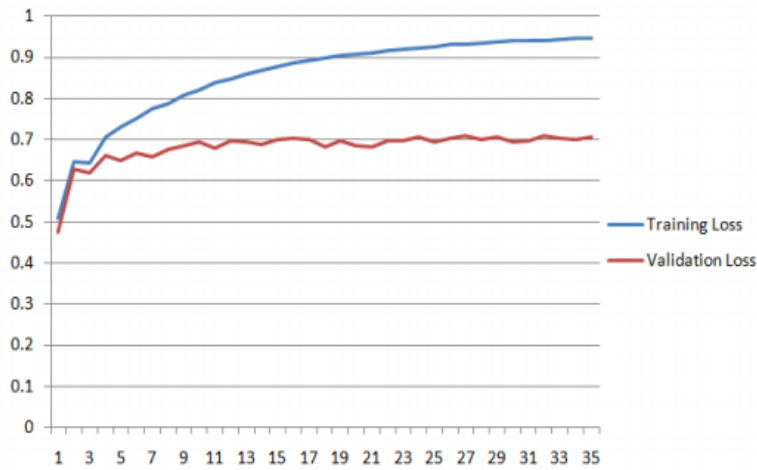


Рисунок 5 – Процес навчання модифікованої мережі

Для забезпечення високого ступеня інваріантності ЗНМ до різних спотворень, до деяких зображень з навчальної вибірки для кожного типу об'єкту застосовувалася зміна освітлення, контрасту, положення, масштабу та ракурсу.

Результати оцінки точності розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища з використанням нейромережевих моделей представлені на рис. 6.

На основі порівняння отриманих результатів оцінки

точності розпізнавання будівель на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища можна зробити висновок, що застосування розробленої СППР дозволяє отримати вигравш в точності та повноті при вирішенні завдання сегментації в середньому до 3 %.

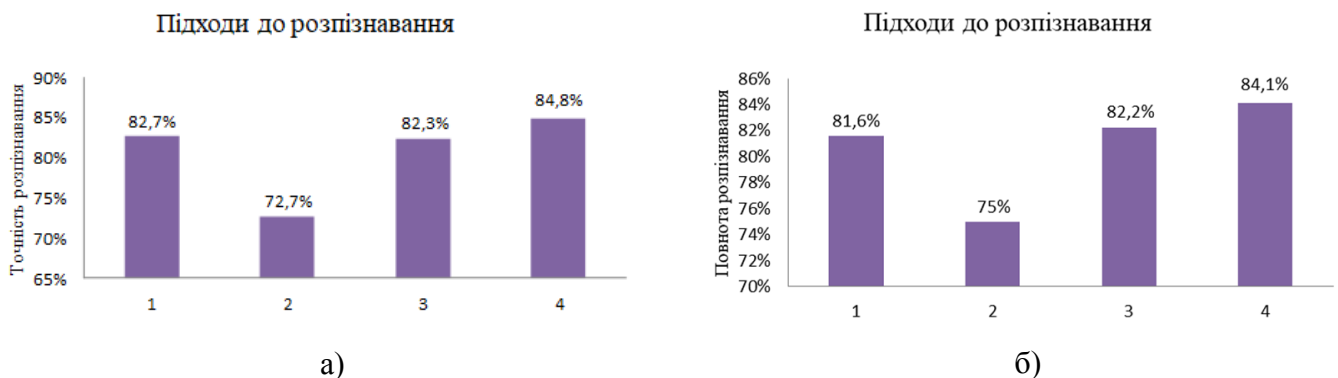


Рисунок 6 - Порівняльний аналіз точності а) та повноти б) результатів сегментації:

- 1 - розпізнавання з використанням SegNet;
- 2 - розпізнавання з використанням FCN;
- 3 - розпізнавання з використанням U-Net;
- 4 - розпізнавання з використанням СППР на основі нейромережевої моделі Fuzzy UI.

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційних досліджень, виконаних автором, вирішене актуальне наукове завдання щодо побудови інформаційної технології розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках для підвищення ефективності автоматизованого моніторингу міського середовища.

У дисертації одержані такі основні результати:

1. Удосконалено модель згорткової нейронної мережі для сегментації об'єктів на цифрових знімках, у якій, на відміну від відомих, в якості нейромережевого звужуючого блоку для підмережі вилучення ознак використовується попередньо навчена згорткова нейронна мережа з більш глибокою архітектурою, а в якості класифікатора використовується модифікована нейронна мережа Ванга-Менделя, яка реалізує операції над інтервальними нечіткими множинами другого типу, що дозволяє забезпечити більшу точність сегментації визначених об'єктів на цифрових знімках.

2. Дістав подальший розвиток метод формалізації знань щодо семантичної сегментації будівель на космічних та аерофотознімках, у якому, на відміну від відомих, розроблений апарат формалізації побудований на основі використання удосконаленої згорткової нейромережевої моделі для сегментації об'єктів та модифікованої методики передачі навчання з використанням декількох вузьких місць (проміжних зв'язків між звужуючим та розширюючим блоками удосконаленої згорткової нейромережевої моделі), що дозволяє підвищити якість та зменшити час навчання нечіткої згорткової нейромережевої моделі.

3. Вперше побудовано інформаційну технологію розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища, яка на основі функціонального моделювання формально представляє процес розробки системи підтримки прийняття рішень з використанням нечіткої згорткової нейромережевої моделі, що дозволяє забезпечити уніфікацію та стандартизацію процесу розробки системи підтримки прийняття рішень відповідного класу.

4. Розроблені і удосконалені технологія, моделі та методи мають якісно нові властивості і дозволяють вирішити наукове завдання побудови інформаційної технології розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках для підвищення ефективності автоматизованого моніторингу міського середовища, що дозволяє отримати вигоду в точності та повноті при вирішенні завдання сегментації в середньому до 3 %.

5. Достовірність одержаних наукових результатів підтверджується коректним використанням математичного апарату, обґрунтованими теоретичними твердженнями, а також збіжністю теоретичних результатів з результатами математичного моделювання (та виконаних експериментальних досліджень).

6. Результати досліджень впроваджені в роботах ДП «ЗАО НДІРВ» на замовлення Національного агентства України; в роботах ПрАТ «НВП Сатурн» (акт впровадження вх.№01-2/0036 від 20.01.21); в роботах НВП ХАРТРОН АРКОС ЛТД; в навчальному процесі кафедри «Обчислювальна техніка та програмування» (акт впровадження від 12.03.21).

7. Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ побудови інформаційних технологій для розроблення та впровадження систем комп'ютерної підтримки рішень в автоматизованих системах і мережах, в частині, що стосується побудови інформаційної технології розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках для підвищення ефективності автоматизованого моніторингу міського середовища.

8. Перспективними шляхами подальших досліджень у зазначеному напрямку може бути широке коло питань щодо розробки нових та удосконалення існуючих методів формалізації інших класів об'єктів міського середовища.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Pustovarov V. Formal representation of the pixel-by-pixel classification process using a modified wang-mendel neural network / O. Kolomiitsev, V. Pustovarov // No 3 (13) (2020): Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries / Engineering & industrial technolog, – pp. 122-128.

2. Пустоваров В.В. Пропозиції щодо підвищення точності сегментації міських будов на цифрових космічних і аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища / О.В. Коломійцев, В.В. Пустоваров // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence № 3(39)/2020. – pp.81-90.

3. Pustovarov V. Construction of information technology for development of knowledge base on identification of urban structures on digital space and aerial photographs in the urban environment monitoring / Advanced Information Systems. 2020. Vol. 4, No. 3, 70-73. doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.08.

4. Пустоваров В.В. Архітектура нечіткої згорточної нейронної мережі для сегментації міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища / Polish journal of science. №35, 2021, - pp. 20-24.

5. Сучасний стан проведення наукових досліджень у ІТ-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері. (інформаційна технологія розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища) Вінниця, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-1.04> Європейська наукова платформа | ISBN: 978-617-7171-76-7.

6. Інформаційна безпека та інформаційні технології. за заг. ред. В.С. Пономаренка (пропозиції щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів) – Х.: ТОВ “ДІСА ПЛЮС”, 2019. – 322 с.

7. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Карлов Д.В., Рондін Ю.П. Збільшення об'єму передачі інформації в системі супутникового космічного лазерного зв'язку. Науково-практична конференція. Присвячена 60-ій річниці запуску першого штучного супутника Землі. Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи. 4 жовтня 2017 року. – К.: НЦУВКЗ – С. 69.

8. Пустоваров В.В. Обґрунтування пропозицій щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів. XI Міжнародна науково-практична конференція. Інформаційна безпека та інформаційні технології. 24 – 25 квітня 2019 року. – Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2019. – С. 41.

9. Пустоваров В.В. Метод управління траєкторією руху літального апарату за

алгоритмом визначення перевантажень. ІХ міжнародна науково-технічна конференція. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. 11-12 квітня 2019 року. – Баку – Харків – Жилка. – 2019. – С. 25.

10. Пустоваров В.В., Міжнародна науково-технічна конференція. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ. 16-17 травня 2019 р. – Львів: НАСВ, 2019. – С. 86 – 87.

11. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Борисенко М.В. Особливості контролю за частотним розподіленням радіосигналів при навігаційному забезпеченні польотів/ Міжнародна науково-практична конференція. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи. 12–13 вересня 2019 року. – Одеса: Військова академія, 2019. – С. 103.

12. Пустоваров В.В. Обґрунтування пропозицій щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів. 19 науково-технічна конференція. Створення та модернізація ОВТ в сучасних умовах. 04 – 06 вересня 2019 року. – Чернігів: ДНВЦ, 2019. – С. 45.

13. Пустоваров В.В., Борисенко М.В. Удосконалення навігаційного забезпечення безпілотних літальних апаратів. Х Міжнародна науково-технічна конференція. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. 10-11 квітня 2020 року. – Баку – Харків – Жилка. – 2020. – Т. 1. – С. – 41.

14. Пустоваров В.В. Вимоги до систем контролю поточних навігаційних параметрів польоту літальних апаратів. XXVIII Міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2020. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 13-15 травня 2020 р. – С. 208.

15. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Лисиця А.О. Метод формалізації знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Міжнародна науково-практична конференція. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи. 10–11 вересня 2020 року. – Одеса: Військова академія, 2020. – С. 64.

16. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Лисиця А.О., Єрмоленко О.В. Інформаційна технологія розробки бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища з використанням нейромереж та нечіткої логіки. XX науково-технічна конференція. Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах. 03 – 04 вересня 2020 року. – Чернігів, ДНДІВСОБТ, 2020. – С. 121-122.

17. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Рябуха Ю.М., Крук Б.М., Закіров В.В., Третяк Д.В. Розробка пропозицій щодо формування бази знань про розпізнавання міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках. Міжнародна наукова конференція. Трансформація суспільних наук: соціально-економічний, лінгвістичний, політичний та ІТ-виміри. 11 вересня 2020 року. – Дніпро, 2020. – С. 40 – 45.

18. Пустоваров В.В., Коломійцев О.В., Альошин Г.В., Пустоваров В.В.,

Никорчук А.І., Споришев К.О., Третяк В.Ф. Підвищення точності сегментації міських будов на цифрових космічних та аерофотознімках при автоматизованому моніторингу міського середовища. Do desenvolvimento mundial como resultado de realizações em ciência e investigação científica: Coleção de trabalhos científicos «ΛΟΓΟΣ» com materiais da conferência científico prática internacional (Vol. 2), 9 de outubro de 2020. Lisboa, Portugal: Plataforma Científica Europeia. PP.40-45 ISBN 978-972-575-157-2 («Contexto», Portugal) DOI 10.36074/09.10.2020.v2

АНОТАЦІЯ

Пустоваров В.В. Інформаційна технологія розробки системи підтримки прийняття рішення про розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2021.

Для здійснення ефективного управління містом необхідно своєчасне отримання даних, що забезпечується веденням відповідного моніторингу. Найбільш важливим при веденні моніторингу є виявлення змін міського середовища і аналіз причин їх виникнення. Метою дослідження є підвищення ефективності системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках з використанням методів сегментації та виявлення змін на різночасних цифрових знімках.

В роботі удосконалено модель згорткової нейронної мережі для сегментації об'єктів на цифрових знімках, яка дозволяє забезпечити більшу точність сегментації визначених об'єктів на знімках. Також дістав подальший розвиток метод формалізації знань щодо семантичної сегментації будівель на космічних та аерофотознімках, який дозволяє підвищити якість та зменшити час навчання нечіткої згорткової нейромережевої моделі. В дисертації побудовано інформаційну технологію розробки системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання будівель на знімках при автоматизованому моніторингу міського середовища, яка дозволяє забезпечити уніфікацію та стандартизацію процесу розробки систем відповідного класу.

Ключові слова: інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень, сегментація, моніторинг, будівля, цифровий знімок, нейронна мережа, нечітка множина.

АННОТАЦИЯ

Пустоваров В.В. Информационная технология разработки системы поддержки принятия решения о распознавании зданий на космических и аэрофотоснимках. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». - Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, 2021.

Для осуществления эффективного управления городом необходимо своевременное получение данных, обеспечивается ведением соответствующего мониторинга. Наиболее важным при ведении мониторинга является выявление изменений городской среды и анализ причин их возникновения. Целью исследования является повышение эффективности системы поддержки принятия решений для распознавания зданий на космических и аэрофотоснимках с использованием методов сегментации и выявления изменений на разновременных цифровых снимках.

В работе усовершенствована модель сверточной нейронной сети для сегментации объектов на цифровых снимках, которая позволяет обеспечить большую точность сегментации определенных объектов на снимках. Также получил дальнейшее развитие метод формализации знаний о семантической сегментации зданий на космических и аэрофотоснимках, который позволяет повысить качество и сократить время обучения нечеткой сверточной нейросетевой модели. В диссертации построена информационная технология разработки системы поддержки принятия решений для распознавания зданий на снимках при автоматизированном мониторинге городской среды, которая позволяет обеспечить унификацию и стандартизацию процесса разработки систем подобного класса.

Ключевые слова: информационная технология, система поддержки принятия решений, сегментация, мониторинг, здание, цифровой снимок, нейронная сеть, нечеткое множество.

ANNOTATION

Pustovarov V.V. Information technology for the development of a decision support system for recognizing buildings in space and aerial photographs. - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.13.06 "Information technology". - Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2021.

One of the features of the development of modern infrastructure of the state is the rapid growth of cities. The growth of urban areas requires the improvement of management systems. To implement effective management of a modern city, it is necessary to obtain timely data, which is ensured by conducting appropriate monitoring. One of the main requirements for such monitoring is the accuracy of the results obtained. At the same time, the most important thing in monitoring is to identify changes in the urban environment and analyze the causes of their occurrence.

An effective approach to improving the accuracy of the results of monitoring the urban environment is an approach based on the development of knowledge-oriented decision support systems. It is proposed to consider deep neural networks and hybrid (fuzzy neural network) models as the basic mathematical apparatus for formalizing knowledge of this class. Traditionally, the technology for creating knowledge-oriented decision support systems is based on classical technologies for the development of intelligent systems. In this case, the prototyping method is used as the main approach, which is based on the implementation of a certain sequence of stages in the development of decision support systems with an intermediate representation, refinement and formation

of the corresponding prototype. At the same time, the stages of classical technologies for creating intelligent systems are characterized by a rather arbitrary, not formalized definition of the boundaries of the implementation of these stages and the transitions between them. All this significantly complicates ensuring the manufacturability of creating decision support systems for monitoring the urban environment from an industrial point of view. That is, the issues of an integrated approach to the development of decision support systems at an industrial level for recognizing buildings on digital space and aerial photographs using deep neural networks and hybrid (fuzzy neural network) models are insufficiently studied.

Thus, in the subject area, there is a contradiction, which consists, on the one hand, in the need to develop knowledge of oriented decision support systems for recognizing buildings in digital space and aerial photographs using deep neural networks and fuzzy logic, on the other hand, in the possibilities existing technologies for the development of such a class of systems.

To solve this contradiction in the dissertation work, an urgent scientific problem was formulated and solved - the construction of information technology for the development of a decision support system for recognizing buildings on space and aerial photographs to increase the efficiency of automated monitoring of the urban environment.

In the course of the dissertation work, the model of the convolutional neural network for the segmentation of objects on digital images was improved, in which, unlike the known ones, a pretrained convolutional neural network with a deeper architecture is used as a neural network narrowing block for the feature extraction subnetwork, and as a classifier it is used modified Wang-Mendel neural network, which implements operations on interval fuzzy sets of the second type. This improvement allows to provide more accurate segmentation of objects in digital images. The method of formalizing knowledge about the semantic segmentation of buildings on space and aerial photographs was also further developed, in which, in contrast to the known ones, the developed formalization apparatus is built on the basis of using an improved convolutional neural network model for object segmentation and a modified teaching transfer method using several bottlenecks (intermediate connections between the narrowing and widening blocks of the advanced convolutional neural network model). This improves the quality and shortens the training time for the fuzzy convolutional neural network model. For the first time, an information technology has been built for the development of a decision support system for recognizing buildings on space and aerial photographs during automated monitoring of the urban environment, which, based on functional modeling, formally represents the process of developing a decision support system using a fuzzy convolutional neural network model. The presented technology makes it possible to ensure unification and standardization of the process of developing a decision support system of the appropriate class.

Developed and improved technologies, models and methods have qualitatively new properties and allow solving the scientific problem of building information technology for developing a decision support system for recognizing buildings on space and aerial photographs to increase the efficiency of automated monitoring of the urban environment. This allows you to get a gain in accuracy and completeness when solving the segmentation problem on average up to 3%.

The reliability of the scientific results obtained is confirmed by the correct use of the mathematical apparatus, substantiated theoretical statements, as well as the convergence of theoretical results with the results of mathematical modeling (and experimental studies performed).

Scientific research results are a contribution to the development of theoretical and applied foundations of building information technologies for the development and implementation of computer decision support systems in automated systems and networks, in part concerning the construction of information technology for the development of a decision support system for recognizing buildings on space and aerial photographs to increase efficiency automated monitoring of the urban environment.

A wide range of issues on the development of new and improvement of existing methods of formalizing other classes of objects of the urban environment can be promising ways for further research in this direction.

Keywords: information technology, decision support system, segmentation, monitoring, building, digital snapshot, neural network, fuzzy set.