

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

СОКОЛОВА НАТАЛЯ ОЛЕГІВНА



УДК 004.932.72'1: 519.688

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО
РОЗПІЗНАВАННЯ БУДІВЕЛЬ НА ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гнатушенко Володимир Володимирович,
завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Машталір Сергій Володимирович,
професор кафедри інформатики Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України

кандидат технічних наук, доцент
Дубінський Олексій Георгійович,
доцент кафедри медико-біологічної фізики і інформатики Дніпровського державного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України

Захист відбудеться «12» травня 2021 року о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19, ауд. 102.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий «06» квітня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І. М. Удовик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нинішній прогрес систем дистанційного зондування заснований на бортових та космічних платформах, що включають активні та пасивні датчики та забезпечують користувача безпрецедентною інформацією про поверхню Землі для моніторингу навколишнього середовища, стабільного управління ресурсами, запобігання природним небезпекам, оперативного реагування на надзвичайні ситуації та захисту. Щорічно зростає частка космічних знімків в загальній масі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), підвищується якість даних, одержуваних із супутників, збільшується точність, знижується ціна, значно підвищується продуктивність нових супутників. Ефективне використання потенціалу, зумовленого наявністю даних дистанційного зондування високого (за різними класифікаціями від 1 до 5м) та надвисокого (від 0.2 до 1 м) просторового розрізнення, вимагає автоматизованих методів, здатних адекватно вилучати тематичну інформацію, яка представляє інтерес, і звести до мінімуму необхідність втручання користувача. Автоматизоване розпізнавання будівель допомагає заощадити час та системні ресурси на оновлення баз даних геоінформаційних систем (ГІС), виявляти об'єкти самочинного будівництва та підтримувати сучасні муніципальні геодезичні дані, оперативно приймати рішення для проведення рятувальних операцій після стихійного лиха, вирішувати задачі картографії, навігації тощо.

Наукові роботи вітчизняних та закордонних дослідників, зокрема Ю.П. Зайченка, В.В. Корчинського, Н.М. Куссуль, С.А. Станкевича, В.В. Гнатушенка, Є.П. Путятіна, А.Ю. Шелестова, В.К. Шухостанова, Н.У. Li, Y. Xiao, Y. Wei, A. Huertas, T. Kim, D. Lee, J. Wang, X. Huang та їх учнів, присвячені вирішенню проблеми автоматизованого розпізнавання об'єктів земної поверхні на аерокосмічних знімках в основному середнього просторового розрізнення та не враховують специфіку формування та аналізу геопросторових даних високого та надвисокого просторового розрізнення. Автоматизоване розпізнавання супутникових знімків високого просторового розрізнення не є ефективним через високу неоднорідність їх спектральних, текстурних та просторових характеристик. Окрім «бажаних» об'єктів (будинки та дороги), зображення високого просторового розрізнення включають об'єкти, які «заважають» розпізнаванню (наприклад, дерева, машини та найголовніше тіні), тому для ефективного вирішення проблеми треба застосовувати комплексні підходи. Наведений короткий аналіз сучасного стану в галузі розпізнавання будівель на фотографічних зображеннях високого просторового розрізнення дає підстави щодо актуальності вирішення суттєвої науково-прикладної задачі підвищення ефективності розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні, зокрема будівель, шляхом розробки інформаційної технології та методів автоматизації процесу розпізнавання. Все це визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 48, ст.253), і

стосується напряму «інформаційні та комунікаційні технології» (стаття 3). Обраний напрямок досліджень пов'язаний із виконанням науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара «Методи та інформаційні технології цифрової обробки багатоканальних даних» (реєстраційний номер 0116U001297, 2016-2018pp.) та «Алгоритмічне та програмне забезпечення інформаційних технологій» (ФФЕКС-53-19 реєстраційний номер 0119U101205, 2019-2021pp).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення точності, рівня автоматизації та швидкодії розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні, зокрема будівель, на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення шляхом розробки інформаційної технології та методів аналізу та розпізнавання.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) дослідити сучасний стан інформаційних технологій розпізнавання об'єктів міської забудови на фотограмметричних зображеннях;
- 2) провести дослідження існуючих алгоритмів корекції та синтезу багатоканальних фотограмметричних даних з метою підвищення інформативності вихідних зображень;
- 3) провести аналіз існуючого математичного та програмного забезпечення, яке використовується для розробки подібних систем;
- 4) розробити метод розпізнавання будівель на фотограмметричних знімках високого просторового розрізнення;
- 5) провести оцінку якості та інтерпретації отриманих результатів розпізнавання;
- 6) на базі запропонованих алгоритмів та методів розробити автоматизовану інформаційну технологію розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення;
- 7) провести тестування розробленої інформаційної технології на різних сценах ДЗЗ; порівняти отримані результати з іншими методами виявлення контурів штучних об'єктів.

Об'єкт дослідження – процес комп'ютерного розпізнавання будівель на фотограмметричних сценах високого просторового розрізнення.

Предмет дослідження – методи та засоби інформаційної технології розпізнавання фотограмметричних даних високого просторового розрізнення.

Методи дослідження. Теоретичну та методологічну основу роботи складають методи проективної та багатовимірної геометрії, векторної алгебри, цифрової обробки зображень та комп'ютерного зору, теорії параметризації, методи комп'ютерної графіки, цифрової фотограмметрії.

Наукові положення, що виносяться на захист:

- Метод обробки спектрально-зональних зображень, заснований на послідовному виконанні операцій автоматизованого визначення геометрії забудови, контурного та тіньового аналізу, що дозволив забезпечити швидкість і точність розпізнавання будівель різних типів, в тому числі складної форми.

- Інформаційна система аналізу та розпізнавання фотограмметричних даних високого просторового розрізнення, побудована з використанням багатоетапної верифікації результатів розпізнавання будівель, дозволила в цілому підвищити точність розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні не менше ніж на 15% (зокрема для приватного сектора на 18%, промислової забудови на 13%, для висотної забудови на 16%).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

Вперше:

- розроблено метод розпізнавання з багатоітераційною верифікацією результатів розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях, що дає можливість автоматизувати процес обробки багатоканальних даних високого просторового розрізнення та прискорити процес побудови карт урбанізованих територій, підвищити якість моніторингу об'єктів міської забудови. Метод дозволяє врахувати топологічні, метричні, просторові та спектральні ознаки забудови;

- запропоновано метод розпізнавання тіней та виконана його програмна реалізація, що дозволило підвищити ефективність і якість подальшого розпізнавання об'єктів земної поверхні;

- розроблено інформаційну технологію автоматизованого розпізнавання будівель, яка об'єднує базу експертних даних та методи визначення контурів об'єктів, що дає можливість оперативно обробляти результати спостереження, в тому числі, за допомогою сучасних знімальних засобів, зокрема квадрокоптерів, та вчасно приймати оперативні, зокрема військові рішення.

- проведено оцінку ефективності розробленої інформаційної технології розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення на сценах трьох типів забудови: житловий сектор, багатоповерхова забудова та комерційна (промислова) забудова, виявлені особливості та характерні помилки при розпізнаванні кожної з трьох типів сцен та проведено дослідження впливу особливостей будівель на результати їх розпізнавання.

Вдосконалено:

– метод ідентифікації тіней шляхом автоматизації вибору оптимального порогу бінаризації.

Набула подальшого розвитку:

– методологія знаходження контурів об'єктів, що дозволило підвищити точність розпізнавання об'єктів на фотограмметричних зображеннях та полегшило їх подальшу класифікацію.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів визначається суттєвим підвищенням ефективності автоматизованих методів обробки цифрових супутникових зображень, теоретичною базою якого є методи корекції, класифікації, ідентифікації об'єктів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні інформаційної технології розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення, яка є інструментарієм вирішення прикладних задач моніторингу. Практичне значення результатів

підтверджується впровадженнями результатів роботи у практику робіт «Дніпрокосмос» філії НЦУВКЗ Державного космічного агентства України та ТОВ «Інтеравтоматика» при обробці фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення, а також впровадженням в освітній процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Особистий внесок здобувача. Усі теоретичні та практичні результати, що складають наукову новизну дисертаційної роботи отримані особисто. У наукових публікаціях, створених у співавторстві, здобувачу належить: розробка алгоритму розпізнавання будівель на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення та на аерокосмічних зображеннях [1, 8], розробка алгоритму сегментації тіні на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення [4, 19, 20], розробка алгоритму реконструкції контурів будівель на супутникових зображеннях високого просторового розрізнення [9, 10], розробка алгоритму дешифрування штучних об'єктів на супутникових зображеннях [11], проведення досліджень впливу особливостей будівель на результати їх розпізнавання [12], розробка алгоритму інтегрування штучних об'єктів земної поверхні в цифрові моделі рельєфу [21].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара; Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м. Дніпро, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Средства и технологии ДЗЗ из космоса в науке, образовании, бизнесе» (Россия, Санкт-ПтБ, 2014 г.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (Херсон, 2014 р., 2015 р., 2017 р.); XII-XIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 2014 р., 2015 р.); I-II Міжнародних науково-практичних форумах «Наука і бізнес» (Дніпропетровськ-Чернівці, 2015 р.; Дніпро, 2016 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем» (Дніпропетровськ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Передові методи обробки та аналізу космічної інформації». (Дніпропетровськ, 2015 р.); II Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпропетровськ, 2016 р.); II Міжнародному науково-практичному форумі «Наука і бізнес» (Дніпропетровськ, 2016 р.); II Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (КМОСС-2016) (Дніпро, 2016 р.); XVIII Міжнародній конференції з математичного моделювання, присвяченій 100-річчю з дня народження академіка Ю.О. Митропольського (Херсон, 2017 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (КМОСС-2017) (Дніпро, 2017 р.);

Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (Дніпро, 2019 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 науковій праці, 11 з яких – без співавторів. Шість статей опубліковано у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань України (2 з яких індексуються у НМБД Index Copernicus), 1 стаття у іноземному виданні (індексується у НМБД Index Copernicus), 14 – тези доповідей та матеріали конференцій.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 195 сторінок, містить 153 сторінки основної частини, включає 70 рисунків, 13 таблиць, 145 літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, визначено мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, розкрито методи дослідження, наукова новизна, практичне значення і апробація одержаних результатів. Наведено публікації за темою роботи.

У **першому розділі** розглянуто сучасний стан проблеми автоматизованого розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення. Проведений огляд факторів розвитку фотограмметрії, сучасних космічних апаратів, формування сканерних зображень, класифікації та особливостей знімків високого та надвисокого просторового розрізнення, які обумовлюють специфіку роботи з ними, та ринку сучасного програмного забезпечення обробки даних ДЗЗ. Проаналізовані існуючі підходи та методи до вирішення задач розпізнавання будівель. Аналіз існуючих інформаційних технологій розпізнавання будівель виявив їх малу кількість та недосконалість. Сформульовані висновки та постановка завдання про необхідність розробки нових інформаційних технологій з використанням комплексного підходу для розпізнавання будівель на багатоканальних зображеннях високого просторового розрізнення.

У **другому розділі** розглянуто методи ідентифікації об'єктів, методи та алгоритми класифікації фотограмметричних даних та проведено дослідження ефективності методів та алгоритмів сегментації, зокрема виділення границь об'єктів, які складають математичний апарат проведення досліджень для виділення штучних об'єктів на фотограмметричних зображеннях.

Задачі розпізнавання зображень вирішуються на основі загальної теорії розпізнавання образів. Як правило, для набору з N об'єктів відомі образи (класи), до яких вони належать (навчальна вибірка, що складається з еталонів). Виходячи з навчальної вибірки, визначається клас, до якого належить опис деякого об'єкту. Формальне рішення задачі розпізнавання прийнято записувати у вигляді вирішальної функції

$$i = d(x), \quad (1)$$

де i – номер класу, до якого належить опис об'єкта, що розпізнається, x – вектор ознак.

Часто використовують сегментацію шляхом виділення границь об'єктів. При такому способі сегментації об'єкти представляються їх границями. Границі – основа формування різних ознак і грамастик при розпізнаванні зображень, при цьому поняття границі об'єкта неможливо точно формалізувати в термінах цифрового зображення $B(i,j)$. З евристичних міркувань граничні точки шукають як точки різкого перепаду функції яскравості. Якщо уявити зображення растра D як функцію $B(x,y)$ в площині (x,y) , і вважати, що $B(x,y)$ – функція диференціювання, то перепад яскравості в точці (x_0,y_0) визначається як норма градієнта функції $B(x,y)$ в точці (x_0,y_0) , тобто норма вектора:

$$\|\nabla B(x_0, y_0)\| = \left\| \left. \frac{dB(x,y)}{dx} \right|_{x_0,y_0} \left. \frac{dB(x,y)}{dy} \right|_{x_0,y_0} \right\|. \quad (2)$$

Детектор границь Канні досі є одним з кращих. Контури меж об'єктів зображення розглядаються як найбільш інформативна частина зображення. Перед застосуванням детектора зображення перетворюється у відтінки сірого, щоб зменшити обчислювальні витрати. Для виділення контурів об'єктів на зображенні може бути використаний *метод лінійної фільтрації*, заснований на обчисленні аперіодичної згортки фрагмента зображення зі спеціальним ядром в просторовій області, яке буде визначати тип лінійного фільтра. Для виділення контурів методом лінійної фільтрації найбільш часто використовують декілька видів фільтрів, зокрема фільтр Собеля:

$$y_{ij} = \left([(a_{i,j} - a_{i,j+2}) + 2 \cdot (a_{i+1,j} - a_{i+1,j+2}) + (a_{i+2,j} - a_{i+2,j+2})]^2 + [(a_{i,j} - a_{i+2,j}) + 2 \cdot (a_{i,j+1} - a_{i+2,j+1}) + (a_{i,j+2} - a_{i+2,j+2})]^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

Виділення контуру на практиці реалізується *ланцюговим кодом Фрімена*, який дозволяє від двовимірних об'єктів перейти до їх одновимірного (векторного) опису і векторизувати зображення. Контур задається за допомогою послідовності суміжних пікселів, на двовимірне зображення накладають прямокутну сітку, і вузли сітки, які найбільш близькі до точок зображення, з'єднують відрізками прямих. Кожному такому відрізу відповідно до нахилу присвоюють число від 0 до 7. Таким чином, зображення представляється ланцюгом (послідовністю) або ланцюгами вісімкових чисел.

В *алгоритмі* виділення контуру *Сузуки-Абе* двійкове зображення сканується зліва направо, поки не знайдеться піксель (i, j) , значення якого не дорівнює 0 та виконується хоча б одна з умов:

$$i \quad \begin{array}{|c|c|} \hline j-1 & j \\ \hline 0 & 1 \\ \hline \end{array} \quad i \quad \begin{array}{|c|c|} \hline j & j+1 \\ \hline \geq 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Якщо виконується перша умова, то поточний піксель вважається пікселем зовнішнього контуру, при виконанні другої умови піксель вважається пікселем внутрішнього контуру. Якщо ж одночасно виконуються обидві умови, то цей

піксель розглядається як початкова точка зовнішнього контуру. Знайденому пікселю присвоюється унікальний ідентифікаційний номер, який має назву послідовного номеру контуру та позначається NBD. Далі відбувається послідовний обхід та наступні пікселі маркуються наступним чином:

- якщо наступний піксель нульовий, то поточний піксель – це «права» межа контуру і він позначається -NBD.
- якщо значення поточного та наступного пікселя однакові, то наступний піксель позначається NBD.

Ці дії виконуються ітераційно, поки не буде досягнутий правий нижній кут зображення.

У розділі були досліджені методи виділення границь для розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні, а саме детектор Канні, фільтр Собеля, ланцюговий код Фрімена та алгоритм Сузукі-Абе. Алгоритм Сузукі-Абе показав кращі результати первинного розпізнавання ніж інші методи. Для покращення результатів виділення контурів будівель на етапі бінаризації було запропоновано використовувати поріг бінаризації, знайдений за значеннями, що відповідають значенням особливостей, які можна визначити шляхом аналізу гістограми зображення у відтінках сірого.

У **третьому розділі** розроблено інформаційну технологію розпізнавання будівель. При розробці інформаційної технології були враховані такі аспекти:

- у багатьох будівель комплексні характеристики, і проста геометрія не може їх описати;
- виявлення краю і результати сегментації не можуть бути використані як єдине рішення в процесі розпізнавання;
- зображення повинні бути розділені таким чином, щоб було можливо спростити процедуру розпізнавання;
- допоміжні дані, такі як метадані та експертні дані, повинні бути використані для покращення рішення;
- при розпізнаванні 3D особливостей слід інтегрувати сигнали глибини, такі як тіні, або залучати стереозображення.

На основі вищевикладеного розроблена технологія, яка заснована на інтеграції джерел дистанційного зондування і наявних даних ГІС. Використовуються набори ортотрансформованих даних дистанційного зондування з високою роздільною здатністю.

Технологія складається з наступних етапів (рис.1):

- розбиття сцени на ділянки;
- аналіз гістограми;
- сегментація особливостей;
- верифікація результатів розпізнавання: верифікація, заснована на експертних даних ділянки; тіньовий аналіз; аналіз геометрії;
- локалізація контуру будівлі (перетворення растрового зображення у векторне, узагальнення контуру).



Рис.1. Інформаційна технологія розпізнавання будівель

На першому етапі технології зображення розбивається на сегменти для локалізації пошуку та первинного спрощення сцени розпізнавання. Експертні атрибути ділянки використовуються для вилучення порожніх ділянок та визначення типів ділянок (житлова забудова, багатоповерхова або комерційна), що полегшує процес розпізнавання.

Другий етап – аналіз гистограми, заснований на локалізації в ній піків. Попередні дослідження зображень із забудовою показали стабільну генерацію піків гистограми для даху будівлі, тобто будівлі є доміантними особливостями в межах ділянки. Оскільки ділянка кінцевий двовимірний простір з обмеженим числом особливостей, то будівля охоплює значну кількість пікселів і пік присутній у гистограмах для усіх трьох смуг (рис.2). У великій вибірці будівель в тестових зображеннях було помічено, що близько 50% ділянок містять будівлі, які створюють мажоритарний пік (найвищий пік на гистограмі). В інших випадках (рис.3), будівля генерує пік, але немажоритарний, а в деяких випадках (рис.4), піків декілька, що відповідає комплексу будівель на ділянці.

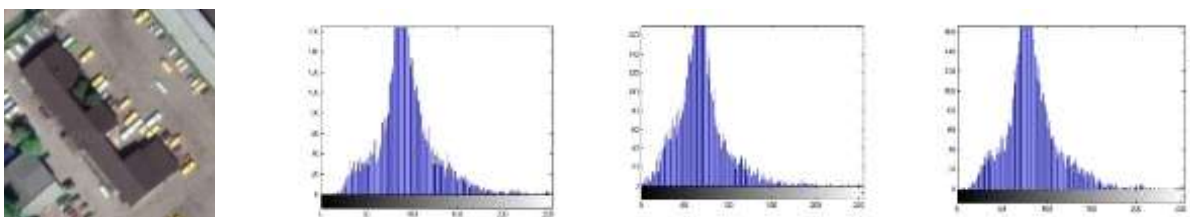


Рис.2. Ділянка з одним будинком, пік мажоритарний

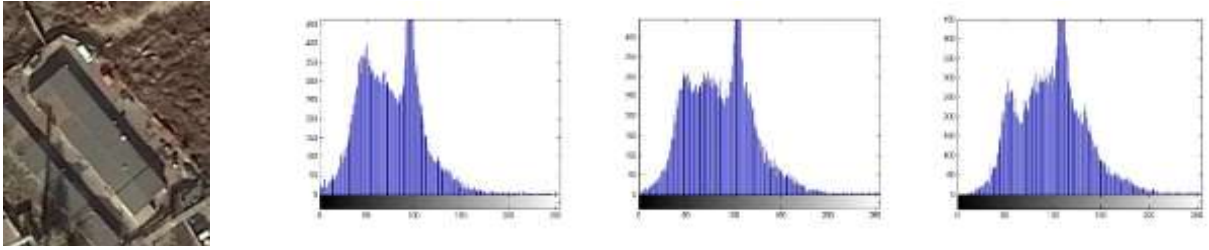


Рис.3. Ділянка з одним будинком, пік немажоритарний

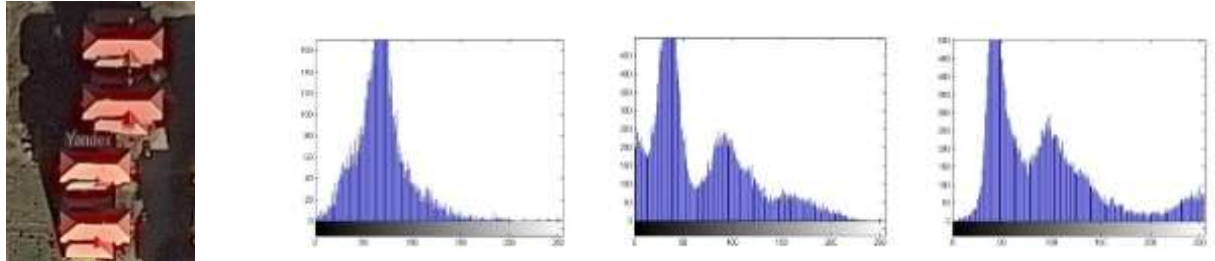


Рис.4. Ділянка з декількома будівлями з різними особливостями дахів

В процесі розпізнавання були визначені три різні «сценарії» кореляції:

1. Всі три смуги гістограми мають високу кореляцію.

В цьому сценарії можливі різні варіанти відповідності між мажоритарним піком гістограми та результатами розпізнавання. Будівля може мати унікальні спектральні характеристики в межах ділянки і достатньо просту геометрію, тому розпізнаватися повністю та без помилок (рис.5).



Рис.5. Мажоритарний пік, будівля розпізнається повністю:

а) вихідне зображення; б) результати попереднього розпізнавання;
в) узагальнений контур будівлі

Один мажоритарний пік гістограми може представляти цілу особливість (не завжди простої геометрії) (рис.6а), частину особливості (рис.6б) або кілька об'єктів з подібними спектральними характеристиками (рис.6в).

Можлива ситуація, що всі смуги гістограми висококорельовані та мають мажоритарний пік, але колір даху «конкурує» за спектральним значенням з тінню або оточуючою ділянкою, тому при розпізнаванні виникають дефекти і дах розпізнається частково (рис.7).

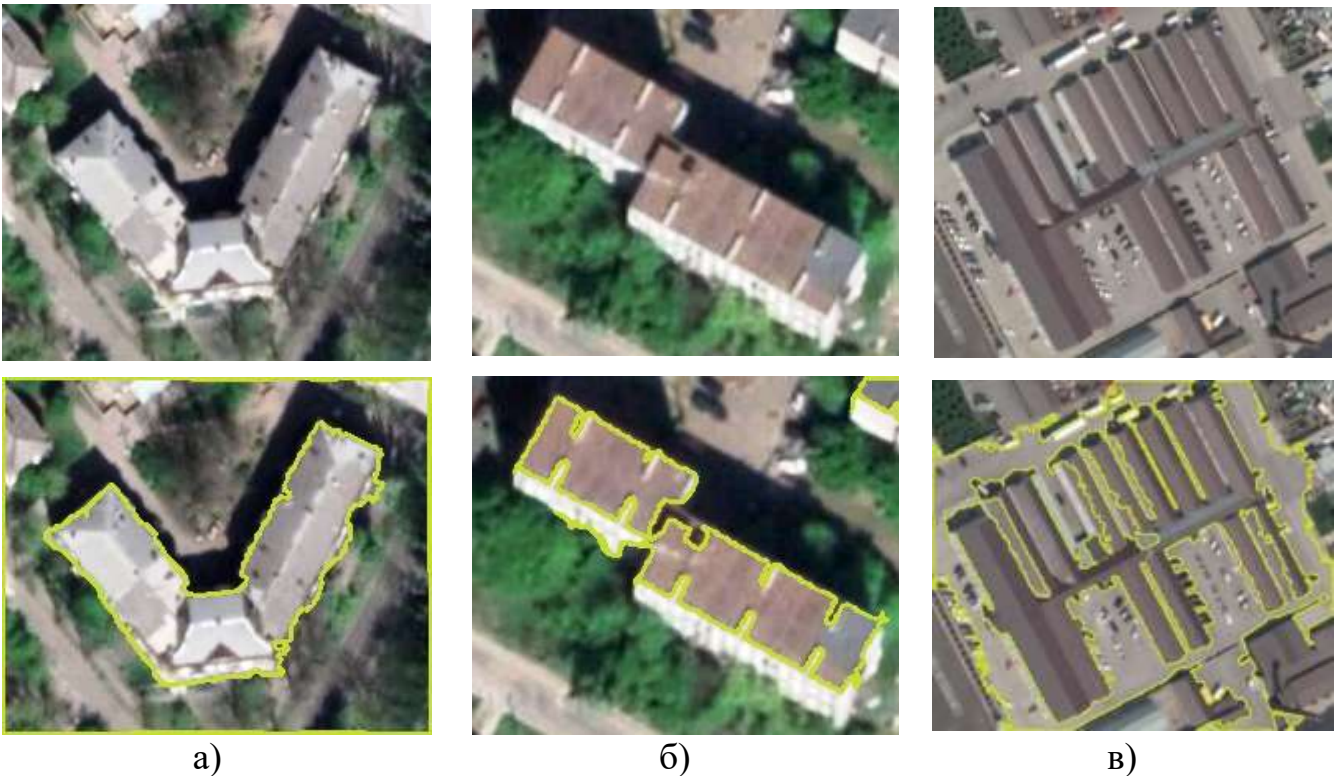


Рис.6. Результат сегментації: а) один пік відповідає всій будівлі, б) різні піки представляють собою будівлю у вигляді декількох секцій, в) кілька об'єктів мають однакові спектральні характеристики



Рис.7. Пік мажоритарний, але колір даху «конкурує» з тінню (а), тому дві сторони даху сегментовані окремо та неповністю (б, в)

2. Дві смуги мають високу кореляцію і мають «сідло»-подібну геометрію, що визначається як два піки близькі один до одного (різниця не більше 50 значень), їх пікові значення істотно не відрізняються (максимум $1/3$) і сідлова точка не менше 50% від максимальної кількості пікселів. Такий розподіл вказує на наявність двох класів, змішаних разом. Цей сценарій виникає, коли дах має нахил, і є різниця в сірих рівнях між двома сторонами покрівлі через напрям сонячного освітлення, або дах будівлі складної форми (рис.8а). Рис.8б, в ілюструють вплив комбінованого піку на об'єкт сегментації: дах розпізнається не як єдиний об'єкт, а частинами, кожен пік в «сідлі» (рис.8г), обробляється як окремий пік, тобто, інший об'єкт, що привело до виключення частини даху складної будівлі.

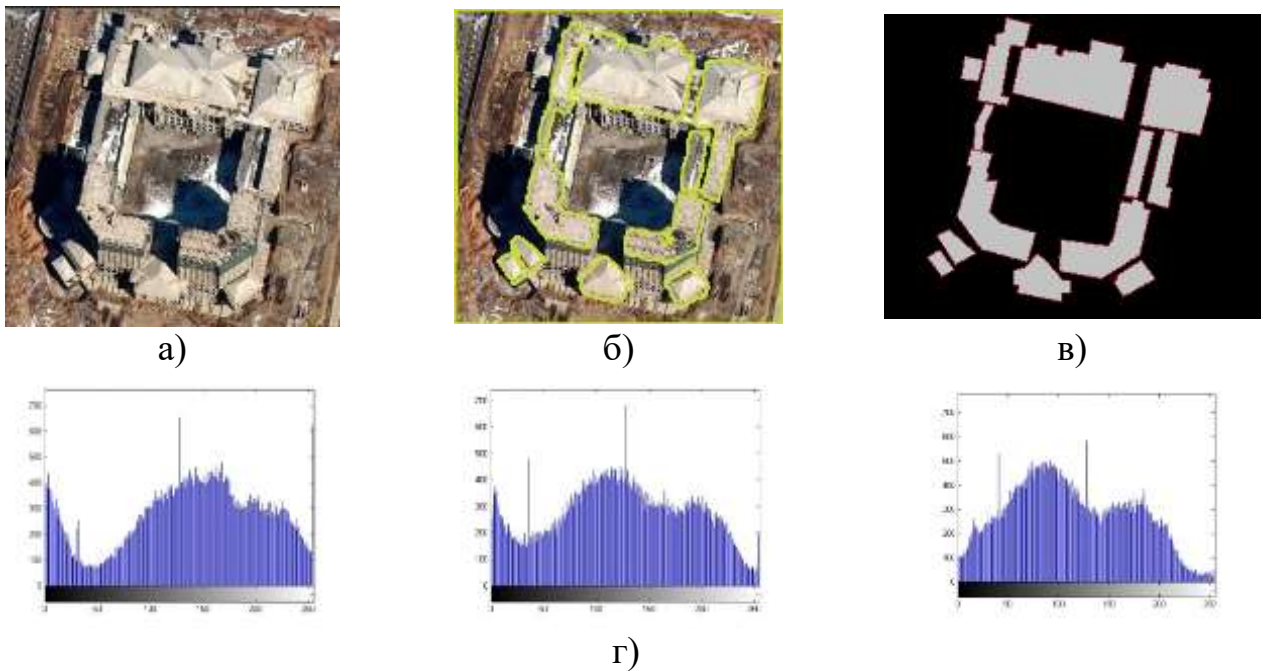


Рис.8. Розпізнавання об'єктів, гістограма яких має «сідлову» точку:
а) вихідне зображення; б) попередні результати розпізнавання; в) узагальнений контур будівлі; г) гістограма будівлі має «сідло»-подібну форму

3. Якщо дві смуги гістограми сильно корельовані і мають піки (рис.4), то це злиття декількох об'єктів. У першій смугі відокремлений пік, друга та третя мають два майже рівнозначні піки, отже, вони представляють множинний об'єкт. Рис.9а показує комплекс будівель і ділянки, прилеглі до будівлі, які поділяють ті ж значення рівня сірого в межах смуги 2 і смуги 3. Ці значення смуг лежать в межах одного і того ж піку гістограми. Смуга 1 дає мажоритарний пік і дозволяє вилучити складний об'єкт. Рис. 9б показує результат сегментації смуг 1, 2 і 3. Рис.9в ілюструє результат сегментації, коли тільки смуги 2 і 3 взяті до уваги.

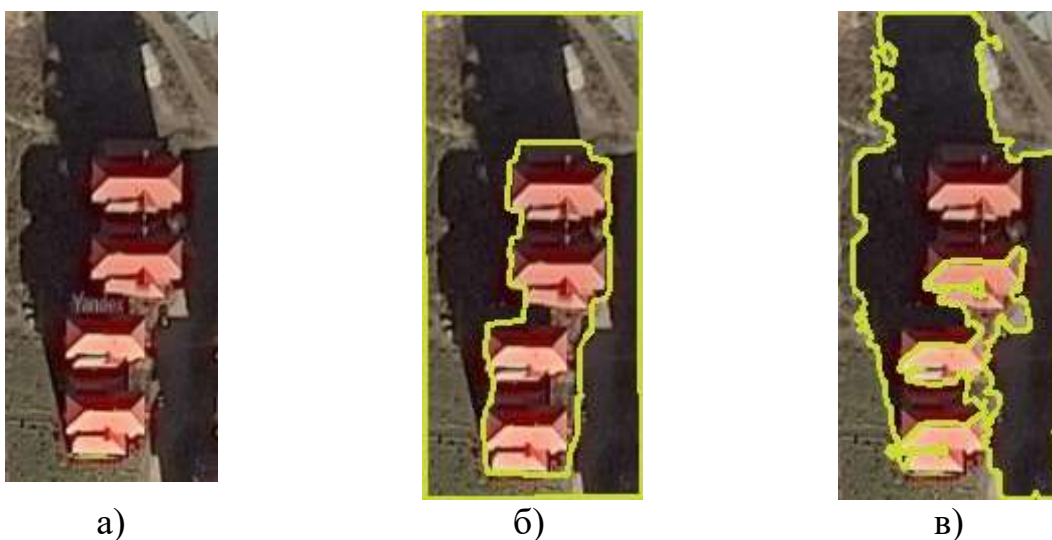


Рис.9. Розпізнавання групи об'єктів, гістограма яких має кілька мажоритарних піків: а) вихідне зображення; б) розпізнавання по трьох смугах; в) розпізнавання за смугами 2 та 3

На етапі сегментації вихідне зображення перетворюється у градації сірого. Далі на основі аналізу гистограми обирається поріг бінаризації, по бінарному зображенню за алгоритмом Сузукі-Абе будується контур будівлі. Піксели групуються в чіткі контури для подальшої обробки та верифікації. Всі дефекти сегментації сильно впливають на подальшу процедуру аналізу. Помилковий сегмент може включати острівці і розриви або навіть виключити частину будівлі. Комплекси будинків можуть бути вилучені у вигляді декількох секцій і об'єднані вже на етапі постобробки.

На наступних етапах розробленої технології проводиться аналіз розмірів, тіні і геометрії сегментів. Аналіз розмірів ґрунтується на експертних атрибутивних даних. Обмеження за розміром може використовуватися, щоб усунути сегменти, вилучені особливості яких не відповідають експертним даним ділянки. Обмеження розміру оцінюється або за допомогою площі, взятої із таблиці атрибутів експертної бази даних, або обчислюється як мінімальний відсоток розміру ділянки. Після відсіювання малих за розміром сегментів, нейронна мережа приймає рішення про усунення сегмента «не-будівлі». Нейронна мережа створена за допомогою бібліотеки SkynetLib, містить два шари згортки, шар пулінгу, два повнозв'язних шари та функцію втрат; вона була навчена на маркованих наборах експертних даних. Для розрахунків використовується інтерфейс OpenBLAS та технологія CUDA.

Знання напрямку сонячного освітлення може допомогти розрізнити сегменти, які мають тінь на коректній позиції і відносяться до сегментів з будівлями, і сегменти з «некоректною» тінню, і, які відповідно, не є будівлями. Якщо знімки не містять метаданих, які дозволяють автоматично визначити напрямок сонячного освітлення, передбачена можливість втручання користувача для його зазначення. Оскільки тінювий сегмент і сегмент будівлі є суміжними, навколо сегментованих тіней створюється буфер. Кожен сегмент тіні потім досліджується на предмет можливого перекриття з буферами «особливих» сегментів (оскільки може бути більш однієї тінювої області навколо будівлі). Будь-який сегмент, який перекривається буфером тіні, позначається як потенційна будівля. Далі, розглядається відносне розташування тіні і сегмента. Визначається специфіка розташування і орієнтації кожного сегмента особливостей і тінювого сегмента. За наведеним нижче алгоритмом, проводимо перевірку сегментів особливостей, що є кандидатами в будівлі:

1. Вилучення дрібних за розміром сегментів.
2. Створення буфера навколо сегмента з тінню.
3. Якщо буфер тіні перекриває сегмент з «особливістю», то визначається локалізація і орієнтація тіні.
4. Якщо тінь розташована з «правильної» сторони, сегмент з особливістю є сегментом з будівлею, і він залишається, якщо ні – даний сегмент-кандидат виключається, і перевіряється наявність навколо буфера тіні наступного «особливого» сегмента (повернення на крок 3).
5. Якщо буфер тіні не перекриває жодного сегмента з «особливістю», відбувається виключення даного тінювого сегменту і перехід до наступного.

Тіні, як правило, найтемніша частина зображення. Дослідження супутникових знімків показало, що тіні можуть бути визначені як нижні 20% значень в дисперсії рівнів сірого в зображенні. Для зображення у градаціях сірого визначається поріг та виконується бінаризація за цим порогом. Для створення тіньового сегменту пікселі з певними значеннями групуються в сегменти. Накладається маска для визначення тіньового образу (рис.10).

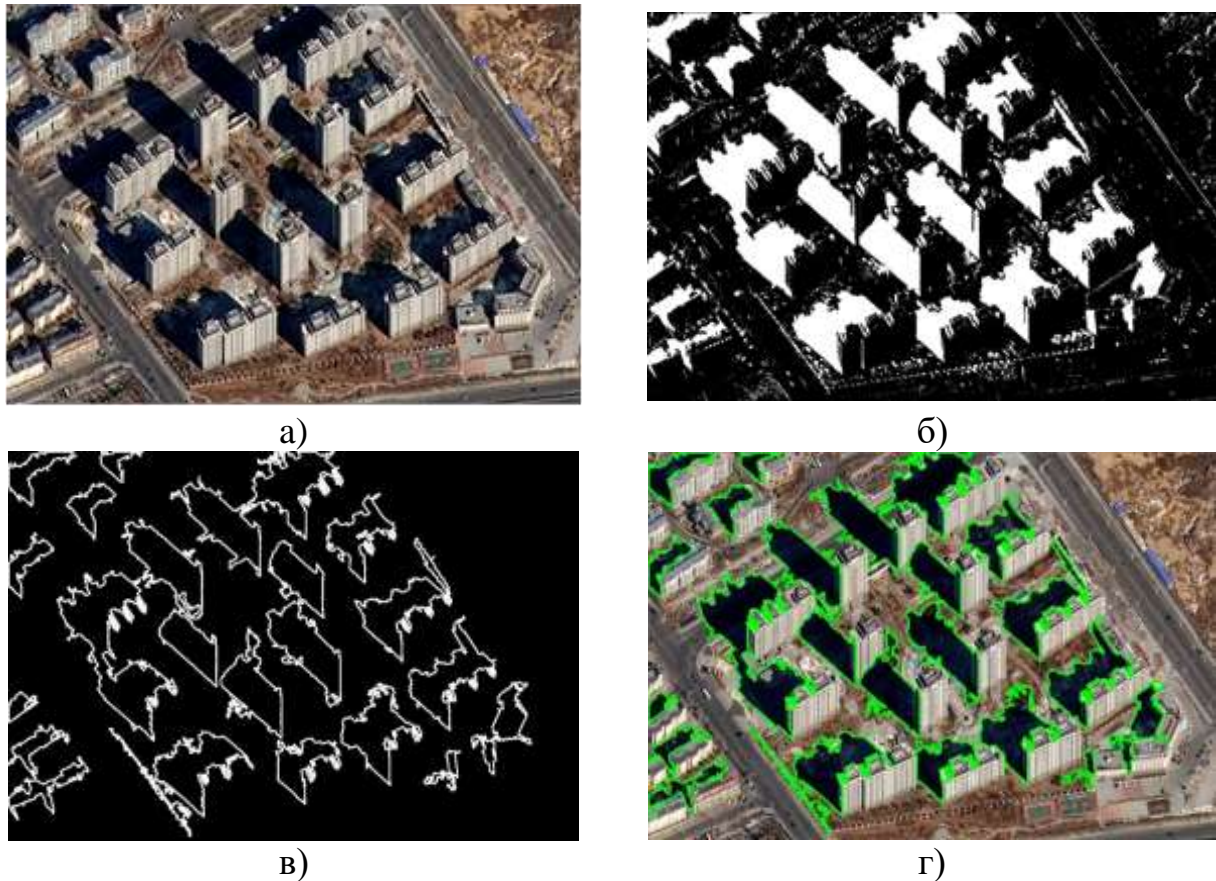


Рис.10. Етапи побудови тіньового образу: а) вихідне зображення; б) бінарна «тіньова» маска»; в) локалізація та сегментація тіні; г) тіньовий сегмент

Відсів сегментів з низькою ймовірністю «бути будівлею» базується також і на геометрії. Мірами для геометричного аналізу були обрані: прямокутність, округлість, монолітність, опуклість, компактність. Для розрахунку прямокутності (*Rect*) використаний МОП (мінімальний обмежуючий прямокутник, англ. MBR). Міра прямокутності відображає співвідношення між площею сегмента і площею MBR:

$$Rect = \frac{S_{Seg}}{S_{MBR}} \quad (4)$$

де S_{Seg} - площа сегмента, S_{MBR} - площа MBR.

Для оцінки геометричної ймовірності, що це будівля, також обчислюються наступні параметри: монолітність (*Sol*), опуклість (*Conv*) і компактність (*Comp*):

$$Sol = \frac{S_{BPA}}{S_{Seg}}, \quad (5)$$

$$Conv_p = \frac{P_{CH}}{P_{GP}}, \quad (6)$$

$$Conv_o = \frac{P_{CH}}{P_{OP}}, \quad (7)$$

$$Conv_s = \frac{S_{CH}}{S_{GP}}, \quad (8)$$

$$Comp = \frac{S_{Seg}}{S_{Comp}} = \frac{16 \cdot S_{Seg}}{P_{Seg}^2}, \quad (9)$$

де S_{BPA} – площа обмежуючого багатокутника; P_{CH} – периметр опуклої оболонки; P_{GP} – периметр узагальнюючого багатокутника; P_{OP} – периметр вихідного багатокутника (полігона); S_{CH} – площа опуклої оболонки; S_{GP} – площа узагальнюючого багатокутника (полігона); S_{Comp} – площа компактної форми з тим же периметром; P_{Seg} – периметр сегмента. Округлість контуру обчислюється, використовуючи інваріанти моментів.

Дані характеристики перевіряються індивідуально шляхом порівняння поведінки параметра для об'єктів «будівля» і «не будівля». Індекс ймовірності для кожного сегмента розрахований на основі значень кожної міри для вручну обраних сегментів з будівлями і без. Можливість наявності порожнин в межах сегмента оцінюється як ознака для виключення сегмента (порожнини, більші ніж очікується, будуть індикатором відсутності будівлі). Використовуються прості обмеження, такі як мінімальна ширина будівлі (для простору, придатного для житла або використання як робочої зони).

На підставі величини різних параметрів, кожен діапазон отримав значення ймовірності. Ймовірнісні значення для всіх показників були об'єднані в один довірчий показник, який відображає чи є сегмент будівлею чи ні. Дослідження показали, що для верифікації сегментів будівель і «не-будівель» і усунення сегментів «не-будівель» найбільш придатними є такі ознаки як прямокутність, округлість, опуклість на основі узагальнюючого багатокутника, опуклість на основі співвідношення площ і компактність. Використання таких ознак як монолітність та опуклість на основі обмежуючого багатокутника не є інформативними. Сегменти з особливостями, які визначені на основі різних ознак не як будівлі, будуть усунені. На останньому етапі за допомогою алгоритму Рамера-Дугласа-Пекера проводиться згладжування отриманого контуру будівлі та (за необхідності) переведення растрового зображення у векторне.

Програмна реалізація виконана у вигляді додатка, написаного на C++ з використанням бібліотеки OpenCV. На рис.11 подані результати роботи запропонованого алгоритму розпізнавання.



а)



б)



в)



г)

Рис. 11. Результати розпізнавання: а) вихідне зображення; б) результати попереднього розпізнавання - разом з будівлею сегментовані також ділянки земної поверхні; в) результати верифікації з використанням експертних даних; г) результати розпізнавання після трьох етапів верифікації

У четвертому розділі проведено тестування розробленої інформаційної технології на трьох різних характерних типах сцен міської забудови: багатоповерхова забудова, комерційна (промислова) забудова та житловий сектор на знімках просторового розрізнення 5-10 м, отриманих з супутників Sentinel-2, Landsat-7, 8 з безкоштовних сервісів LandViewer та Sentinel Hub. Розпізнавання одних й тих же ділянок було проведено з повним циклом та виключаючи певні етапи верифікації. Оцінка отриманих результатів проводилася порівнянням площі та геометрії вилученого образу та параметрів тестової будівлі з урахуванням двох типів помилок: помилково розпізнаних будівель та будівель, які не були розпізнані або були усунені на різних етапах верифікації.

Наведені в табл.1. результати тестування показують кількість вірно розпізнаних будівель та ілюструють, що найкраще піддається розпізнаванню комерційна (промислова) забудова.

Таблиця 1. Результати розпізнавання для трьох типів сцен

Метод	Житловий сектор	Висотні будівлі	Комерційні будівлі
Повний аналіз	0,87	0,83	0,91
Верифікація без аналізу розміру	0,57	0,75	0,73
Верифікація без тіньового аналізу	0,69	0,61	0,58
Верифікація без геометрії	0,74	0,74	0,77

Тестування показало, що найменше впливає на результат розпізнавання верифікація на основі геометричного аналізу. При розпізнаванні комерційних будівель основними чинниками, які впливають на результат розпізнавання є похилий дах; складна геометрія даху, обумовлена комплексним характером будівлі; схожі спектральні характеристики даху будівлі, тіней та великих зон паркування. Практично не впливає на результати розпізнавання наявність дерев, оскільки біля комплексів такого типу присутня, як правило, невелика кількість зелених насаджень.

При розпізнаванні комерційної нерухомості за рахунок значної площі комплексу будівлі трапляються випадки, коли на першому етапі розпізнавання частини комплексу опиняються на різних ділянках і можуть бути усунені на одному з етапів верифікації. При розпізнаванні житлових будівель були визначені два характерних типи будівель: приватні будівлі та житлові комплекси (таунхауси). При вилученні приватних будівель факторами, які заважають розпізнаванню, є велика кількість дерев навкруги будівель, листя дерев приховує частини будинку, ускладнює конфігурацію даху гілками або кидає тінь на дах, тому вилучені сегменти можуть мати меншу площу ніж експертні дані та можуть бути усунені на етапі верифікації шляхом аналізу геометрії. Однак, дана проблема вирішується при роботі зі знімками, які зроблені навесні або восени. Менше наявність дерев впливає на розпізнавання житлових комплексів. При розпізнаванні багатоповерхової забудови основним фактором, який впливає на результат розпізнавання, є зміщення за рельєф внаслідок особливостей умов зйомки. Висота будинку може ускладнити процедуру розпізнавання, оскільки стіни можуть бути вилучені як секція даху будівлі.

Проведено порівняння результатів роботи розробленої технології з результатами розпізнавання за допомогою детектора Канні, фільтра Собеля та ланцюгового коду Фрімена (табл.2).

Таблиця 2. Порівняння результатів розпізнавання

Метод	Житловий сектор	Висотні будівлі	Комерційні будівлі
Розроблена технологія	0,87	0,83	0,91
Детектор Канні	0,57	0,77	0,79
Ланцюговий код Фрімена	0,79	0,69	0,74
Фільтр Собеля	0,76	0,71	0,69

У розділі також проведено оцінку результатів розпізнавання будівель за такими метриками як «Precision», «Recall» та «Quality», які розраховані на основі матриці помилок.

Recall (true positive rate, TPR) визначає долю дійсно розпізнаних об'єктів відносно всіх об'єктів в тестовій вибірці та розраховується за формулою:

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} , \quad (10)$$

де TP – загальна площа вірно розпізнаних будівель, FN – площа будівель, які були помилково усунені на різних етапах розпізнавання.

Precision (positive predictive value, PPV) визначає долю дійсно вірно розпізнаних об'єктів серед всіх розпізнаних та розраховується за формулою:

$$PPV = \frac{TP}{TP+FP} , \quad (11)$$

де FP – площа помилково розпізнаних будівель («не будівлі»).

Quality – показник, який поєднує в собі значення Recall і Precision:

$$Quality = \frac{TP}{TP+FN+FP} . \quad (12)$$

Результати кількісної оцінки порівняльного аналізу методів розпізнавання будівель наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Результати оцінки точності розпізнавання будівель

Метод	Recall	Precision	Quality
Розроблена технологія	0,8702	0,7699	0,6821
Детектор Канні	0,6507	0,5200	0,4900
Ланцюговий код Фрімена	0,7102	0,6907	0,5011
Фільтр Собеля	0,7406	0,6804	0,5003

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні розв'язана важлива науково-прикладна задача підвищення точності, рівня автоматизації та швидкодії розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні, зокрема будівель, на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення шляхом розробки інформаційної технології та методів аналізу та розпізнавання.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку методів і технологій корекції, синтезу та аналізу супутникових даних і відповідних інформаційних систем різного призначення, які, як правило, є дорогими, трудомісткими та з використанням ручного дешифрування. Існуючі алгоритми та методи розпізнавання об'єктів забудови не є ефективними і для підвищення ефективності розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні необхідні комплексні підходи. За результатами проведеного аналізу обґрунтовано необхідність розробки інформаційних технологій автоматизованої обробки з метою скорочення часу та вартості обробки геопросторових даних.

2. Розроблено метод розпізнавання штучних об'єктів на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення на основі алгоритмів виділення контурів.

3. Проведено порівняльний аналіз ефективності застосування різних методів виділення контурів при розпізнаванні будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення. Результати досліджень свідчать про те, що застосування алгоритму Сузукі-Абе при побудові контуру в поєднанні з методами верифікації на основі геометричного та тіншового аналізу та з використанням експертних даних дає найкращий результат у порівнянні з іншими алгоритмами виділення контурів, такими, як детектор границь Канні, фільтр Собеля та ланцюговий код Фрімена, ефективно визначаючи границі та контури будівель різної форми.

4. Запропоновано використання багатоітераційної верифікації результатів розпізнавання на основі геометричних та експертних даних, що дозволило зменшити кількість помилок та підвищити якість розпізнавання будівель.

5. Розроблено метод ідентифікації тіні об'єкта та її використання для верифікації результатів розпізнавання будівель. Отримані результати свідчать про те, що запропонований метод дозволяє якісно визначати тіні, зменшити кількість помилок розпізнавання штучних об'єктів земної поверхні та істотно зменшити час дешифрування даних ДЗЗ.

6. На основі запропонованих методів розроблено інформаційну технологію розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення.

7. Інформаційна технологія реалізована у вигляді окремого програмного продукту із використанням сучасних методів програмування, що дозволяє полегшити розпізнавання об'єктів та зменшити вимоги до кваліфікації користувача.

8. Проведено тестування розробленої інформаційної технології на трьох типах сцен: житловий сектор, промислова та багатоповерхова забудови. Дослідження показали, що застосування запропонованої інформаційної технології дешифрування штучних об'єктів призводить до чіткого визначення контурів будівель з точністю понад 90% в залежності від типу забудови.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Гнатушенко В.В. Розпізнавання будівель на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення / В.В.Гнатушенко, **Н.О. Соколова**, Т.В. Касьяненко // Нові технології.- Кременчук: ІЕНТ, 2013.- № 3-4 (7-8). – С. 58-63.

(Фахове видання категорії Б, індексується в Google Scholar. Особистий внесок: розробка алгоритму розпізнавання будівель на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення)

2. **Соколова Н.О.** Распознавание контуров зданий на спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения / Н.О. Соколова // Вісник Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2015. – №3(54) - С.610-615.

(Фахове видання категорії Б, індексується в Google Scholar)

3. **Соколова Н.О.** Верификация сегментов зданий путем анализа геометрии / Н.О.Соколова // Вісник Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2016. – №3(58) - С.149-153. *(Фахове видання категорії Б, індексується в Google Scholar)*

4. **Соколова Н.О.** Використання наявності тіні при розпізнаванні будівель на супутникових зображеннях високого розрізнення / Н.О. Соколова, Є.О. Обиденний // Вісник Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2017. – №3(62) Т.1. - С.345-348.

(Фахове видання категорії Б, індексується в Google Scholar. Особистий внесок: розробка алгоритму сегментації тіні на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення)

5. **Sokolova N.O.** Verification of building recognition in shadow analysis / N.O. Sokolova // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Дніпро, 2018. - №5(118). – Р.114-120.

(Фахове видання категорії Б, індексується в Index Copernicus)

6. **Соколова Н.О.** Інформаційна технологія автоматизованого розпізнавання будівель / Н.О. Соколова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Дніпро, 2020. - №3(128). – Р.57-67. DOI 10.34185/1562-9945-3-128-2020-06.

(Фахове видання категорії Б, індексується в Index Copernicus)

7. **Sokolova N.** Verification of building recognition with expert data usage / N.Sokolova // SWorldJournal, 2020.- Issue 6, Part 6. P.53-58. DOI: 10.30888/2663-5712.2020-06-06-121

(Закордонне періодичне видання, індексується в Index Copernicus, Google Scholar)

Роботи, що додатково відображають наукові результати дисертації:

8. Гнатушенко В.В. Информационная технология распознавания контуров зданий на аэрокосмических снимках / В.В. Гнатушенко, **Н.О. Соколова** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» – ІТММ'2014, 25-27 березня 2014, с.84-85.

(Особистий внесок: розробка інформаційної технології розпізнавання будівель на аерокосмічних знімках)

9. Гнатушенко В.В. Технология автоматизированного распознавания и реконструкции контуров зданий на спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения / В.В. Гнатушенко, **Н.О. Соколова** // Тезисы международной научно-практической конференции «Средства и технологии ДЗЗ из космоса в науке, образовании, бизнесе». – Россия, Санкт-Пт, 10-11 апреля 2014 г., с.45-48.

(Особистий внесок: розробка алгоритму реконструкції контурів будівель на супутникових зображеннях високого просторового розрізнення)

10. Гнатушенко В.В. Технологія розпізнавання об'єктів міської забудови за супутниковими зображеннями надвисокого просторового розрізнення / В.В. Гнатушенко, **Н.О. Соколова** // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» ISDMCI'2014, Херсон, 28-31 травня 2014 р., с.57-58.

(Особистий внесок: розробка алгоритму розпізнавання об'єктів міської забудови за супутниковими зображеннями надвисокого просторового розрізнення.)

11. **Соколова Н.О.** Автоматизація дешифрування супутникових зображень високого розрізнення / Н.О. Соколова, В.В. Гнатушенко, Т.В. Касьяненко, В.М. Щербина // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” (MPZIS-2014). - Дніпропетровськ: 19-21 листопада 2014 р., с.216-217.

(Особистий внесок: розробка алгоритму дешифрування штучних об'єктів на супутникових зображеннях)

12. **Соколова Н.О.** Влияние характерных особенностей зданий на результаты процесса их распознавания / Н.О. Соколова, В.В. Гнатушенко // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2015)». – Херсон: ХНТУ, 2015 р. – С. 317-318.

(Особистий внесок: проведення досліджень впливу особливостей будівель на результати їх розпізнавання)

13. **Соколова Н.О.** Автоматизированная экстракция зданий из фотограмметрических изображений / Н.О.Соколова // I Міжнародний науково-практичний форум «Наука і бізнес». – Дніпропетровськ, Чернівці, 29 червня – 3 липня 2015 р. – С.259-262.

14. **Соколова Н.О.** Влияние особенностей здания на гистограмму спутникового изображения высокого пространственного разрешения / Н.О.Соколова // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” (MPZIS-2015). - Дніпропетровськ: 18-20 листопада 2015 р. – С.48-52.

15. **Соколова Н.О.** Выделение контуров объектов городской застройки на спутниковых изображениях / Н.О.Соколова // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Перспективні напрямки сучасної

електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем»(MEICS-2015). - Дніпропетровськ: 25-27 листопада 2015 р. – С.80-81.

16. **Соколова Н.О.** Анализ теней высотных объектов на основе метаданных спутниковых изображений высокого разрешения / Н.О.Соколова // Международная научно-практическая конференция «Передовые методы обработки и анализа космической информации». – Дніпропетровськ: 3-4 грудня 2015 р. – С.61-64.

17. **Соколова Н.О.** Оцінка впливу кількості піків гістограми супутникових зображень на розпізнавання контурів будівель різних типів міської забудови / Н.О.Соколова // II Міжнародний науково-практичний форум «Наука і бізнес». – Дніпропетровськ, 1 липня 2016 р. - С.92-97.

18. **Соколова Н.О.** Геометричний аналіз як інструмент верифікації результатів екстракції будівель / Н.О.Соколова // II Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (КМОСС-2016). - Дніпро, 1-3 листопада 2016 р. – С.224-226.

19. **Соколова Н.О.** Тіньовий аналіз як етап розпізнавання знімків міської забудови / Н.О.Соколова, Є.О.Обиденний // Матеріали XVIII міжнародної конференції з математичного моделювання, присвяченої 100-річчю з дня народження академіка Ю.О.Митропольського (МКММ 2017). – Херсон: 18-22 вересня 2017 р. - С.87-88.

(Особистий внесок: розробка алгоритму сегментації тіні на цифрових мультиспектральних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення)

20. Гнатушенко В.В. Інформаційна система попередньої обробки та розпізнавання будівель на багатоканальних аерокосмічних знімках / В.В.Гнатушенко, Є.О.Обиденний, **Н.О.Соколова**, Я.І.Шедловська // III Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (КМОСС-2017). – Дніпро: 1-3 листопада 2017 р. – С.185-187.

(Особистий внесок: розробка алгоритму сегментації тіні)

21. Гнатушенко В.В. Алгоритмічне забезпечення процесу формування цифрових моделей рельєфу за даними космічної стереозйомки / В.В. Гнатушенко, Вік.В. Гнатушенко, Т.А. Прокоф'єв, **Н.О. Соколова** // Матеріали Междунар. научно-технической конференции «Информационные технологии в металлургии и машиностроении». – Дніпро: 26–28 березня 2019 р. – С.96.

(Особистий внесок: розробка алгоритму побудови цифрових моделей рельєфу земної поверхні)

АНОТАЦІЯ

Соколова Н.О. Інформаційна технологія автоматизованого розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2021.

У дисертаційній роботі розв’язана важлива науково-прикладна задача підвищення ефективності автоматизованої обробки, аналізу та розпізнавання багатоканальних фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення. Проведений огляд запусків космічних апаратів ДЗЗ, питань формування цифрових сканерних зображень високого просторового розрізнення, їх класифікація та особливості. Проаналізовані загальні підходи до розпізнавання образів та їх застосування в задачах розпізнавання будівель. Проведено огляд програмного забезпечення для обробки зображень на знімках високого просторового розрізнення. Аналіз сучасних методів розпізнавання будівель показав недосконалість використання окремих методів та алгоритмів, малу кількість інформаційних технологій автоматичного розпізнавання будівель та необхідність розробки комплексного підходу для вирішення цього питання.

Запропоновано інформаційну технологію розпізнавання будівель, яка складається з аналізу гістограм, знаходження контурів будівель та верифікації результатів. Для верифікації результатів розпізнавання розроблені методи на основі геометричного аналізу, тіншового аналізу та використання метаданих.

Запропонована інформаційна технологія реалізована у вигляді програмного додатку, що дозволяє виконувати операції по автоматизованому розпізнаванню будівель на фотограмметричних зображеннях різної природи (аерокосмічних, лідарних, квадрокоптерних) навіть непрофесійному користувачу-дешифрувальнику. Виконання операцій обробки за допомогою розробленого програмного додатку значно скорочує час отримання результатів та підвищує якість розпізнавання.

Ключові слова: космічні дані, супутникові зображення, інформаційні технології, розпізнавання, фотограмметричні зображення, високе просторове розрізнення.

АННОТАЦИЯ

Соколова Н.О. Информационная технология автоматизированного распознавания зданий на фотограмметрических изображениях высокого пространственного разрешения – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днипро, 2021.

В диссертационной работе решена важная научно-прикладная задача повышения эффективности автоматизированной обработки, анализа и распознавания многоканальных фотограмметрических изображений высокого пространственного разрешения. Проведен обзор запусков космических аппаратов ДЗЗ, вопросов формирования цифровых сканерных изображений высокого пространственного разрешения, их классификация и особенности. Проанализированы общие подходы к распознаванию образов и их применение в

задачах распознавания зданий. Проведен обзор программного обеспечения для обработки изображений на снимках высокого пространственного разрешения. Анализ современных методов распознавания зданий показал несовершенство использования отдельных методов и алгоритмов, малое количество информационных технологий автоматического распознавания зданий и необходимость разработки комплексного подхода для решения этого вопроса.

Предложена информационная технология распознавания зданий, состоящая из анализа гистограмм, извлечения контуров зданий и верификации результатов. Для верификации результатов распознавания разработаны методы на основе геометрического анализа, теневого анализа и использования метаданных.

Предложенная информационная технология, реализованная в виде программного приложения, позволяет выполнять операции по автоматизированному распознаванию зданий на фотограмметрических изображениях различной природы (аэрокосмических, лидарных, квадрокоптерных) даже непрофессиональным пользователям-дешифровщикам. Выполнение операций обработки с помощью разработанного программного приложения значительно сокращает время получения результатов и повышает качество распознавания.

Ключевые слова: космические данные, спутниковые изображения, информационные технологии, распознавание, фотограмметрические изображения, высокое пространственное разрешение.

SUMMARY

Sokolova N.O. Automated building recognition information technology for photogrammetric images of high spatial resolution – Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 - Information technologies. - National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, 2021.

This dissertation work provides a solution for developing information technology building recognition on images from remote Earth sensing and verification of recognition results. Dissertation work contains general information about photogrammetry, current state of Earth remote sensing, general approaches of pattern recognition, including existing software, methods and technologies for image processing with high spatial resolution and there are currently several information technologies for automatic building recognition showing low accuracy. The developed technology consists of the following stages: division of a scene into sites; histogram analysis; feature segmentation; verification of recognition results based on expert database; shadow analysis; geometry analysis; building contour localization.

In the first stage, the image is divided into segments to localize the search and to make the initial simplification of the recognition scene and to determine plot types (residential, multi-storey or commercial), which facilitate the recognition process. The second stage - histogram analysis is based on the localization of peaks in the histogram. In a large sample of buildings in the test images, it was observed that about 50% of the plots contain buildings that create a majority peak (the highest peak on the histogram). In other cases, the building generates a peak, but not a majority, and in some cases,

there is more than one house or complex of buildings on the site. Analysis of histograms makes it possible to determine the binarization threshold at the next stage - the segmentation stage. The building contour is removed from the binary image based on the Suzuki-Abe algorithm.

The following steps are a mechanism for estimating the probability of a segment being part of a building. Size analysis is based on expert attribute data. The size constraint can be used to eliminate segments with features that do not match the expert data about the site. The size constraint is estimated either by the area taken from the attribute table or calculated as the minimum percentage of the plot size. After weeding out small segments, the neural network, previously trained on expert data, decides to eliminate the "non-building" segment. At the stage of shadow analysis, belong to the segments with buildings, and segments with "incorrect" shadows, and which are not buildings. Pixels with certain values are grouped into segments ("feature" segments and shadow segments). Since the shadow segment and the building segment should be adjacent, a buffer is created around the segmented shadows. Each shadow segment is then examined for possible overlaps with buffers for "special" segments as there might be more than one shadow area around the building. Any segment that is overlapped by the shadow buffer is marked as a potential building. If the shadow is located on the "wrong" side, the segment is removed.

Elimination of segments with a low probability of being a building also depends on geometry. Measures used for geometric analysis were selected as follows – rectangular, round, monolithic, convex. These characteristics are checked individually by comparing the behavior of the parameter for objects "building" and "non-building". The values of each parameter were used to calculate the probability of the segment "being a building". The possibility of cavities within a segment is assessed as an indication to exclude a segment. For example, cavities larger than expected will be an indicator of the absence of a building. Simple restrictions are used, such as the minimum width of the building. Segments with features that are defined on the basis of various measures not as buildings will be eliminated. At the last stage, using the Ramer-Douglas-Packer algorithm, the obtained contour of the building is smoothed, and the raster image is converted into a vector one.

Proposed technology was tested with three different characteristic types of scenes: multi-storey buildings, commercial (industrial) buildings and residential single-home areas. The evaluation of obtained results was performed by comparing the area and geometry of the removed image and the parameters of the test building. The test results showed that commercial (industrial) buildings are the most recognizable. Trees, shadows and the offset for the terrain interfere with the building recognition.

The proposed information technology is implemented in the form of a software application, and it allows performing operations on building recognition from any photogrammetric images of various nature (aerospace, lidar, quadrocopters) even by inexperienced users and significantly reduces the time for obtaining results and improves the quality of recognition.

Keywords: space data, satellite images, information technology, recognition, photogrammetric images, high spatial resolution.

Підписано до друку 26.03.2021 р. Замовлення № 123 від 25.03.2021 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Обсяг 1 ум.друк. аркуш. Тираж 100 прим.
Друкарня А0-Print., вул.Лазаряна, 2, м.Дніпро, 49005.
ФОП Грабовчак М.Й. Свідоцтво про державну реєстрацію: В00 № 322744 від 20.01.1995р.

a0-print@ukr.net | +380503635847 | a0.dp.ua