

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

РАНГ АБДУЛКАРИМ АБДАЛЛАХ АБДАЛЛАХ

УДК 528.92

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ОНОВЛЕННЯ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ
ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ ІРАКУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОСМІЧНИХ
ЗНІМКІВ**

Спеціальність 05.24.01 - геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів-2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник : доктор технічних наук, професор
Дорожинський Олександр Людомирович,
завідувач кафедри фотограмметрії та геоінформатики
Національного університету «Львівська політехніка»

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор **Войтенко** Степан Петрович, завідувач кафедри інженерної геодезії Київського національного університету будівництва і архітектури, м.Київ;
- кандидат технічних наук **Барладін** Олександр Володимирович, директор Інституту передових технологій, м.Київ.

Захист відбудеться «25» листопада 2016 р. о 9.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. Карпінського, 6, ауд.502 II-го навчального корпусу).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий «12» жовтня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.

Б. Б. Паляниця

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Оновлення карт місцевості – одне із завдань картографії. Внаслідок людської діяльності та різноманітних природних процесів змінюються об'єкти місцевості і карти, створені для них, стають застарілими і не відповідають реальності. Цим зумовлена необхідність періодичного оновлення карт. Відповідно до масштабу та характеру місцевості, зображеної на карті, таке оновлення виконують з різною періодичністю. Зокрема, карти стратегічно важливих і житлових територій прийнято відновлювати через 5-7 років, а карти інших територій – через 10-15 років. Крім того, існують й інші ситуації, коли оновлення карт необхідно виконувати незалежно від термінів, наприклад при появі нових населених пунктів, що не відображені на давніших картах, у випадку зміни державного кордону, при прокладанні нових доріг і шляхів сполучення.

Ірак є однією з тих країн, де близько 95% топографічних карт масштабу 1:25000, 1:50000 та 1:100000 не оновлюються, а якщо й оновлюються, то лише на незначну територію.

До цього часу одним із основних способів оновлення карт в Іраку була класична для 60-80-х років минулого століття технологія: проведення аерофотознімання, створення нових фотопланів, використання універсальних приладів тощо. Ця технологія передбачала в якості картографічної основи для оновлення топографічних карт використовувати фотоплани, штрихові копії видавничих оригіналів оновлюваної карти. Таку схему оновлення можна було реалізувати приблизно за рік. Очевидно, така технологія не дозволяла одержувати оновлені карти в принципі, позаяк час на їх оновлення перевищував час реальних змін на відображуваній території. Новітні технології, що базуються на використанні космічних знімків, дозволяють суттєво скоротити час внесення змін у карти.

В даний час у багатьох країнах проводять дослідження з метою розробки автоматизованого методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків. Однак, не дивлячись на популярність цієї тематики серед дослідників, наявні розробки недостатньо якісно і швидко виконують таке оновлення.

Таким чином, актуальним є завдання системного дослідження процесу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків, його удосконалення з метою покращення результатів виділення деякого шару, що представляє інтерес, зокрема, елементів дорожньої мережі.

Основні аспекти процесу оновлення карт, загальні питання розвитку картографування розглядаються в наукових працях ряду вчених. Це вітчизняні дослідники Золовський А., Козаченко Т., Левицький І., Пархоменко Г., Руденко Л., Сосса Р., а також Берлянт А., Гармиз І., Постников А., Салищев К., Тикунов В. та ін. Технологічні методи створення та оновлення топографічних карт для вирішення задач військового призначення розглянуті в публікаціях Гребенюк Т.

Питання розвитку топографічного картографування досліджували Десятов Е., Донцов О., Дегтяр А., Сосса Р., Шевчук П та ін.

Відповідність топографічних карт і планів сучасному стану місцевості аналізуються в публікаціях С.Войтенка, Карпінського Ю., Лященка А., О.Барладіна, Катренка І., Лепетюка Б., Трюхана М., Шевчука П. та ін. В їхніх дослідженнях

підкреслена особлива роль топографо-картографічного забезпечення як компоненти успішного створення ГІС. Завдяки цим дослідженням значно скоротились процеси формування національної інфраструктури просторових змінних.

Питання автоматичного оновлення цифрових топографічних карт розглянуті в роботах Knudsen T., Olsen B.P., Le Bris A., Chehata N., Qiaoping Zhang, Couloigner I.A.

Використання космічних знімків для оновлення топографічних карт вивчається дослідниками із Болгарії (Александров А., Христов Т., Іванова К., Корева М., Маджарова Т., Петрова В.). Створення й оновлення базових картографічних матеріалів з використанням аерокосмічних зображень є науковою тематикою багатьох вітчизняних дослідників, зокрема Грицьківа Н., Почкіна С., та російських – Грузинова В., Каднічанського С. та ін.

Вивченню питань автоматичного виділення мережі доріг на картах присвячені публікації Callier S., Saito H., Chiang Yao-Yi, Knoblock C.A. та ін.

Питанню автоматичного та напівавтоматичного одержання даних про елементи місцевості, зокрема дорожньої мережі на супутникових знімках присвячені роботи зарубіжних дослідників Anil P.N., Beyen J., Ziems M., Mueller S., Roovers S., Heipke C., Dal Poz A.P., Gallis R.A., da Silva J.F. C., Dan Klang, Gao J., Wu L., Grote A., Subash J., Xiangyun Hu, Vincent Tao.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з виконанням досліджень кафедри фотограмметрії та геоінформатики Національного університету «Львівська політехніка» на тему «Розробка та дослідження методів фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій з метою кількісної та якісної оцінки явищ, об'єктів і процесів».

Мета і задачі досліджень. *Мета роботи* полягає у створенні методики, що суттєво покращує результати оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків та скорочує терміни її реалізації.

Для досягнення цієї мети в роботі **поставлені наступні основні задачі:**

- Дослідити сучасний стан картографічного вивчення території республіки Ірак, визначити обмеження та недоліки, а також причини, що їх зумовлюють.
- Проаналізувати і рекомендувати космічні знімальні системи для оновлення топографічних карт із зображенням дорожніх мереж Іраку.
- Розробити новий метод оновлення топографічної карти за даними супутникових знімків для покращення якості оновлення.
- Розробити програмний комплекс для реалізації запропонованого методу.
- Одержати експериментальні оцінки оновлення карти за допомогою створеного програмного комплексу.
- Дослідити альтернативний метод автоматичного виділення доріг по растрових зображеннях.

Об'єктом дослідження в роботі є топографічні карти та космічні знімки на територію Іраку.

Предметом дослідження є методи і технології виділення елементів дорожньої мережі на топографічних картах і супутникових знімках.

Методи дослідження. У роботі застосовувались методи цифрової обробки зображень, кластерного аналізу, аналітичної геометрії, растрової комп'ютерної графіки, математичної статистики, фотограмметрії, дистанційного зондування, картографії, геоінформаційних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Вперше розроблена та реалізована технологія автоматичного оновленого відображення автомобільних доріг на топографічних картах Іраку.
2. Створено програмне забезпечення автоматичного виділення об'єктів на картах та аерокосмоснімках, яке базується на принципах цифрової обробки зображень.
3. Опрацьована методика неконтрольованої класифікації зображень для автоматичного виділення дорожньої мережі.
4. Надані рекомендації з використання технологій автоматичного оновлення карт Іраку.

Наукове значення роботи полягає в розвитку методів і технологій оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків.

Практичне значення одержаних результатів. Методику та результати досліджень можливо використовувати у державних та приватних організаціях, підприємствах і фірмах, які займаються оновленням топографічних карт як в Іраку, так і в Україні. Наведена технологія рекомендована до впровадження у державних картографічних установах Іраку.

Особистий вклад здобувача. Усі наукові результати, викладені в дисертації, одержані автором особисто. Серед наукових праць, опублікованих у співавторстві, в роботі використані лише ті ідеї та положення, які належать автору і є результатом його особистої праці. Особисто здобувачем виконана постановка задачі оновлення топографічної карти за даними супутникових знімків. Сформований програмний комплекс для оновлення карт та оцінка результатів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується коректним використанням математичного апарату, співпадінням результатів експериментальної перевірки з теоретичними оцінками.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень та основні положення роботи були представлені у доповідях та обговорювались на наукових семінарах кафедри фотограмметрії та геоінформатики, а також на міжнародних конференціях: «Геоінформатика, геодезія, маркшейдерія» (Донецьк, 2013р.); VII- ій міжнародній науково-технічній конференції «Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» (Львів, 2013р.), «Геофорум-2015» (Львів-Яворів, 2015р.) та всеукраїнській конференції «Молодь, наука та інновації» (Дніпропетровськ, 2015р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 5-ти наукових працях, з них 4 – статті у виданнях, що включені у список фахових видань України, 1 – публікація у закордонному наукометричному виданні.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який

містить 101 найменування. Повний обсяг дисертації становить 119 сторінок друкованого тексту та містить 47 рисунків і 12 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і завдання досліджень, розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, сформульовано особистий внесок здобувача, подано інформацію про апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

У першому розділі «Сучасний стан картографічної вивченості території Іраку» представлено аналіз стану картографічної вивченості території Іраку, історія картографування території Іраку, номенклатури і масштабний ряд, картографічні проекції і системи координат іракських топографічних карт. Також в цьому розділі наведена характеристика дорожньої мережі Іраку і стан картографічного відображення дорожньої мережі на картографічних матеріалах. Топографічні карти Іраку створюються в єдиній системі координат і висот за допомогою уніфікованих і узгоджених умовних позначень і класифікаторів. У якості єдиної державної системи координат прийнята система координат UTM (від англ. Universal Transverse Mercator), заснована на міжнародному еліпсоїді 1924 року. На підставі виконаного аналізу історичних аспектів картографування території Іраку встановлено, що оновлення топографічних карт здійснювалося ще в кінці 80-х років ХХ століття, а починаючи з 2000-х років кількість нових автомобільних доріг суттєво збільшилася, що свідчить про актуальність теми дисертації.

У другому розділі «Аналіз і вибір космічних знімальних систем для оновлення топографічних карт з відображенням дорожніх мереж Іраку» наведена загальна характеристика космічних знімальних систем, сформульовані вимоги до точності космічних систем для оновлення карт з дорожньою мережею Іраку. В цьому розділі виконаний аналіз геометричних властивостей космічних знімків центральної і нецентральної проекцій, а також проаналізовано основні програмні продукти, які застосовуються для оновлення топографічних карт Іраку. Наведено класифікацію космічних знімків з точки зору їх просторового розрізнення, рекомендовані масштаби для складання та оновлення топографічних, оглядово-топографічних і оглядових карт за космічними знімками. Виконано оцінку особливостей оновлення топографічних карт за космічними знімками, проаналізовані сучасні спеціалізовані програмні засоби, що дозволяють здійснити перехід від супутникового знімка до тематичної карти: ER Mapper (Австралія), ERDAS Imagine (США), EASY / PAGE (PCI) (Канада), ILVIS (Нідерланди), TNTmips (США), ENVI (США), а також настільні системи з меншим набором функцій - IDRISI (США), EPPL7 (США), SAGA (США), MultiSpec (США).

У третьому розділі «Концептуальна модель автоматизованого оновлення карт за даними космічного знімання» розглянуто теоретичні основи автоматизованого пошуку відображення дорожньої мережі на космічних знімках і запропонована загальна схема оновлення топографічних карт, згідно з якою виділено етапи визначення дорожньої мережі на картах і знімках. Представлена концептуальна схема автоматизованої технології оновлення дорожньої мережі на топографічних картах, яка базується на сегментації растрових даних з подальшою їх

векторизацією. На підставі аналізу літературних джерел встановлено, що за космічними знімками, як правило, оновлюють контури лінійних і полігональних об'єктів карти, до яких відноситься і дорожня мережа.

Методи, що застосовуються для класифікації точок вхідного зображення, класифікуються таким чином: методи кластеризації, нарощування регіонів, методи дроблення-злиття, моделювання зображення Марковським полем, методи, засновані на операторах виділення країв, методи теорії графів. Детально описана кластеризація за методом k-середніх, обраному у дисертації в якості базового.

Також в третьому розділі аналізуються методи, що застосовуються для векторизації бінаризованих зображень. Сформульована задача оновлення растрової топографічної карти за даними супутникового знімка і подано етапи її вирішення.

Нехай є растрова карта $M[X_M \times Y_M]$, де X_M, Y_M - відповідно ширина і висота карти, і растровий знімок $S[X_S \times Y_S]$, де X_S, Y_S - відповідно ширина і висота знімка. Далі, нехай відомі процедури $f(M)$ і $g(S)$, що дозволяють виділити відповідно для карти і знімка безліч їх елементів R_M і R_S : $R_M = f(M)$, $R_S = g(S)$.

Тоді завдання оновлення карти M за знімком S можна вирішити шляхом знаходження двох наборів елементів дорожньої мережі. Набір R_{add} - це елементи, які є на знімку, але яких немає на карті (тобто, більш нові об'єкти, які з'явилися на місцевості після створення карти); ці елементи повинні бути нанесені на карту. Набір R_{diff} - це елементи, які є на карті, але відсутні на знімку (тобто, об'єкти, які зникли після створення карти); ці елементи повинні бути видалені з карти.

Таким чином, процес автоматичного оновлення карти за супутниковим знімком може бути описаний у вигляді схеми, представленої на рис.1. Вхідними даними для виділення дорожньої мережі є растрове зображення, результатом - параметри аналітичного опису дорожньої мережі, а сам процес може бути описаний як послідовність таких етапів :

1. Класифікація точок вхідного зображення для розподілу їх між двома множинами: «дорога» і «інше».
2. Додаткова обробка для поліпшення результатів розбиття (усунення дрібних несуттєвих деталей, підкреслення істотних).
3. Виділення прямолінійних ділянок доріг, визначення їх параметрів.
4. Об'єднання прямолінійних ділянок в дорожню мережу.

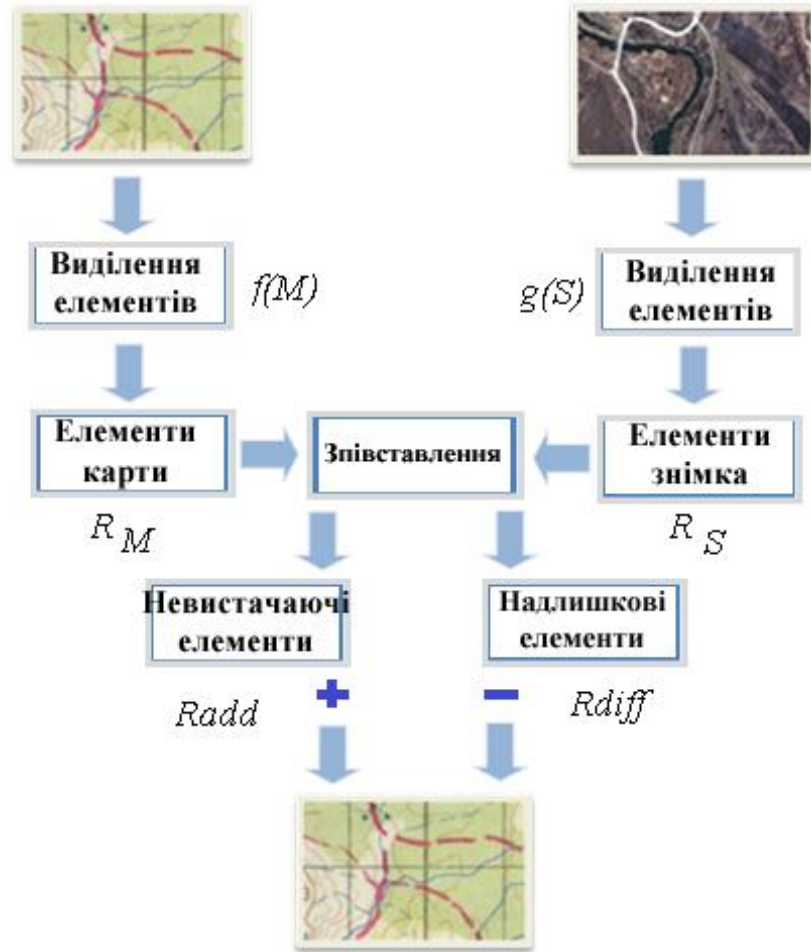


Рис. 1. Узагальнена схема оновлення топографічної карти

На рис. 2 показана схема виділення дорожньої мережі на растровій топографічній карті.

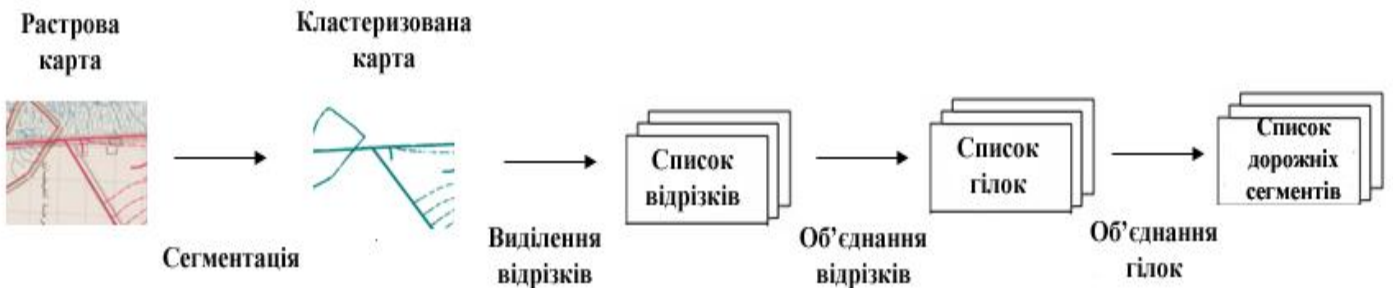


Рис. 2. Етапи виділення дорожньої мережі на карті

Процес виділення елементів дорожньої мережі на космічному знімку показаний на рис. 3.

Як видно з рис. 2 і 3, при виділенні елементів дорожньої мережі етапи, що виконуються для бінаризованих зображень, однакові. Різниця полягає у виконанні власне бінаризації і підготовки до неї. Обумовлена ця різниця різним характером зображень супутникових знімків і топографічних карт.

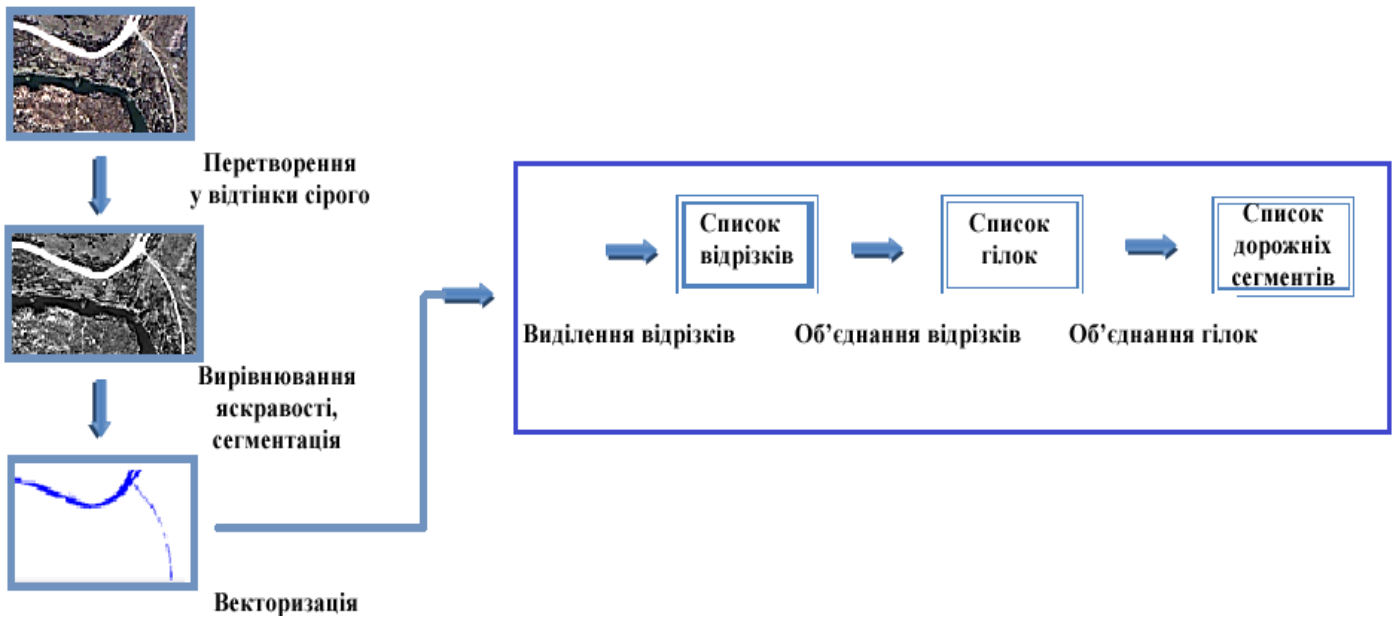


Рис. 3. Етапи виділення дорожньої мережі на космічному знімку

Вхідними даними для виділення дорожньої мережі на карті або знімку є растрове зображення, результатом - геометричні параметри дорожньої мережі. У процесі виділення елементів дорожньої мережі вхідне растрове зображення має бути перетворено в бінарне. Карти, представлені в растровому вигляді, як правило, зберігають колір кожної точки карти у вигляді трійки цілочисельних значень R, G, B, відповідних інтенсивностей червоного, зеленого і синього складових кольору. Зображення, підготовлене до обчислення геометричних параметрів дорожньої мережі, повинно містити точки двох різних кольорів, відповідним елементам і фону, що нас цікавлять. Після цього до зображення можна застосувати алгоритми виділення геометричних структур на бінарному зображенні.

Завдання кластеризації зображення растрової топографічної карти формулюється в такий спосіб. Нехай є растрове зображення Im , що представляє собою прямокутну матрицю, що складається з $Xmax$ стовпців і $Ymax$ рядків. Кожен елемент цієї матриці $Im [i, j]$, $0 \leq j < Xmax$, $0 \leq i < Ymax$, зберігає значення кольору відповідної точки карти в вигляді трійки цілочисельних значень R, G, B, відповідних інтенсивностей червоного, зеленого і синього складових кольору. Позначимо загальну кількість різних трійок (R, G, B) в оригінальному документі Im , як $K1$. Далі, нехай кількість різних кольорів, що застосовуються для топографічної карти, так само $K2$, $K2 \ll K1$. Метою кластеризації є поділ кольорів вихідного зображення на $K2$ груп або «кластерів» таким чином, щоб кольори, включені в один кластер, були більш схожі один на одного в порівнянні з кольорами, що належать різним кластерам. Після такого поділу формується нове, кластеризоване зображення, кольором точок якого є середини (центроїди) виділених кластерів. Далі, на підставі кластеризованого зображення виконується його бінаризація і подальше вилучення елементів дорожньої мережі. Результатом вилучення дорожньої мережі є сукупність лінійних фрагментів, для кожного з яких відомі положення (координати початку і кінця) і товщина лінії на карті.

Для виділення прямолінійних ділянок, що утворюють дорожню мережу в роботі застосовано скануючий алгоритм, який використовує схему зберігання смуги

зображення в пам'яті ЕОМ і знаходження контурних точок у процесі руху смуги по всьому зображенню. Результатом процедури виділення відрізків є список відрізків і список утворених відрізками гілок. Обидва списки являють собою масиви, елементи яких описують виділені відрізки і гілки, утворені ними. Для кожного відрізка в ході реалізації процедури обчислюються координати X і Y початкової і кінцевої точок, товщина відрізка, кількість утворюючих точок, номер гілки, до якої відрізок належить. Кількість відрізків, що виділяються на даному етапі, досить велика, отриманий список може включати ізольовані короткі відрізки, які не є фрагментами дорожньої мережі, а також фрагменти одної прямої, тому сформований список відрізків піддається подальшій обробці.

При виділенні елементів дорожньої мережі на топографічній карті ключовим елементом ідентифікації є колір, проте, для космічного знімка колір в такій якості використовувати не можна. У даній роботі ідентифікуючим параметром є яскравість точок. Розглядається виділення міських і замських доріг.

Цільовим шаром виділення є елементи дорожньої мережі, що володіють такими властивостями: значна протяжність на прямолінійній ділянці; однакова ширина ділянки; рівномірний розподіл яскравості в межах об'єкта; чіткі контури дорожнього полотна. Для локалізації об'єктів дорожньої мережі з урахуванням описаних властивостей в якості базового використаний метод, який передбачає використання фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою (КИХ-фільтр). Модифікації внесені на етапі знаходження значення яскравості точок, що належать до вікна фільтра. В алгоритмі, обраному в якості базового, координати точок фільтра в вузлах дискретної сітки вихідного космічного зображення розраховуються шляхом об'єднання рівняння прямої, яку утворює вікно фільтра в обраній системі координат, і рівняння кола, описаного вікном фільтра при обертанні довкола досліджуваної точки T .

Векторизація отриманого уявлення для опису геометричних параметрів елементів дорожньої мережі здійснюється шляхом хвильової сегментації. Першим кроком є виділення точок в R -околиці поточної точки. Другим кроком даного етапу є визначення координат точок лінійного фільтра. У базовому алгоритмі використовується рівняння прямої у вигляді $y = kx + b$. Третім кроком є перевірка приналежності точок у вікні фільтра об'єкту, що володіє властивостями елемента дорожньої мережі, перерахованими вище. Для цього обчислюється середньоквадратичне відхилення яскравості точок у вікні фільтра. Четвертий крок - аналіз середньоквадратичного відхилення і прийняття рішення про належність точки елементу дорожньої мережі.

У четвертому розділі «Розробка і дослідження автоматизованої технології оновлення на картах Іраку зображення дорожніх мереж» представлена блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків, а також розроблений на мові програмування Delphi програмний комплекс для оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків, який включає реалізацію наступних функцій: бінаризація карти (за методом К-середніх); обробку бінаризованої карти (операції математичної морфології, очищення фрагмента); виділення прямолінійних ділянок дорожньої мережі на карті; бінаризація знімка

(КИХ-фільтрація + хвильова сегментація); обробку бінаризованого знімка; виділення прямолінійних фрагментів дорожньої мережі на знімку. Блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків представлена на рис.4.

Спочатку була виконана оцінка геометричних властивостей топографічних карт. З цією метою виконувався розрахунок коефіцієнтів ортогонального перетворення і поліноміальних перетворень першого, другого і третього порядку.

Для оцінки були обрані кілька растрових топографічних карт міст Іраку: Сулейманія, Умм-Рахель, Тарі, Шуайб-Фарадж, Румайла, Чамчамал, Басра, Сімаві, Насирія, Мадіна. Карти відскановані з роздільною здатністю 80-120 dpi, вони оновлювалися в 1985-1989 роках.

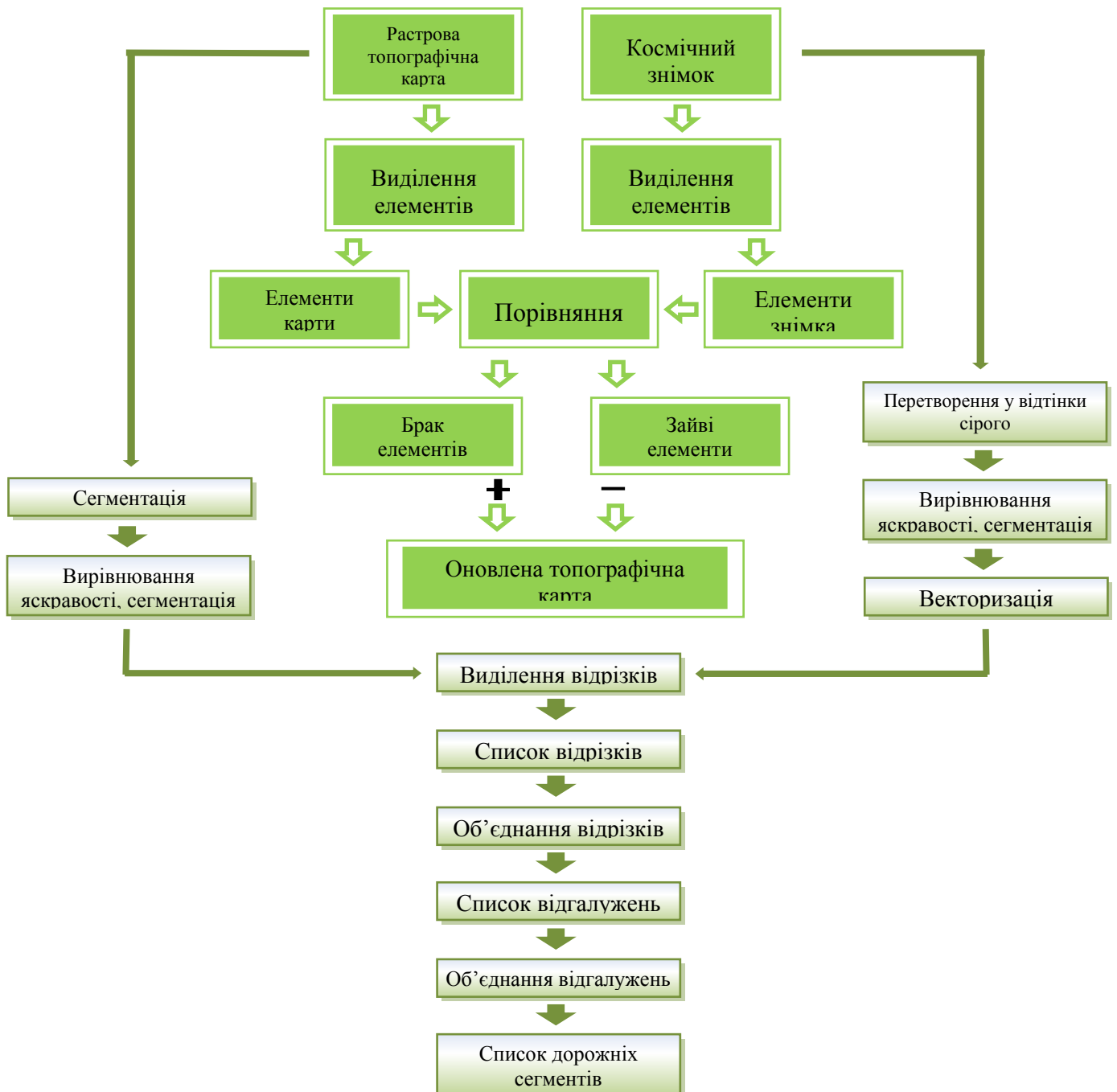


Рис. 4. Блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків

На растровому зображенні карти було вибрано 110 характерних точок - «хрестів» кілометрової координатної сітки. Обрані точки рівномірно розділено на 55 опорних і 55 контрольних точок. За координатами опорних точок обчислено коефіцієнти перетворень, а за координатами контрольних точок проаналізовано відхилення. Для кожного із зазначених перетворень обчислено середнє значення відхилення по осях X і Y . Результати обчислень відхилень наведені в таблиці 1.

Щоб оцінити різницю масштабів по осях при афінному перетворенні, визначалися максимальний і мінімальний масштаби (величини великої піввісі – A і малої піввісі – B еліпса масштабів). На основі проведеного розрахунку і побудови еліпса масштабів встановлено, що максимальне відношення масштабів складо: $A/B = 1,004106$, мінімальне - 0.993156 .

В ході аналізу результатів з'ясувалося, що різномасштабність невелика і знаходиться в межах графічної точності побудови карти, вона не перевищує 0.3мм в масштабі карти, про це свідчать незакономірні відхилення на контрольних хрестах координатної сітки при ортогональному перетворенні зображення. Відхилення на контрольних хрестах сітки координат при афінному перетворенні практично не відрізняється від ортогонального. Використання поліноміальних перетворень другого і третього ступеня дає менші відхилення на хрестах сітки (див. таблицю 1), в порівнянні з використанням ортогонального і афінного перетворення. Однак ці відмінності значно менші від графічної точності побудови оригіналу карти і можуть не враховуватися.

Таблиця 1.

Середні значення відхилень для різних перетворень

Перетворення	Середнє відхилення вздовж X , м		Середнє відхилення вздовж Y , м	
	Опорні точки, s_x^o	Контрольні точки, s_x^k	Опорні точки, s_y^o	Контрольні точки, s_y^k
	$\frac{\max}{\min}$ серед.	$\frac{\max}{\min}$ серед.	$\frac{\max}{\min}$ серед.	$\frac{\max}{\min}$ серед.
Ортогональне	$\frac{12.7}{8.5}$ 10.5	$\frac{13.0}{8.4}$ 10.6	$\frac{13.9}{6.1}$ 9.8	$\frac{13.1}{6.7}$ 10.1
Поліномом 1-го степеня (Афінне)	$\frac{12.7}{8.4}$ 10.4	$\frac{13.0}{8.4}$ 10.5	$\frac{13.7}{6.1}$ 9.8	$\frac{13.0}{6.6}$ 9.9
Поліномом 2-го степеня	$\frac{10.2}{5.1}$ 8.5	$\frac{11.5}{5.1}$ 9.1	$\frac{8.7}{4.8}$ 7.1	$\frac{9.4}{5.3}$ 7.2
Поліномом 3-го степеня	$\frac{9.2}{4.8}$ 7.6	$\frac{9.9}{4.8}$ 8.2	$\frac{8.0}{4.8}$ 6.4	$\frac{8.9}{4.8}$ 6.7

Незважаючи на графічну точність карт, встановлену в розрахунках, було виявлено суттєвий недолік, пов'язаний з низьким розрізненням сканування наявних карт. Сканування з розрізненням 80 і 120 dpi призводить до отримання растрових карт з розміром піксела $0,3\text{ мм}$ і $0,2\text{ мм}$ відповідно.

Наступним етапом стало виділення дорожньої мережі на растрових топографічних картах.

Експерименти проведено на растрових картах десяти іракських міст. Всі наявні карти масштабом 1: 100000 досить високої якості, відскановані з роздільною здатністю 80 - 120 dpi, зображують ділянки від 300 км² до 400 км². На картах присутні головні, другорядні, гірські, сільські дороги.

Кластеризація виконувалася шляхом виділення 8 кластерів і подальшого відкидання непотрібних за допомогою методу k-середніх. В результаті кластеризації отримано двокольорове зображення, аналогічне показаним на рис. 5, 6. Для зображення доріг використовується колір, що відрізняється від середнього кольору відповідного кластера, для поліпшення візуального сприйняття. Точки, які не належать кластеру «дорога», зображуються білим кольором.

Аналіз зображень, отриманих в результаті кластеризації, показав, що деякі елементи дорожньої мережі не виділяються, що пов'язано з дефектами при їх нанесенні на карту. Крім того, на карті для зображення об'єктів, які не належать дорожній мережі (будівлі, контурні лінії тощо) можна використовувати той же колір. В результаті такої сегментації ці об'єкти також будуть виділені. Дана ситуація є штатною і досить поширеною, для неї в програмну систему включені інструменти ручного корегування зображення.

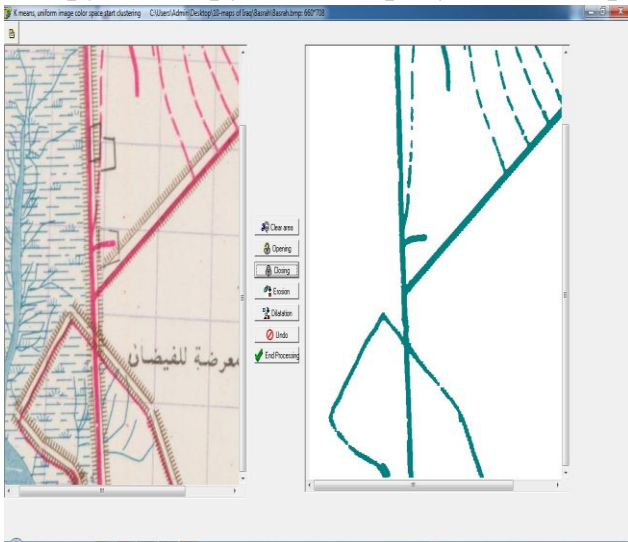


Рис. 5. Результат бінаризації фрагмента карти м. Басра, Ірак

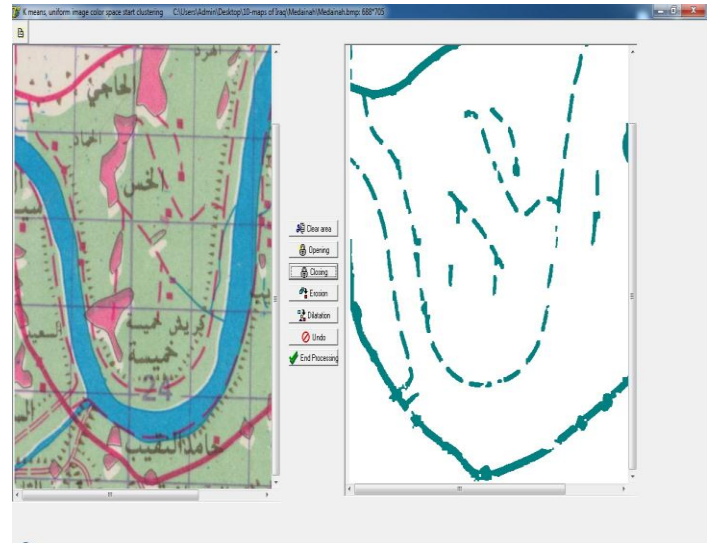


Рис. 6. Результат бінаризації фрагмента карти м. Медина, Ірак

Для виділення лінійних фрагментів дорожньої мережі в роботі використано модифікований скануючий алгоритм, який окремо розглядає ситуації, коли виявлено початок лінії, її продовження, розгалуження, злиття і кінець. Після цього виконується об'єднання гілок. Результат виконання даного кроку зображується у вигляді осевих ліній відрізків прямих, отриманих на попередньому етапі (рис. 7, 8).

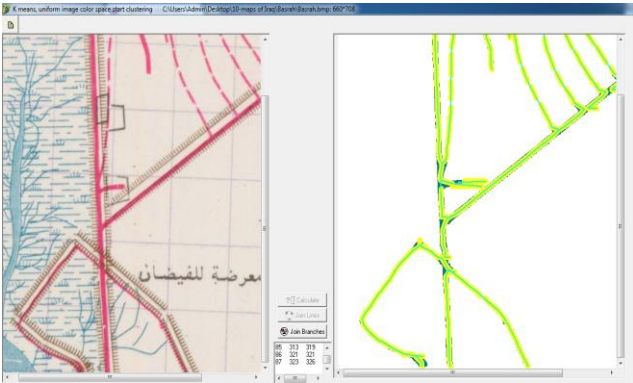


Рис. 7. Результат виділення дорожньої мережі для фрагмента карти м. Басра, Ірак

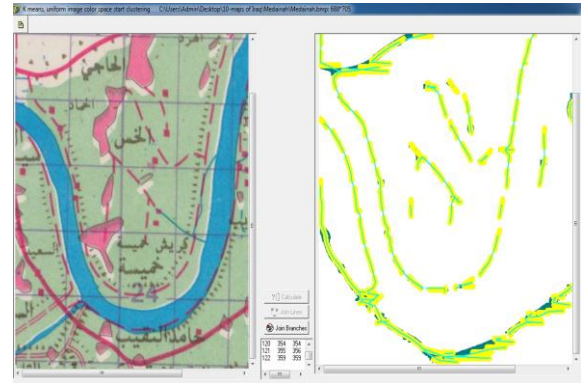


Рис. 8. Результат виділення дорожньої мережі для фрагмента карти м. Медина, Ірак

Для оцінки результатів виконано порівняння отриманої дорожньої мережі з результатами вилучення вручну. Також розраховано щільність виділеної дорожньої мережі шляхом ділення сумарної довжини виділених доріг на площу ділянки дослідження. У табл. 2 наведені дані такої оцінки. Середнє значення точності становить 0,86, мінімальне - 0,70, максимальне - 0,95. Оцінка цих величин для карт різних місцевостей показала, що для карт, на яких зображена міська територія (карти міст Насирія і Мадіна), середнє значення точності становить 72.5%. Для інших карт, на яких зображені заміські ділянки, середнє значення точності виділення становить 89.4%. Загальний аналіз результатів говорить про те, що для карт місцевості з високою щільністю дорожньої мережі результати виділення в основному гірші, ніж для карт місцевості з низькою щільністю. Причому, збільшення роздільної здатності сканування з 80 до 120 dpi суттєво не впливає на результати розпізнавання.

Таблиця 2.

Результати експериментальної оцінки

№	Місто	Розмір ділянки дослідження (км ²)	Види доріг	Густина дорожніх мереж	Точність	Залишок
1	Сулейманія	300	Другорядні, гірські, сільські	0.53	0,95	0,05
2	Умм-Рахел	350	Другорядні, сільські	0.66	0,90	0,10
3	Тарі	400	Головні, другорядні	0.73	0,95	0,05
4	Шуайб-Фарадж	400	Сільські	0.70	0,95	0,05
5	Румайла	300	Головні	0.68	0,90	0,10
6	Чамчамал	300	Головні, другорядні, сільські	0.90	0,80	0,20
7	Басра	400	Головні, другорядні, сільські	0.72	0,90	0,10
8	Сімава	400	Головні, другорядні, сільські	1.10	0,80	0,20
9	Насирія	350	Головні, другорядні, сільські	1.40	0,75	0,25
10	Медіна	400	Головні, другорядні, сільські	1.30	0,70	0,30

При вирішенні задачі виділення дорожньої мережі на супутникових знімках для експериментів використано фрагмент космічного знімка околиць м. Сулейманія. Космічний знімок отриманий знімальною системою супутника GeoEye-1 в 2013 р. і має просторову роздільну здатність 2,8 м, радіометрична роздільна здатність 11 біт, зменшене до 8 біт. Розмір фрагмента космічного знімка 2500 * 1500 пікселів. На території, представленої на даному знімку, розташовані річка, елементи малоповерхової забудови, дорожня мережа, що складається з міських і заміських доріг. На рис. 9, а) наведено фрагмент, для якого виконано аналіз ефективності описаного підходу, на рис. 9, б) - результат сегментації даного зображення з використанням методу, розробленого автором.



Рис. 9. Результати сегментації фрагмента супутникового знімка

Зображення містить два шари, які можуть бути описані як лінійні протяжні об'єкти: фрагменти дорожньої мережі (світлий об'єкт) і річка (темний об'єкт). Річка, відображена на знімку, теж виділяється як дорога. Дана ситуація цілком природна, так як з точки зору геометрії та яскравості зображення річки і дороги на знімку практично не відрізняються. Річка, як і дорога - лінійний протяжний об'єкт, у якого довжина значно більша ширини, а яскравість точок - рівномірна. Щоб розрізнити їх, потрібні або додаткові відомості про місцевість, або коригування результатів виділення вручну.

Для аналізу ефективності алгоритму була виконана обробка різних фрагментів супутникового знімка м. Сулейманія і околиць (рис.10). Аналіз результатів свідчить про те, що прийнятні результати отримано для тих районів, де дороги мають приблизно рівну ширину і придорожня територія однорідна. Виділення надлишкових елементів і проблеми з виділенням доріг невеликої ширини говорять про необхідність коригування результатів оператором. Процес сегментації ускладнюється за рахунок наступних властивостей місцевості: дорога проходить близько до будівель прямокутної форми; дерева і тіні частково дорогу; занадто вузька дорога. Результати експериментів підтверджують, що потрібна додаткова обробка сегментованого зображення оператором, оскільки деякі елементи виділяються неправильно. Крім того, в ряді випадків, дорожня мережа виділяється не в повному обсязі.

Для визначення геометричних параметрів елементів дорожньої мережі використано скануючий алгоритм, який раніше дозволив отримати прийнятні результати для топографічних карт. На рис. 11, а) наведено зображення, отримане в результаті сегментації частини знімка (див. Рис. 10, перший фрагмент) і ручної обробки оператором, на рис. 11, б) - результат обробки з використанням скануючого

алгоритму (осьові лінії виділених елементів дорожньої мережі). Оцінка результатів сегментації подана в табл. 3.

Фрагмент знімка



Результат сегментації

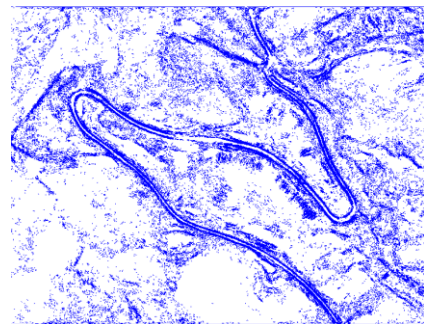
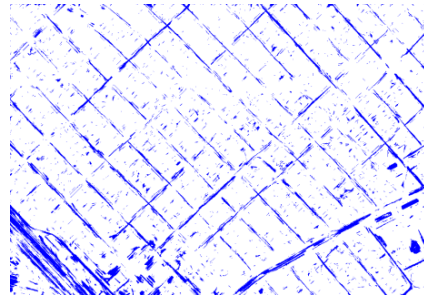
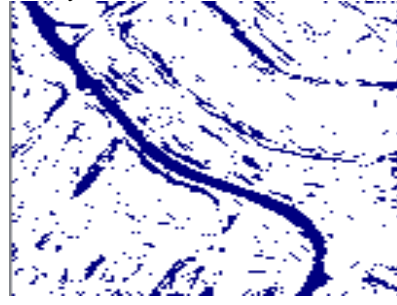


Рис. 10. Результати сегментації фрагмента супутникового знімка

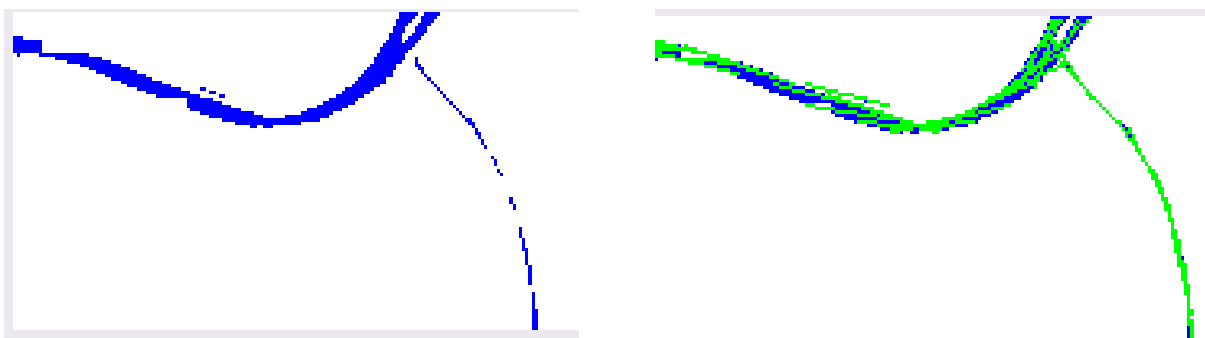


Рис. 11. Результати роботи скануючого алгоритму

Також в розділі 4 запропонована і оцінена методика автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в пакеті Erdas Imagine. Технологічна схема такого автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку показана на рис. 12.

Результати сегментації супутникових знімків

	Види доріг	Загальна довжина доріг (км)	Довжина доріг, виділених в результаті сегментації (км)	Ефективність виділення, %
а	Міські	5.1	3.4	67
б	Позаміські	1.1	0.85	77
в	Гірські	1.3	1.1	85
г	Сільські	1.0	0.75	75



Рис. 12. Технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine

В якості вхідних даних для реалізації поставленого завдання використані космічні знімки території м. Сулейманія, перший з супутника QuickBird в 2003 році,

другий з супутника GeoEye-1 в 2013 році, а також топографічна карта в масштабі 1 : 1000000 .

За наведеною технологічною схемою виконана геометрична корекція космічних знімків за 9-ма опорними точками. Обрана проекція - WGS84. Максимальна похибка корекції кожного знімка склала 1 піксель, що відповідає 1,65 метрів на місцевості.

Класифікація знімків виконувалася неодноразово, до досягнення прийнятного результату. Результати класифікації представлені на рис. 13, а результат векторизації на рис.14. За цією ж методикою отримано зображення дорожньої мережі центральної частини м. Сулейманія, яка істотно змінилась і збільшилась за 10 років. Результат представлений на рис. 15.

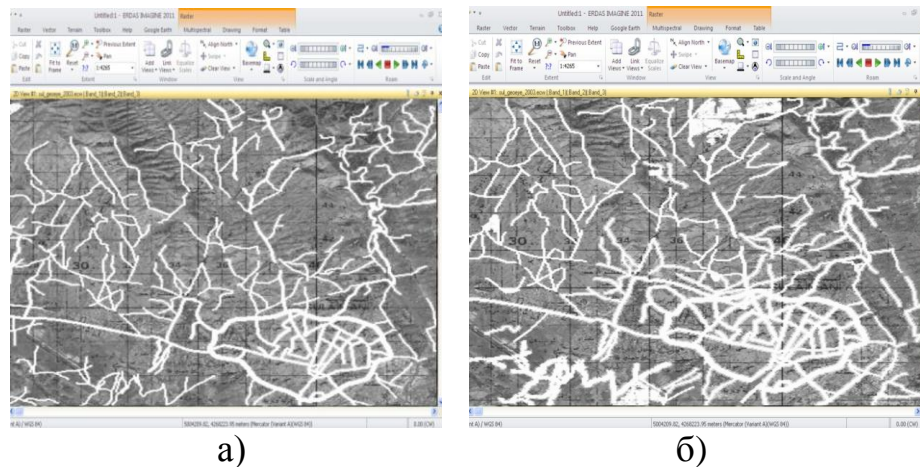


Рис.13. Результат класифікації космічних знімків в ПП Erdas Imagine: а) 2003 рік; б) 2013 рік

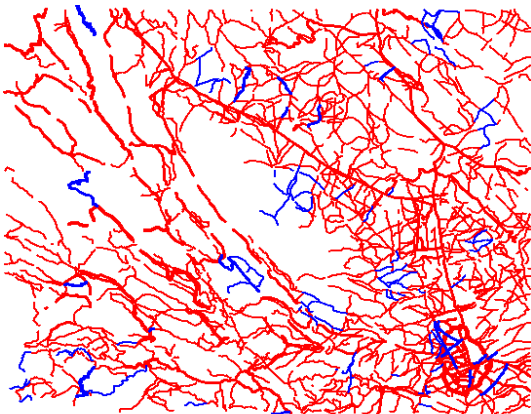


Рис.14. Результат векторизації даних класифікації: червоним показані дороги виділені на знімку 2003 року; синім - нові дороги зі знімка 2013 року

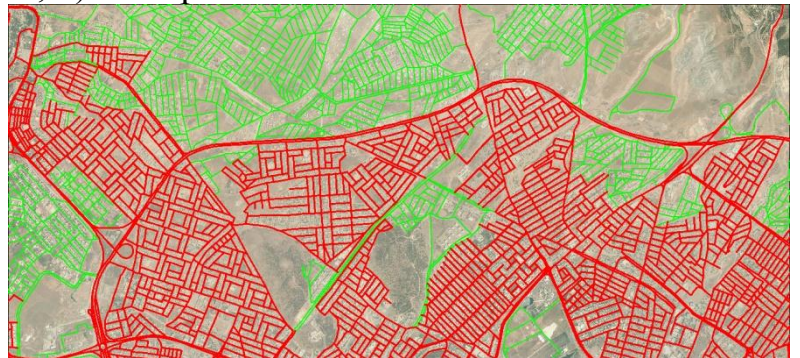


Рис.15. Результат векторизації даних класифікації дорожньої мережі м. Сулейманія: червоним показані дороги виділені на знімку 2003 року; зеленим – нові дороги зі знімка 2013 року

За отриманими даними підраховані відсоткові показники нових доріг, які були прокладені за 10 років. Загальна довжина доріг збільшилася на 1148 км, що склало 45%. Це свідчить про стрімкий розвиток дорожньої інфраструктури обласних центрів країни. В ході проведення експерименту було зауважено суттєву

невідповідність дорожньої мережі гірських районів отриманої зі знімків з аналогічними шляхами на топографічній карті. Топографічна карта була створена з грубими порушеннями законів картографії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розглянуто теоретичні та практичні підходи щодо автоматизованого оновлення топографічних карт з використанням космічних знімків, а саме:

1. Проаналізовано історичні дані по картографуванню Іраку. Встановлено, що останнє оновлення топографічних карт відбулося в кінці 80-х років ХХ століття, а починаючи з 2000-го року кількість нових доріг в країні значно зросла, що підтвердило актуальність даної тематики.
2. На підставі аналізу характеристик космічних знімальних систем і області використання знімків різного розрізнення рекомендовано для оновлення топографічних карт використовувати космічні знімки отримані із супутників GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 – для карт масштабу 1:5000; Eros A, Eros B – для карт масштабу 1:10000; Spot-5 – для карт масштабу 1:25000; IRS 1C/1D – для карт масштабу 1:50000; Spot-4 – для карт масштабу 1: 100000;
3. Опрацьовано теоретичні засади і алгоритм автоматизованого пошуку дорожньої мережі на космічних знімках. Запропонована методика оновлення топографічних карт, згідно з якою виділено етапи визначення дорожньої мережі на картах і на знімках. Також представлена концептуальна схема автоматизованої технології оновлення дорожньої мережі на топографічних картах, яка базується на сегментації растрових даних з подальшою їх векторизацією.
4. Розроблено на мові Delphi та апробовано програмний комплекс, з використанням якого оброблено 10 аркушів топографічних карт території Іраку в масштабі 1: 100000. Точність виявлення доріг склала 70%-95% . За космічним знімком, отриманим з супутника GeoEye-1 (2013р.) виявлені нові дороги , які раніше не були показані на картах для м. Сулейманія. Отримані наступні результати ефективності виділення доріг за градаціями: міські – 67%; заміські – 77%; гірські – 85%; сільські – 75%;
5. Розраховані середні квадратичні похибки (СКП) геометричних спотворень використаних топографічних карт. Кращий результат отримано з використанням поліному третього степеня: $m_x = 7,2\text{м}$ і $m_y = 8,9\text{м}$, що є допустимим значенням для карт масштабу 1: 100000.
6. Запропонована альтернативна технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними з використанням програмного пакету Erdas Imagine та алгоритму неконтрольованої класифікації ISODATA . За цією методикою визначено, що загальна довжина доріг на космічних знімках 2003 і 2013 року становить 1 396 і 2 544 км відповідно. Розрахований відсоток оновлення складає 45%;
7. В результаті досліджень визначено, що 28% гірських доріг на карті Сулейманії не відповідають дійсності і нанесені помилково, порушуючи всі картографічні правила.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Абдаллах Р.А. Исследование геометрических свойств топографических растровых карт Ирака / ДонНТУ, Наукові праці, серія: гірничо – геологічна.- Випуск 1(18).- 2013.- С. 126 - 130.
2. Abdallah R.A. Assessment accuracy of the topographic raster maps – Iraq/ Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - Випуск I (29). - 2015. - С. 152-155.
3. Abdallah R. Geometric characteristics of Iraq's raster topographic maps used for automatic updating the road network. Geomatics, Landmanagement and Landscape. Poland, University of Agriculture Krakow. 2015, № 3. pp 7-18.
4. Абдаллах Р. Четверіков Б. Дослідження динаміки розвитку дорожньої мережі Іраку на прикладі міста Сулейманія / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - Випуск I(31). - 2016. - С.161-163.
5. Дорожинський О. Абдаллах Р. Методика автоматического выделения дорог на спутниковых снимках / Інженерна геодезія. - Вип.62. - 2015. - С.98-108.

АНОТАЦІЯ

Ранг А.А. Автоматизоване оновлення на топографічних картах дорожніх мереж Іраку з використанням космічних знімків. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

В роботі розглянуті теоретичні та практичні підходи щодо автоматизованого оновлення топографічних карт з використанням космічних знімків.

На основі проведеного аналізу історичних аспектів картографування території Іраку встановлено, що оновлення топографічних карт було ще в кінці 80-х років ХХ-го століття, а починаючи з 2000-х років кількість нових автомобільних доріг в країні почала суттєво збільшуватись, що підтвердило актуальність даної тематики.

На основі аналізу характеристик космічних знімальних систем та використання знімків різної розрізненості встановлено, що для оновлення топографічних карт доцільно використовувати космічні знімки, отримані із супутників GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 - для карт масштабу 1:5000; Eros A, Eros B - для карт масштабу 1:10000; Spot-5 - для карт масштабу 1:25000; IRS 1C/1D - для карт масштабу 1:50000; Spot-4 - для карт масштабу 1:100000.

Розглянуто теоретичні основи автоматизованого пошуку дорожньої мережі на космічних знімках та запропоновано загальну схему оновлення топографічних карт, згідно з якою виокремлено основні етапи визначення дорожньої мережі на картах та знімках, а також подано концептуальну схему автоматизованої технології оновлення дорожніх мереж на топографічних картах, яка заснована на сегментації растрових даних з подальшою їх векторизацією.

Розроблено програмний комплекс, в якому оброблено 10 листів (аркушів) топографічних карт території Іраку в масштабі 1:50000. Виявлення доріг складає від 70% до 95%. Також визначені дороги на космічному знімку, отриманому із

супутника GeoEye-1 в 2013 році на територію м. Сулейманія. Отримані такі результати ефективності виокремлення (виділення) доріг по градації: міські - 67% ; заміські - 77% ; гірські - 85%; сільські - 75%.

Обчислені середні квадратичні похибки геометричних спотворень використаних топографічних карт. Найкращий результат отримано за поліноміальною моделлю третьої степені $m_x=7,2\text{м}$ та $m_y=8,9\text{м}$, що входить в допустиме значення для карт масштабу 1:50000 при скануванні карт з розрізненням 120dpi.

Запропоновано та розглянуто альтернативну технологічну схему автоматизованого виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними, згідно з якою описано методику автоматичного виокремлення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine, яка заснована на алгоритмі неконтрольованої класифікації ISODATA. За даною методикою визначено загальну довжину доріг на космічних знімках 2003 та 2013 років, яка становить відповідно 1396 та 2544 км. Обчислений відсоток оновлення дорожньої мережі складає 45%.

В результаті досліджень встановлено, що 28% гірських доріг на карті Сулейманії не відповідають дійсності та нанесені помилково, порушуючи всі картографічні правила.

Ключові слова: оновлення карт, сегментація дорожньої мережі, топографічні растрові карти, космічні знімки, геометричні властивості карт, спотворення зображень, точність карт, скануючі алгоритми.

АННОТАЦІЯ

Ранг А.А. Автоматизированное обновление на топографических картах дорожных сетей Ирака с использованием космических снимков. – На правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – геодезия, фотограмметрия и картография. - Национальный университет «Львівська політехніка», Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

В работе рассмотрены теоретические и практические подходы к автоматизированному обновлению топографических карт с использованием космических снимков.

Рассмотрены теоретические основы автоматизированного поиска дорожной сети на космических снимках и предложена общая схема обновления топографических карт. Представлена концептуальная схема автоматизированной технологии обновления дорожных сетей на топографических картах, основанная на сегментации растровых данных с последующей их векторизацией.

Разработан программный комплекс, в котором обработаны 10 листов топографических карт территории Ирака в масштабе 1: 50000. Точность определения дорог составляет 0,7-0,95 с погрешностью 0,30-0,005. Также определены дороги на космическом снимке, полученном со спутника GeoEye-1 в 2013 году на территорию города Сулейманія. Получены следующие результаты эффективности выделения дорог по категориям: городские - 67%; загородные - 77%; горные - 85%; сельские - 75%.

Вычислены среднеквадратичные показатели геометрических искажений используемых карт. Предложена и рассмотрена альтернативная технологическая схема выделения дорожной сети по растровым данным с помощью пакета Erdas Imagine, базирующаяся на алгоритме неконтролируемой классификации ISODATA. Вычисленный процент обновления дорожной сети составил 45%.

В результате исследований установлено, что 28% горных дорог на карте Сулеймании не соответствуют действительности и нанесены ошибочно, нарушая все картографические правила.

Ключевые слова: обновление карт, сегментация дорожной сети, топографические растровые карты, космические снимки, геометрические свойства карт, искажения изображений, точность карт, сканирующие алгоритмы.

ANNOTATION

Rang. A.A. Automated update of Iraq's topographic maps the road networks using satellite images. – On the rights of manuscript. Thesis for the degree of PhD, specialty 05.24.01 - geodesy, photogrammetry and cartography. - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The purpose of the work is to improve the results of updating topographic maps from satellite images. In thesis following tasks are solved: investigation of the Republic of Iraq cartographic study, definition of the limitations and drawbacks, and the reasons why they have caused; reviewing and recommendation of space imaging system for updating topographic maps in Iraq; developing a new method of topographic maps updating from satellite images to improve the quality of updating; developing a software tools for the implementation of the proposed method; experimental evaluation of map updating via developed software; exploring alternative method for automatic selection of roads on the bitmap. Digital image processing techniques, cluster analysis, analytic geometry, raster computer graphics, mathematical statistics, cartography and GIS technology are used.

The theoretical foundation and practical approaches to automated updating topographic maps using satellite images are considered in this work.

Based on the analysis of historical aspects of mapping Iraq established that the last topographic maps updating was performed at the end of the 1980s. Since the 2000s the number of new roads in the country is increasing, which confirmed the actuality of researches.

Analysis of characteristics of space camera systems and the scope of satellite images with different resolution shows that for updating topographic maps should be used satellite images from the satellites GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 - for maps 1: 5000; Eros A, Eros B – for maps 1: 10,000; Spot-5 – for maps 1: 25000; IRS 1C / 1D – for maps 1: 50000; Spot-4 - for maps 1: 100000.

The theoretical foundations of computer-aided search of the road network on satellite images are considered. General scheme for topographic maps updating is proposed. The main stages of extraction of road network on raster maps and satellite images are defined. The conceptual scheme of automated technology for road networks updating is presented. This technology is based on raster data segmentation with subsequent vectorization.

The task of raster topographic map updating via satellite images is formulated, stages of its decision are defined. Schemes of road network selection in the raster topographic map and satellite image are shown. The task of raster topographic map clustering is formulated. For raster topographic map segmentation k-means algorithm is used. To locate objects of the road network on the satellite image a modified method is used. This method uses filter with finite impulse response. To selection of linear fragments of road network, the scanning algorithm is applied. Limitations of this approach are defined. Recommendations on its use are proposed.

Software system for this technology is developed. 10 sheets of Iraq topographic maps at 1: 50,000 are processed in this system. The accuracy of road selection is 0,7-0,95 with an error 0,30-0,005. Also road selection on satellite image is performed. This satellite image received from GeoEye-1 satellite in 2013 on the territory of the city Sulaymaniyah. Results of roads selection efficiency (for different road categories) are: urban - 67%; suburban - 77%; mountain - 85%; rural - 75%.

Calculated mean square errors for geometric distortion of used topographic maps. The best result obtained by a third degree polynomial model: $m_x = 7,2m$, $m_y = 8,9m$. These values do not exceed the allowable values for maps of scale 1: 50,000, which is 10m in distinguishing scan 120dpi.

Alternative technological scheme for automated road network selection in Iraq raster data is proposed and considered. This technological scheme uses Erdas Imagine software. The technology is based on uncontrolled classification algorithm ISODATA. By this method a total length of roads on the satellite images in 2003 and 2013 is calculated. This length is respectively 1,396 and 2,544 km. The calculated percentage of updating road network is 45%.

As a result of studies found that 28% of mountain road on Sulaymaniyah map are untrue and applied wrongly, with cartographic rules violation.

The methodology and results of the research can be used in public and private development organizations, enterprises and firms that are engaged in updating topographic maps both in Iraq and in Ukraine. This technology is recommended for implementation in state cartographic institutions of Iraq.

Keywords: maps update, road networks segmentation, topographic raster maps, satellite images, geometric properties of maps, deformation of images, maps accuracy, scanning algorithms.