

В.В. Гнатушенко, Д.В. Сущевський

**ГЕОМЕТРИЧНА ВЕКТОРНА МОДЕЛЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗМІН
ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Анотація. У роботі запропоновано нову геометричну модель візуалізації змін об'єктів штучного походження за фотограмметричними зображеннями. Введено поняття функції взаємної локалізації для формалізації процесу ідентифікації, що дозволяє значно зменшити час автоматизованого виявлення змін об'єктів штучного походження за різночасовими проекційними зображеннями.

Ключові слова: об'єкт штучного походження, проекційне зображення, взаємна локалізація, геометрична модель.

Постановка проблеми

Зростаюча ефективність недорогих супутникових знімків з високим просторовим розрізненням дає можливість отримати знімки споруд в різні моменти часу, а їх відповідна обробка — відстежити усі зміни в забудові в умовах крупного міста з мільйонами будівель. Основна складність усіх алгоритмів попередньої обробки аерокосмічних знімків полягає в трудомісткому процесі порівняння попереднього і нового зображень. В даний час існуючі точні методи визначення змін передбачають участь дешифрувальників фотознімків, пов'язані з великими часовими витратами та характеризуються невисоким рівнем достовірності внаслідок неминучих при ручному дешифруванні помилок. У більшості методів порівнюються два зображення «до і після». Такі методи добре працюють для територіально обмежених або для одноразових дослідницьких проектів, але у виробничих масштабах потрібен автоматизований процес, який ідентифікує тільки зміни, істотні для поставлених цілей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

До теперішнього часу цифровий аналіз різночасових зображень з метою виявлення на них змін здійснювався за допомогою методів, що використовують кольорові та яскравісні характеристики зобра-

жень. Але ці характеристики, на відміну від геометричних, значно змінюються при варіації умов зйомки та можуть трактуватися як зміни земної поверхні [1]. Тому можливості застосування даних методів, особливо за їх автоматизації, обмежені. На практиці такі алгоритми використовуються для обробки вузького класу зображень, обмеженого параметрами зйомки. Аналіз сучасної літератури дозволяє зробити висновок про поступовий перехід від методів прямого порівняння радіометричних даних до порівняння результатів класифікації одержаних різночасових зображень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Існує два основних підходи до ідентифікації змін об'єктів зображення: контурний та просторовий. Основним недоліком існуючих методів є необхідність попиксельного порівняння зображень об'єктів, що призводить до значних витрат обчислювальних ресурсів та зниженню швидкості ідентифікації. Метою даної роботи є розробка нової векторної геометричної моделі різночасових об'єктів, яка надасть можливість подання геометричної інформації про об'єкт через невелику кількість параметрів.

Основна частина

Загальна схема виявлення змін штучних об'єктів земної поверхні за різночасовими фотограмметричними зображеннями зображено на рис. 1. Весь процес умовно можна поділити на 3 етапи:

- 1) попередня обробка та реєстрація вихідних різночасових зображень;
- 2) розпізнавання об'єктів штучного походження на кожному з зображень;
- 3) виявлення змін об'єктів штучного походження та побудова карти змін.

Перші два етапи описано в роботі [2]. Ключовим поняттям для подальшої візуалізації карти часових змін є поняття «опорного зображення» (англ. Reference Image). В даній роботі в якості опорного будемо використовувати перше за хронологією зображення. Відповідно до іншого зображення введено поняття «друге зображення» (англ. Second Image). Надалі, для ідентифікації об'єктів та параметрів різночасових зображень, застосовуються відповідні нижні індекси « R » та « S ». Розглянемо два основні підходи до ідентифікації змін об'єктів зображення: контурний та просторовий.

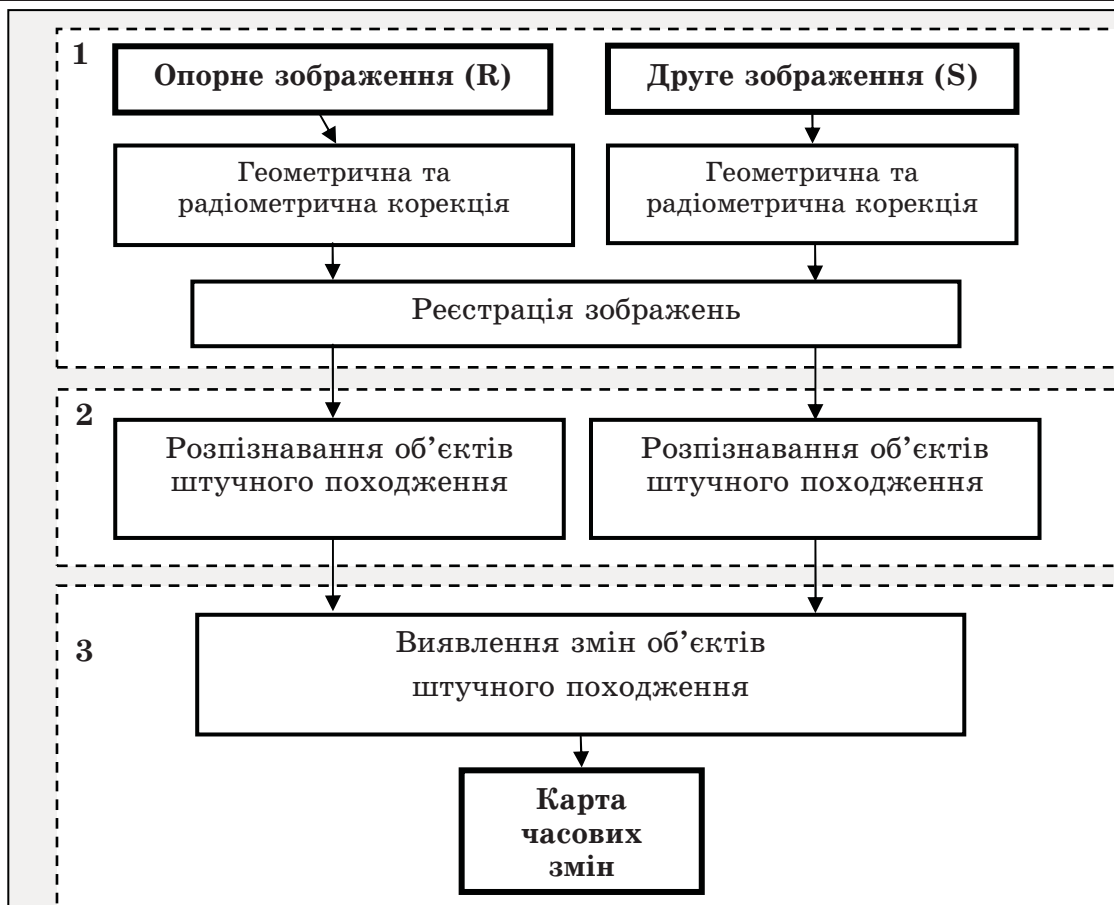


Рисунок 1 - Загальна схема візуалізації часових змін штучних об'єктів земної поверхні

За контурного підходу використовується вікно $n \times n$ пікселів, центр якого рухається лінією контуру кожного об'єкта опорного зображення (K_s) (рис. 2, а). Якщо після проходження всього контуру об'єкта в зоні «видимості» даного вікна знаходяться більше N_{\min} відсотків пікселів контуру об'єкта другого зображення (K_s), то вважається, що зміни даного об'єкта не відбулося. Відповідно, якщо частка відповідних пікселів менше за встановлене значення порогу T_{\min} , вважається, що об'єкт набув змін:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{K_R^W \cap K_S}{K_S} \cdot 100\% \geq T_{\min} \Rightarrow \text{об'єкт змінено;} \\ \frac{K_R^W \cap K_S}{K_S} \cdot 100\% < T_{\min} \Rightarrow \text{об'єкт не змінено,} \end{array} \right. \quad (1)$$

де K_R^W – розширений за допомогою вікна контур опорного зображення; K_R та K_S – відповідно контури опорного та другого зображень.

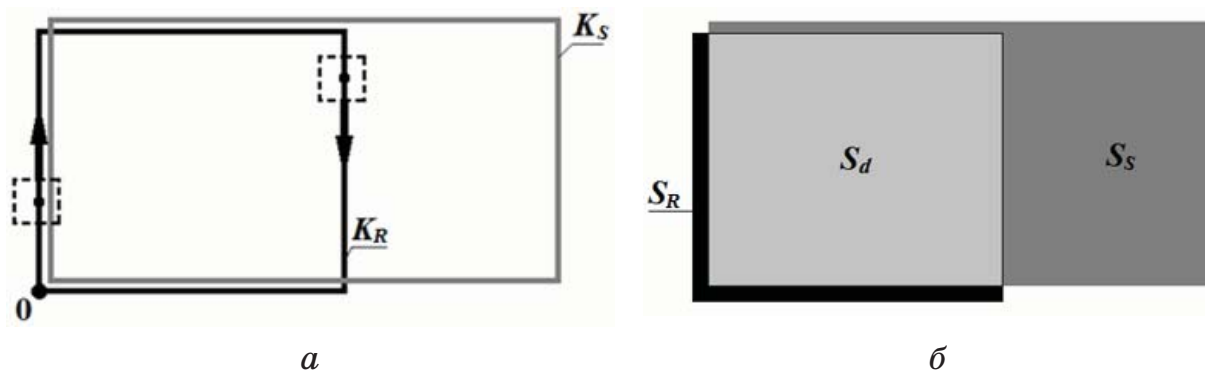


Рисунок 2 - Методи виявлення змін:

а) контурний підхід; б) просторовий підхід

За просторового підходу здійснюється порівняння всього зображення одночасно або по його частинах. Виявлення змін здійснюється методом диференціювання (рис. 2, б), тобто карта змін є результатом різниці об'єктів двох зображень – опорного (S_R) та зміненого (S_S). Рішення про зміну об'єкта приймається за результатом порівняння площі перетину двох об'єктів ($S_d = S_R \cap S_S$) – якщо перетину належить більше ніж T_{min} відсотків площі найбільшого з двох об'єктів, вважається, що об'єкт залишився незмінним. Якщо менше T_{min} відсотків перетину належить найбільшому з двох (або більше) об'єктів, робиться висновок про зміну відповідних об'єктів на зображенні. Формально даний метод описується наступним виразом:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{S_d}{\max(S_R, S_S)} \cdot 100\% \geq T_{min} \Rightarrow \text{об'єкт змінено;} \\ \frac{S_d}{\max(S_R, S_S)} \cdot 100\% < T_{min} \Rightarrow \text{об'єкт не змінено,} \end{array} \right. \quad (2)$$

Основним недоліком існуючих методів є необхідність піксельного порівняння зображень проєкцій об'єктів (растрова модель об'єкта), що призводить до значних витрат обчислювальних ресурсів та зниженню швидкості ідентифікації. Саме тому в даній роботі розроблено нову векторну геометричну модель різночасових об'єктів, яка має можливість подання геометричної інформації про об'єкт через невелику кількість параметрів та потребує значно меншого об'єму обчислень (рис. 3). В якості геометричної моделі об'єкта виступає коло з еквівалентним радіусом (радіус кола, площа якого дорівнює площі об'єкту). Розроблена модель заснована на припущенні, що більшість пікселів об'єкта зосереджено навколо його геометричного центру. Завдяки такому спрощенню, аналіз взаємного положення (локалізації)

зводиться від аналізу положення кожного пікселя кожного об'єкта до аналізу відстані між геометричними центрами різночасових об'єктів та еквівалентних радіусів. Відповідно до цього припущення було визначено *функцію взаємної локалізації*, яка дорівнює 1, якщо відстань між геометричними центрами об'єктів менша за найменший з їх еквівалентних діаметрів. Це означає, що дані об'єкти є зображенням одного й того ж реального об'єкта або об'єктів, що займають одну й ту ж ділянку земної поверхні. Функція дорівнює 0 в інших випадках.

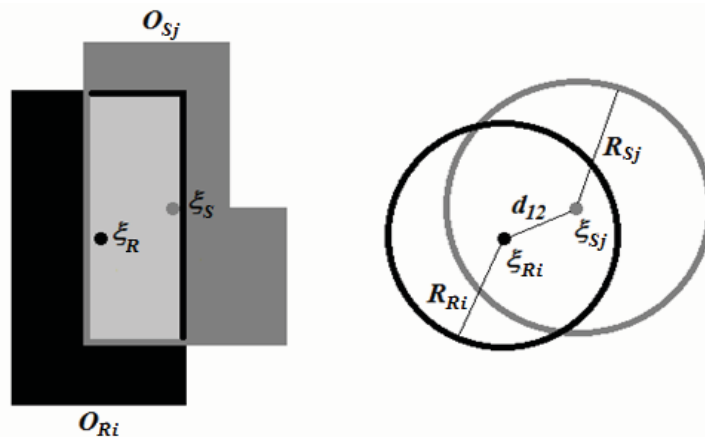


Рисунок 3 - Геометрична векторна модель різночасових об'єктів штучного походження

З виразу (3) видно, що функція є визначеною для об'єктів обох зображень: опорного (Λ_{Ri}^i) та другого ($\Lambda_{Sj}^{\forall j}$), де i та j – відповідні порядкові номери об'єктів цих зображень.

$$\begin{cases} \Lambda_{Ri}^i = 1 \text{ та } \Lambda_{Sj}^i = 1, & \text{якщо } \min(R_{Ri}, R_{Sj}) \geq d_{ij}; \\ \Lambda_{Ri}^{\forall j} = 0, & \text{якщо } \min(R_{Ri}, R_{Sj}) < d_{ij} \quad \forall j \in [1, m]; \\ \Lambda_{Sj}^{\forall i} = 0, & \text{якщо } \min(R_{Si}, R_{Rj}) < d_{ji} \quad \forall i \in [1, n]; \end{cases} \quad (3)$$

Аналіз змін здійснюється лише для об'єктів, функція локалізації яких дорівнює 1. Для виявлення змін застосовується просторовий підхід, відповідно до якого, об'єкти вважаються зміненими, якщо ступінь перекриття їх різночасових зображень лежить в діапазоні $[0,2; 0,8]$. Об'єкти зображення вважаються проекцією одного й того ж реального об'єкту, якщо ступінь їх перекриття більший за 0,8. Якщо ступінь перекриття об'єктів зображення є меншим за 0,2, дані об'єкти вважаються проекціями різних реальних об'єктів. Отже, процес ідентифікації та візуалізації змін можна поділити на 3 етапи:

1) *аналіз взаємної локалізації*;

2) класифікація об'єктів другого зображення по відношенню до першого;

3) побудова карти змін.

Впроваджено наступний метод класифікації об'єктів відповідно до їх часових змін з відповідним кольоровим маркуванням:

- *новий об'єкт* – об'єкт, що був відсутнім на опорному зображенні та присутній на другому (позначається зеленим кольором на карті змін);

- *зниклий об'єкт* – об'єкт, що був присутній на опорному зображенні та є відсутнім на другому (позначається червоним кольором на карті змін);

- *незмінний об'єкт* – об'єкт, що не набув змін у другому зображенні (позначається чорним кольором на карті змін);

- *змінений об'єкт* – об'єкт, що набув змін на другому зображенні по відношенню до опорного (позначається синім кольором на карті змін).

Результатом застосування розробленої геометричної векторної моделі є карта часових змін, зображена на рис. 5 за допомогою здійсненої в системі MATLAB програмної реалізації.

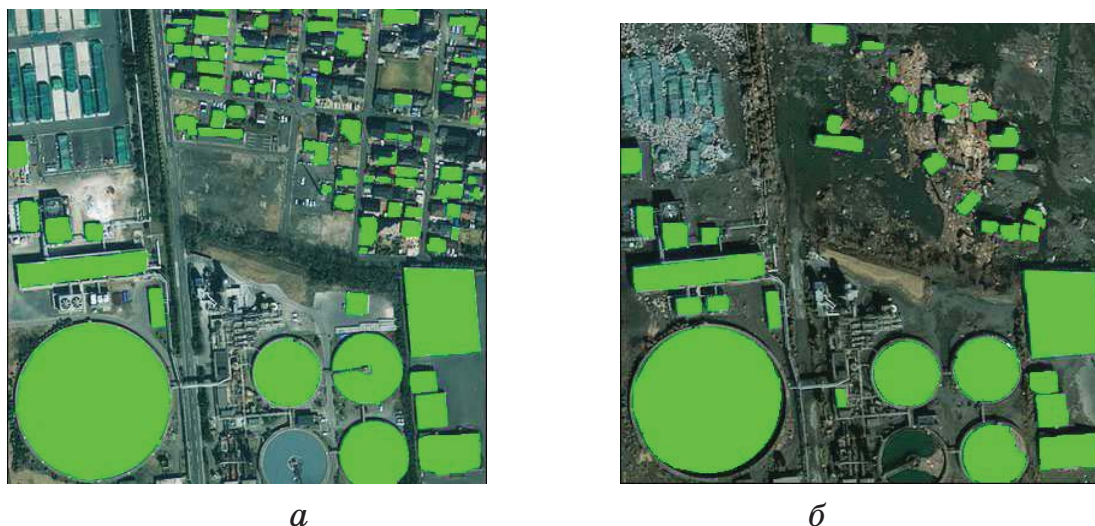


Рисунок 4 - Вихідні зображення з розпізнаними об'єктами штучного походження: а) опорне зображення; б) друге зображення

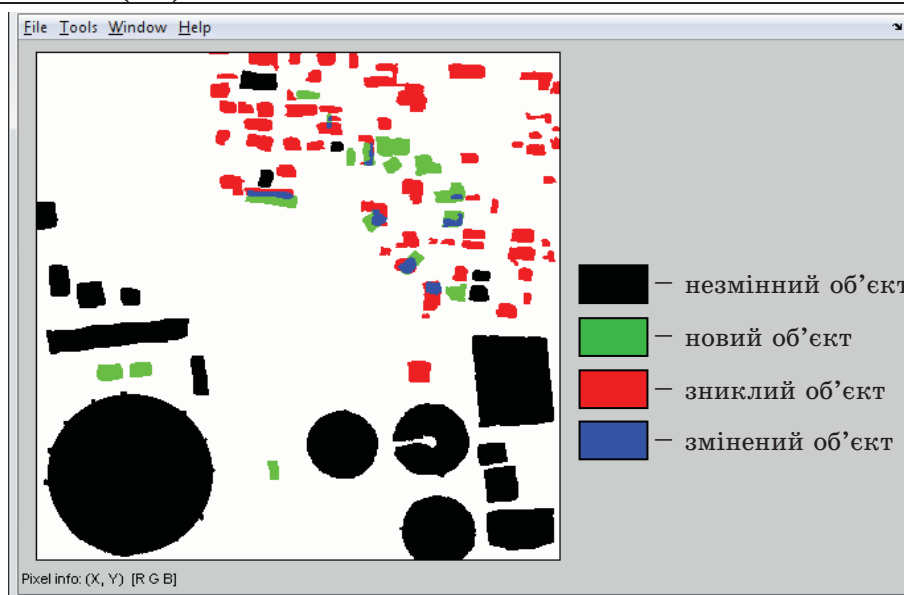


Рисунок 5 - Карта часових змін об'єктів штучного походження

Висновки та перспективи подальших досліджень

Нова геометрична векторна модель різночасових об'єктів дозволила суттєво підвищити швидкість дії розробленого на її основі алгоритму ідентифікації змін об'єктів штучного походження порівняно з традиційними методами. Результатом роботи розробленого алгоритму є побудова карти часових змін двох зображень на основі розробленого методу класифікації змін. Наші подальші дослідження будуть присвячені побудові тривимірної карти часових змін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суцєвський Д.В. Аналіз динаміки змін об'єктів земної поверхні за різночасовими фотограмметричними зображеннями / Д.В. Суцєвський, В.В. Гнатушенко // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2009)» — Дніпропетровськ: ДНУ, 2009. — С. 262-263.
2. Гнатушенко В.В. Комбінований метод виявлення об'єктів штучного походження за даними багатоспектральної зйомки / В.В. Гнатушенко, Д.В. Суцєвський // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К.: КНУБА, 2010. — Вип. 84. — С. 152-157.

Получено 12.01.2011г