

ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ

У статті розглядається підхід до порівняння космічних знімків земної поверхні, які отримують з різних космічних систем дистанційного зондування Землі, з метою знаходження їх відмінностей.

Постановка проблеми. У теперішній час в Україні замовники інформації космічного спостереження отримують знімки з багатьох різних комерційних систем космічного знімання. Це дозволяє досягти заданої оперативності в отриманні актуальної інформації. Але це також означає, що джерела інформації не цілком надійні. Не достатньо надійними також є канали надходження знімків. Звідси впливає завдання оцінювання достовірності знімків та відповідності обстановки, що відображена на них, реальному стану дій.

Огляд останніх досліджень і публікацій. На жаль, більшість сучасних наукових робіт щодо верифікації знімків належить до криміналістики і безпеки та мають відповідну специфіку вже при постановці завдання [1]. Частковому порівнянню зображень присвячено достатньо публікацій. Так, у [2] розглянуто метод, оснований на аналізі локальних гістограм зображень. Метод має деяку просторову інваріантність, але чутливий до спектральних розбіжностей зображень. У [3] розглядається комплексний метод виявлення змін, які є наслідком клонування на цифрових знімках. Ефективність методу суттєво знижується при використанні інших способів фальсифікацій. У роботі [4] пропонується спрощений метод класичного кореляційного підходу до оцінювання статистичних розбіжностей спрощених зображень із значними змінами без урахування особливостей формування самих зображень.

Проте в жодній з робіт не розглянуто підходу до виявлення змін на космічних знімках з урахуванням умов знімання: умов освітлення, геометричних викривлень, розбіжностей у детальності знімків, спектральних та радіометричних розбіжностей оптичних датчиків. Таким чином, метою статті є розробка підходу до виявлення змін на космічних знімках з урахуванням умов знімання.

Формулювання завдання дослідження. Найкращим способом перевірки відповідності обстановки дійсній є порівняння її з достовірним джерелом інформації. Таким джерелом може бути вітчизняна система космічного знімання, яка, на жаль, має низькі інформативні показники: оперативність і детальність. Звідси можна сформулювати часткове завдання – розробити підхід до порівняння знімків того самого району, отриманих комерційною системою, яка має кращі характеристики, та вітчизняною системою, яка має гірші просторові характеристики.

Виклад основного матеріалу. Основними технічними характеристиками датчиків зображень, що впливають на якість знімка, є: детальність знімка, спектральні характеристики та радіометричне розрізнення [5].

Основні характеристики датчиків знімків космічних апаратів (КА) Ikonos, Eros-b, OrbView та датчика МСУ-8 КА системи «Січ-2» подані у таблиці 1 [6].

Таблиця 1

Характеристики датчиків знімків

Назва системи (датчика)	Детальність, м		Спектральний діапазон, мкм		Радіометричне розрізнення, біт/піксель
	П	БС	П	БС	
Ikonos	0,82	3,2	0,45–0,9	0,45–0,52 0,52–0,6 0,63–0,69 0,76–0,9	11
EROS-B	0,3	–	0,5–0,9	–	11
OrbView	1	4	0,45–0,9	0,45–0,52 0,52–0,6 0,625–0,695 0,76–0,9	11
СІЧ-2 (МСУ-8)	7,8	7,8	0,5–0,885	0,5–0,59 0,605–0,68 0,785–0,885	11

П – панхроматичне знімання, БС – багатоспектральне знімання

Для розглянутих датчиків розбіжності у радіометричному розрізненні відсутні. Дещо відрізняються спектральні характеристики. Найбільш суттєві розбіжності датчиків вітчизняного МСУ-8 та КА Ikonos, OrbView полягають у відсутності окремого блакитного каналу (0,45–0,52 мкм) у МСУ-8. Спектральний діапазон панхроматичного знімання у МСУ-8 дещо зміщений і починається із зеленого кольору (0,5–0,56 мкм). Такий самий спектральний діапазон має датчик КА EROS-B. Детальність може значно відрізнятися.

Найбільш стійкою ознакою об'єкта при його відображенні на космічних знімках є його форма. Основна мета порівняння знімків у завданні, що розглядається, – виявлення змін форм об'єктів на зображенні земної поверхні, фактів їх появи або зникнення. Тому простором ознак може бути опис форм цих об'єктів. Форма об'єкта може описуватись або растровим зображенням форми або векторними примітивами. Зупинимося на растровому поданні зображення об'єктів.

У найпростішому випадку порівняння двох растрових масивів чисел (значень пікселів) однакової розмірності полягає у поелементному їх відніманні й оцінюванні цих розбіжностей за заданим критерієм. Найбільш поширеним критерієм є середній квадрат різниці значень масивів. Для оцінювання величини розбіжностей можна використовувати середньоквадратичний критерій різниці значень пікселів зображень. Спосіб порівняно простий, але потребує однакових характеристик зображень, починаючи з розмірності і детальності, закінчуючи спектральними та радіометричними характеристиками. Він дуже чутливий до небажаних розбіжностей в освітленні і ракурсі знімання тривимірних об'єктів.

Класичним (і кращим) підходом до статистичного оцінювання розбіжностей є кореляційний аналіз [7]. Космічні знімки мають величезні розміри, але площа ділянок із змінами може бути порівняно невеликою. Звідси випливає доцільність обчислення кореляційної міри схожості у ковзкому вікні. Це прискорить обчислення міри схожості за умови використання швидких алгоритмів перетворення Фур'є. Бажано обирати вікно квадратної форми з піксельними розмірами, що кратні ступеням двійки. Розміри вікна аналізу слід обирати такими, щоб розміри ділянки очікуваних змін були не меншими від розмірів вікна. Мінімальні розміри вікна обмежуються розмірами ділянок ракурсних розбіжностей зображень, залишковими розбіжностями геометричного суміщення, розбіжностями у тінях та необхідною кількістю пікселів статистичного аналізу.

Для виявлення змінених ланок зображення коефіцієнт кореляції у кожному положенні вікна аналізу порівнюється з порогом виявлення, який може бути визначений шляхом виміру коефіцієнта кореляції тим самим вікном аналізу, на тих частинах зображень, де навмисних змін не передбачається (наприклад, по краях знімка). Вимірний та усереднений за різними ділянками коефіцієнт кореляції множиться на коефіцієнт, який задає ймовірнісні характеристики виявлення.

Для порівняння зображень з різними властивостями їх потрібно звести до однакового подання, яке подання повинне бути таким, щоб, з одного боку, у ньому були мінімізовані розбіжності, спричинені технічними характеристиками датчиків зображень і умовами знімання, а з іншого, – залишилися розбіжності, спричинені зміною обстановки, яка подана на зображеннях.

Знімки різних датчиків з різних КА мають певні розбіжності у спектральних діапазонах знімання. Спектральні розбіжності між зображеннями земної поверхні можуть бути значні, хоча основні форми об'єктів зберігаються. Для зменшення впливу цих розбіжностей на результати порівняння потрібно обирати лише ті спектральні канали, які є в наборах обох знімків.

Точне зведення меж спектральних діапазонів знімків до однакових фізично неможливе. Можна зменшити розбіжності за рахунок синтезування зі спектральних каналів псевдопанхроматичного зображення шляхом вагового додавання значень відповідних за простором пікселів з обраних спектральних каналів. Таке синтезоване зображення в прямому розумінні непанхроматичне, але є наближеною моделлю з мінімальними спектральними розбіжностями.

Радіометричні розбіжності знімків можуть бути значними, тому доцільно на зображеннях від об'єктів залишити тільки форми обрисів шляхом застосування фільтрів виділення меж: Робертса або Собела.

Знімки потрібно обирати за умови того самого сезону. Сезонні зміни на знімках розрізняються вже за два тижні.

Зміни зображення тривимірних об'єктів, спричинені часовими розбіжностями знімання (а саме умовами освітлення) та ракурсними розбіжностями в зображенні тривимірних об'єктів, можна усунути тільки повним тривимірним моделюванням сцени. Це завдання важко виконати в реальних часових обмеженнях. Тому з метою ігнорування розбіжностей у поданні тіней та за зміною ракурсів слід просто генералізувати зображення шляхом зменшення його детальності.

Рівень генералізації можна обрати шляхом поступового його збільшення для контрольних ділянок знімків до визначених меж. Слід враховувати той факт, що генералізація може усунути і розбіжності, що підлягають виявленню. Для зменшення впливу розбіжностей у тінях слід намагатися використовувати пари знімків, які зняті в той самий час доби та в інтервалі ± 6 діб. Година розбіжності у часі доби призводить до повороту тіні на кут, значення якого не перевищує 15° . Вітчизняні та іноземні комерційні оператори систем спостереження запускають космічні апарати на сонячносинхронні орбіти. Для заданого району місцевий час знімання з різних апаратів приблизно однаковий: практично ± 1 год (крім апаратів EROS).

Ракурсні розбіжності пов'язані з властивостями центрального проектування зображення сцени та з можливим нахиленням оптичної осі об'єктива. Ракурсні розбіжності в поданні об'єктів при обробці операторами космічних систем не усуваються. Величина ракурсних розбіжностей залежить від відносної висоти об'єктів, кута нахилення оптичної осі та поля зору об'єктива. Для більшості знімків високого розрізнення, що отримують від комерційних операторів, ракурсні відхилення зображень висотних об'єктів не перебільшують половини їх висоти. На рис. 1 наведено вже приведені до однакового подання знімки з різних КА. Добре видно залишкові ракурсні розбіжності і розбіжності у тінях. Розміри розбіжностей наближаються до розмірів літаків. На практиці ракурсні розбіжності менші за довжину тіней, тому вони генералізуються разом з ними.



Рис. 1. Знімки з різних КА, приведені до однакового подання

Розбіжності за погодних умов (за хмарністю) можна ігнорувати шляхом накладання масок. Маски можуть виявлятися майже автоматично за наявності інфрачервоних каналів.

Таким чином, необхідно, щоб формування обох зображень відбувалося приблизно за однакових умов: однакова висота та азимут Сонця, відсутність хмарності, знімки отримані на інтервалі двох діб у ту саму пору року. Рік може відрізнитися. Таке порівняння цілком можливе за наявності архіву знімків контрольованого об'єкта.

У кінцевому вигляді результатом перетворення знімків будуть растрові півтонові зображення з однаковою детальністю, межами і розмірами. Приведення знімків в єдиний простір растрового півтонового зображення будемо проводити в такій послідовності.

Спочатку потрібно виконати трансформацію обох знімків у деяку картографічну проекцію та ортотрансформувати їх з урахуванням моделі рельєфу. Це забезпечить виконання умови просторової сумісності зображень, які порівнюються.

Ділянки аналізу на обох зображеннях визначаються їх взаємним перекриттям і повинні мати однакові межі. Якщо попередньо виконувалась географічна прив'язка, кути ділянок можна задавати як просторові координати. У подальшому порівняння буде виконуватись тільки для цих частин знімків.

Наступним кроком є усунення розбіжностей зображень за детальністю. Приведення зображень до однієї детальності проводиться шляхом генералізації зображення з кращою детальністю до зображення з гіршою. Це можна здійснити, використовуючи властивості медіанного фільтра усереднювати значення пікселів тих об'єктів зображення, які мають кількість елементів, меншу за половину розміру апертури фільтра. Тобто розмір апертури медіанного фільтра для генералізації слід обирати як подвійну кількість пікселів більш детального зображення в одному пікселі менш детального. Таким фільтром обробляється зображення з кращою детальністю. Зображення з гіршою детальністю обробляється медіанним фільтром з мінімальним розміром апертури – 2. Далі слід зменшити піксельний розмір зображення, яке мало кращу детальність до піксельного розміру зображення з гіршою.

Для зменшення радіометричних розбіжностей із зображень треба прибрати фонове розфарбування об'єктів, залишаючи тільки півтонові межі, що відображають форми. Це можна зробити, наприклад, фільтром Собела.

Після визначення порогу виявлення, як наведено вище, можна проводити кореляційний пошук розбіжностей ковзним вікном.

Висновки. Основні розбіжності космічних знімків того самого району, які отримані з різних джерел, полягають у відмінності меж знімків, їх спектральних діапазонів, ракурсів їх знімання і детальності. Для того, щоб мати можливість порівнювати ці зображення потрібно привести їх до максимально однакових характеристик.

Розроблено підхід приведення знімків до єдиного подання, що полягає у геометричному прив'язуванні знімків, вирівнюванні меж зображень, відборі спектральних каналів та створенні псевдопанхроматичних зображень, генералізації до однакової детальності, вирівнюванні піксельного масштабу і виділенні меж об'єктів. За метод порівняння наведених знімків пропонується кореляційний аналіз на основі швидкого перетворення Фур'є.

Наведені прийоми і методи можуть бути цілком реалізовані у програмному комплексі обробки космічних знімків ENVI шляхом використання існуючих модулів та створення додаткових на мові програмування IDL.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фетняев И. Ю. Признаки монтажа и другие изменения в цифровых фонограммах и фотографиях. 2009. [Электронный ресурс] / И. Ю. Фетняев. – Режим доступа : http://www.zhenilo.narod.ru/main/ips/2009_criminalistics.pdf.
2. Schiele B., Pedestrian detection: An evaluation of the state of the art. 2010. [Electronic resource]. – Mode of access : <http://wiki.epfl.ch/edicpublic/documents/Candidacy%20exam/01Ped.pdf>.
3. Зорило В. В. Комплексный метод выявления и локализации областей клонирования в цифровых изображениях / В. В. Зорило, Е. Ю. Лебедева // Праці Одеського політехнічного університету. – 2015. №1. – С. 101–106.

4. Чочиа П. А. Быстрое корреляционное совмещение квазирегулярных изображений. Электронный научный журнал. 2009. [Электронный ресурс]. / П. А. Чочиа. – Режим доступа : <http://www.jip.ru/2011/76-85-2011.pdf>.
5. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование Земли. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М. : Техносфера, 2010. – 556 с.
6. Информация о спутниках [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.digitalglobe.com/ru/satellite-information>.
7. Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений : учеб. пособие для студентов вузов / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин. – М. : Высш. шк., 1983. – 295 с.

Подано 12.06.2015

О. Е. Горшенин, Р. Н. Осадчук

ОБНАРУЖЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

В статье рассматривается подход к сравнению космических снимков земной поверхности, полученные с разных космических систем дистанционного зондирования Земли, с целью поиска их отличий.

O. E. Gorshenin, R. N. Osadchuk

DETECT CHANGES IN SATELLITE IMAGES

The article discusses the approach to the comparison satellite images of the earth's surface, obtained from various space systems for remote sensing the Earth, in order to find their differences