

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

М. О. Пілічева

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ГЕОІНФОРМАТИКИ, ФОТОГРАММЕТРІЇ ТА
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023

Пілічева М. О. Сучасні технології геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / М. О. Пілічева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 110 с.

Укладач

канд. техн. наук, доц. М. О. Пілічева

Рецензент

В. Д. Шипулін, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 05.09.2022

© М. О. Пілічева, 2023

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Змістовий модуль 1 Технології отримання даних дистанційного зондування	6
1 Новітні пасивні методи та технології дистанційного зондування.....	6
1.1 Задачі і методи дистанційного зондування.....	6
1.2 Знімальні системи.....	9
1.3 Похибки, які виникають при формуванні сканерних знімків.....	20
1.4 Рівні попередньої обробки сканерних знімків.....	21
1.5 Наземне стереофотограмметричне знімання.....	22
1.6 Калібрування цифрових камер.....	23
2 Сучасні активні методи та технології дистанційного зондування.....	28
2.1 Радіолокаційна зйомка.....	28
2.2 Геометричні спотворення радіолокаційних знімків.....	33
2.3 Рівні обробки радарних знімків.....	36
2.4 Інтерферометрична радіолокація.....	38
2.5 Лазерне сканування.....	41
2.6 Методика отримання та обробки даних лазерного сканування.....	44
Змістовий модуль 2 Методи фотограмметричної обробки даних дистанційного зондування.....	48
3 Попередня обробка даних дистанційного зондування.....	48
3.1 Загальна характеристика цифрової обробки даних дистанційного зондування Землі.....	48
3.2 Способи обробки зображень.....	50
3.3 Поелемента обробка зображень.....	50
3.4 Перетворення гістограм, еквалізація.....	52
3.5 Методи стискання зображень.....	53
3.6 Радіометрична корекція знімків.....	56
4 Фільтрація та трансформування даних дистанційного зондування.....	59
4.1 Фільтрація даних дистанційного зондування Землі.....	59
4.2 Трансформування даних дистанційного зондування.....	64
4.3 Ортотрансформування даних дистанційного зондування Землі.....	65
5 Методи дешифрування цифрових зображень.....	74
5.1 Дешифрувальні ознаки.....	74

5.2	Правила і типи автоматизованої класифікації.....	76
5.3	Контрольована класифікація.....	78
5.4	Неконтрольована класифікація.....	82
	Змістовий модуль 3 Геоінформаційні технології при вирішенні прикладних задач геодезії та землеустрою.....	85
6	Обробка даних дистанційного зондування у геоінформаційних системах	85
6.1	Система геоінформаційних систем та дистанційного зондування.....	85
6.2	Моделі інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS.....	87
6.3	Створення мозаїки.....	92
7	Технологія створення ГІС-проєкту при вирішенні прикладних задач землеустрою та кадастру.....	94
7.1	Проєктування геоінформаційної системи для вирішення задач землеустрою та кадастру.....	94
7.2	Просторові та атрибутивні дані.....	96
7.3	Топологічні правила.....	99
7.4	Технології ГІС-аналізу.....	100
	Список рекомендованих джерел.....	105

ВСТУП

Дистанційне зондування Землі (далі – ДЗЗ) – це метод вивчення земної поверхні, заснований на неконтактній реєстрації електромагнітного випромінювання земної поверхні в різних діапазонах спектра. Кінцевою метою обробки даних дистанційного зондування є розпізнавання об'єктів або ситуацій, що потрапляють в поле огляду, і визначення їх положення в просторі. Оскільки форма, розміри, фізичні властивості об'єктів значно відрізняються, то розроблено багато способів виконання процедури ДЗЗ. При цьому не існує універсального способу для виявлення всіх об'єктів і ситуацій.

Методи ДЗЗ мають такі переваги, як: можливість одержання одночасної інформації про великі території; можливість переходу від дискретної картини значень показників стану навколишнього середовища в окремих пунктах території до безперервної картини просторового розподілу показників; можливість одержання інформації про важкодоступні райони. Залучення технологій ДЗЗ дозволяє з високою ефективністю вирішувати такі завдання в прикладних ГІС: створення тематичних карт різних масштабів; побудова цифрових моделей рельєфу; оперативна підтримка цифрової бази даних ГІС в актуальному стані.

У контексті лекцій розглянуті теоретичні питання сучасних методів і технологій фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформатики з метою використання в сфері геодезії та землеустрою.

Метою викладання навчальної дисципліни «Сучасні технології геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування» є формування майбутніх науковців вищої кваліфікації, які володіють системою знань щодо теоретико-методологічного обґрунтування і практичного застосування методичних підходів, інструментів та методів геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування. Завданнями вивчення дисципліни є виявлення особливостей, освоєння та удосконалення технологій та методів виконання та обчислювальної обробки даних фотограмметрії та дистанційного зондування Землі, технологій опрацювання зображень з метою отримання певної продукції та її використання у геоінформаційних системах.

Конспект лекцій розроблено для студентів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

1 НОВІТНІ ПАСИВНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

План

- 1.1 Задачі і методи дистанційного зондування.
- 1.2 Знімальні системи.
- 1.3 Похибки, які виникають при формуванні сканерних знімків.
- 1.4 Рівні попередньої обробки сканерних знімків.
- 1.5 Наземне стереофотограмметричне знімання.
- 1.6 Калібрування цифрових камер.

1.1 Задачі і методи дистанційного зондування

Дистанційне зондування (далі – ДЗ) – процес або метод отримання інформації про об’єкт, ділянку поверхні або явище шляхом аналізу даних, зібраних без контакту з досліджуваним об’єктом.

Суть методу полягає в інтерпретації результатів вимірювання електромагнітного випромінювання, яке відбивається або випромінюється об’єктом і реєструється в деякої віддаленої від нього точці простору.

У сучасному вигляді дистанційного зондування виділяються два взаємозалежних напрямки – природно-наукове (дистанційні дослідження) та інженерно-технічне (дистанційні методи), що знайшло відображення в широко поширених англійських термінах *remote sensing* і *remote sensing techniques*.

Як джерело даних у ДЗЗ найчастіше використовують електромагнітне випромінювання, що відбивається від об’єкта або випромінюється ним. Поле тяжіння або магнітне поле також можуть бути джерелами даних для ДЗЗ.

Процес дистанційного зондування, за якого три різних об’єкти приймаються давачем у певних діапазонах, подано на рисунку 1.1. Причому різні фактори, впливаючи на електромагнітні характеристики, змінюють сигнал.

Складовими процесу збору даних є:

- джерело електромагнітного випромінювання;
- процес поширення випромінювання;
- взаємодія випромінювання з речовиною об'єкта;
- відповідний сигнал;
- реєстрація даних і надання їх споживачам.



Рисунок 1.1 – Потік даних дистанційного зондування

По відношенню до джерела енергії всі дистанційні методи можна розділити на пасивні і активні. При використанні активних методів супутник посилає на Землю сигнал власного джерела енергії (лазера, радіолокаційного передавача) і реєструє його відбиття (рис. 1.2).

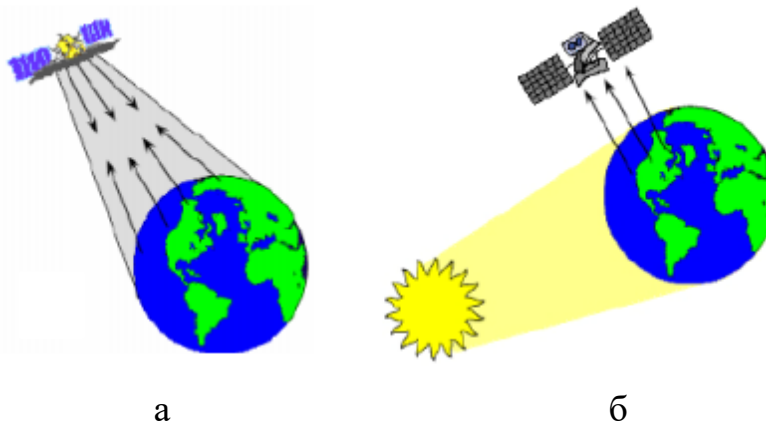


Рисунок 1.2 – Методи ДЗЗ:
а – активний; б – пасивний

Найчастіше використовуються пасивні методи дистанційного зондування, які засновані на реєстрації відбитої від поверхні об'єктів сонячної енергії або на реєстрації власного електромагнітного випромінювання ділянок поверхні (рис. 1.2).

ДЗЗ поділяється на наземне та аерокосмічне (за базуванням носія, за допомогою якого отримують матеріали).

Ефективність системи ДЗЗ великою мірою залежить від ефективності наземної інфраструктури керування супутником, прийому, обробки та розповсюдження даних (наземне ДЗЗ) (рис. 1.3).

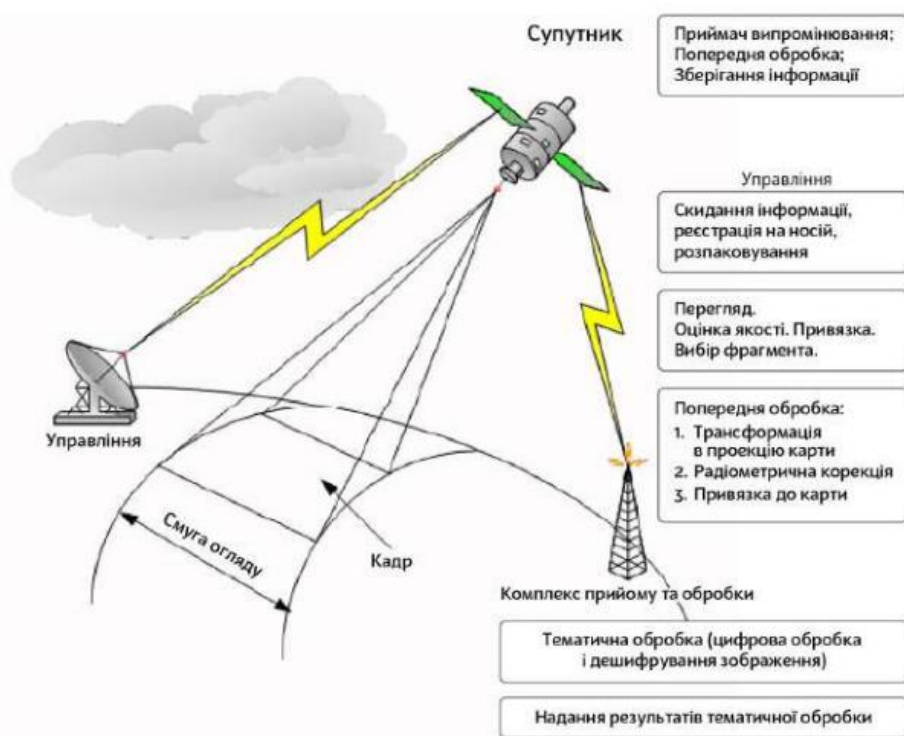


Рисунок 1.3 – Системи дистанційного зондування

Основні переваги даних дистанційного зондування:

- дані містять корисну інформацію, отриману в різних спектральних діапазонах, і зберігаються в цифровому вигляді;
- космічні знімки охоплюють великі галузі, їх можна використовувати для тематичних регіональних досліджень та ідентифікації великих просторових об'єктів;
- регулярна зйомка територій дозволяє проводити моніторинг об'єктів і явищ і процесів, які змінюються під впливом природних і антропогенних

факторів (водних ресурсів, стану сільськогосподарських культур, ґрунтів, інфраструктури міст);

- можливість досить просто отримати дані про важкодоступні області і отримання знімків різного розрізнення для вирішення різноманітних завдань в різних предметних областях;

- економічно ефективним є застосування космічних знімків для оперативного оновлення середньо- і дрібномасштабних карт.

Основні недоліки даних дистанційного зондування:

- висока вартість програмного забезпечення в обробці цифрових знімків;
- результати дешифрування матеріалів дистанційного зондування, не підтверджені польовими дослідженнями, не завжди мають достатню надійність.

1.2 Знімальні системи

Для забезпечення можливості здійснення зйомки в ДЗЗ, знімальна апаратура встановлюється на носій, який піднімає її на потрібну висоту, переміщує відносно земної поверхні і забезпечує певне орієнтування в просторі. За типом носіїв, що використовуються для систем ДЗЗ, їх поділяють на дві основні групи (рис. 1.4):

- авіаційні – літаки, гелікоптери, планери, безпілотні літальні апарати, аеростати;

- космічні – штучні супутники Землі та інших планет, орбітальні станції, міжпланетні апарати.

Давач ДЗЗ – це пристрій, який збирає відбиту від Землі сонячну енергію (електромагнітне випромінення), перетворює її на електричний сигнал і подає його у формі коду, зручного для передавання по каналах зв'язку. Стосовно сенсора, то він є пристроєм, який працює в певному спектральному діапазоні.

Давачі дистанційного зондування можуть сприймати різні ділянки електромагнітного спектра як у видимому діапазоні, так і поза ним.

Кожна система дистанційного зондування має власні характеристики та низку спільних для всіх властивостей, таких як:

- смуга огляду;

- радіометричне розрізнення (контрастність) – чутливість системи під час вимірювання амплітуди (інтенсивності) відбитого сигналу (або яскравості об’єкта);
- просторове розрізнення – здатність сенсорної системи розрізняти на місцевості об’єкти різних розмірів (довжини);
- спектральне розрізнення – здатність сенсорної системи реєструвати електромагнітне випромінення специфічного частотного діапазону (діапазон частот, що реєструється системою, називають смугою, або каналом, реєстрації);
- темпоральне розрізнення – період часу між двома зніманнями того самого об’єкта.

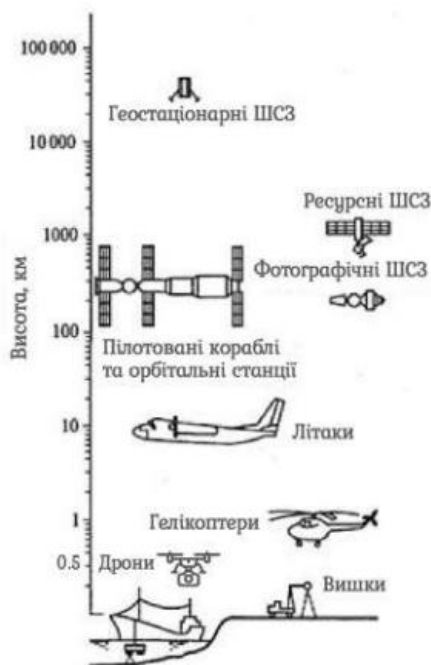


Рисунок 1.4 – Носії знімальних систем ДЗЗ

Давачі поділяють на сканувальні та несканувальні системи.

Пасивні сканувальні давачі, які отримують зображення, поділяють на давачі сканування плану зображення (телевізійні камери і сканери на твердотілих лінійках із зарядним зв’язком), давачі сканування плану об’єкта (багатоспектральні сканери (оптичні, з механічними пристроями розгортки) та сканувальні мікрохвильові радіометри).

Класифікація за спектральним діапазоном електромагнітного випромінювання передбачає виокремлення систем оптичного діапазону (380–720 мкм), ближнього інфрачервоного (720–1300 мкм), середнього

інфрачервоного (1300–3000 мкм), радіодіапазону (зокрема в мікрохвильовому діапазоні до 1 м).

Залежно від спектрального розрізнення сенсорні системи класифікують як:

- панхроматичні;
- мультиспектральні (2–10 діапазонів);
- гіперспектральні (понад 30 каналів).

Сенсорні системи характеризуються високим просторовим розрізненням, яке становить 0,5–3,0 м, середнім – 3,0–30,0 м та низьким просторовим розрізненням – 30,0–1100 м.

За технологією отримання знімків знімальні системи поділяють на фотографічні, телевізійні, сканувальні й радіолокаційні.

Дані аерокосмічного знімання можна поділити на три групи відповідно до засобу знімання:

- аерознімки з цифрових камер, встановлених на літаках або гвинтокрилах;
- аерознімки з цифрових камер, встановлених на безпілотних літальних апаратах (далі – БПЛА);
- космічні знімки, отримані зі штучних супутників Землі.

Аерознімки можуть бути отримані за допомогою метричних камер (DMC (фірм Zeiss/Intergraph Imaging (Германія/США)), UltraCam (фірми Vexcel Imaging (Австрія/США)), ADS40 (фірми Leica Geosystems (Швейцарія/США)), 3DAS (науково-виробничого підприємства (НВП) «Геосистема» (Україна) спільно з компанією Wehrli and Associates (США))), тобто таких, які призначені для отримання вимірювальної інформації і знімків з метою створення вимірювальних документів: топографічних карт і планів, цифрової картографічної інформації, цифрових моделей, кадастрових планів, аерофотопланів; і неметричних камер (Nikon D2X, Canon EOS 550D, Canon EOS 5D, Panasonic Lumix DMC-62, Sony Alpha DSLR-A390, Pentax K-5) [5].

На літаках частіше використовуються метричні камери, а на БПЛА – неметричні камери. Це пов'язано перш за все з вагою і вартістю камери.

В Україні широко використовуються аерознімки, отримані з метричної цифрової камери 3DAS-1 (рис. 1.5) НВП «Геосистема» [6], основні технічні характеристики якої наведено в [6].



Рисунок 1.5 – Сканувальна система 3-DAS-1 [7]

Для отримання зображень для кінцевих користувачів (індексний блок при використанні стереомоделі або ортофотоплани) вихідне зображення обов'язково проходить фотограмметричну обробку з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 1.6). На першому етапі обробки виконується зрівнювання польотних GPS вимірювань спільно з вимірами базових станцій, на другому етапі – автоматична ректифікація вихідних зображень з використанням даних, отриманих на першому етапі. Отримане таким чином зображення є виправленим за кути нахилу і траєкторію руху літака та має геодезичну прив'язку. На третьому етапі виконується стереооцифрування ситуації (створення цифрової карти) або створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР), ортофототрансформування і компонування мозаїчних ортофотопланів в геодезичній розграфці.

Для контролю точності отриманих результатів виконується незалежний вибірковий контроль точності шляхом визначення координат чітких контурних точок за допомогою GPS-вимірювань.

При зйомці з БПЛА переважно використовують неметричні компактні цифрові камери (рис. 1.7). Фокусна відстань камер зазвичай становить близько 50 мм, що відповідає розміру пікселя на місцевості від 7 до 35 см.

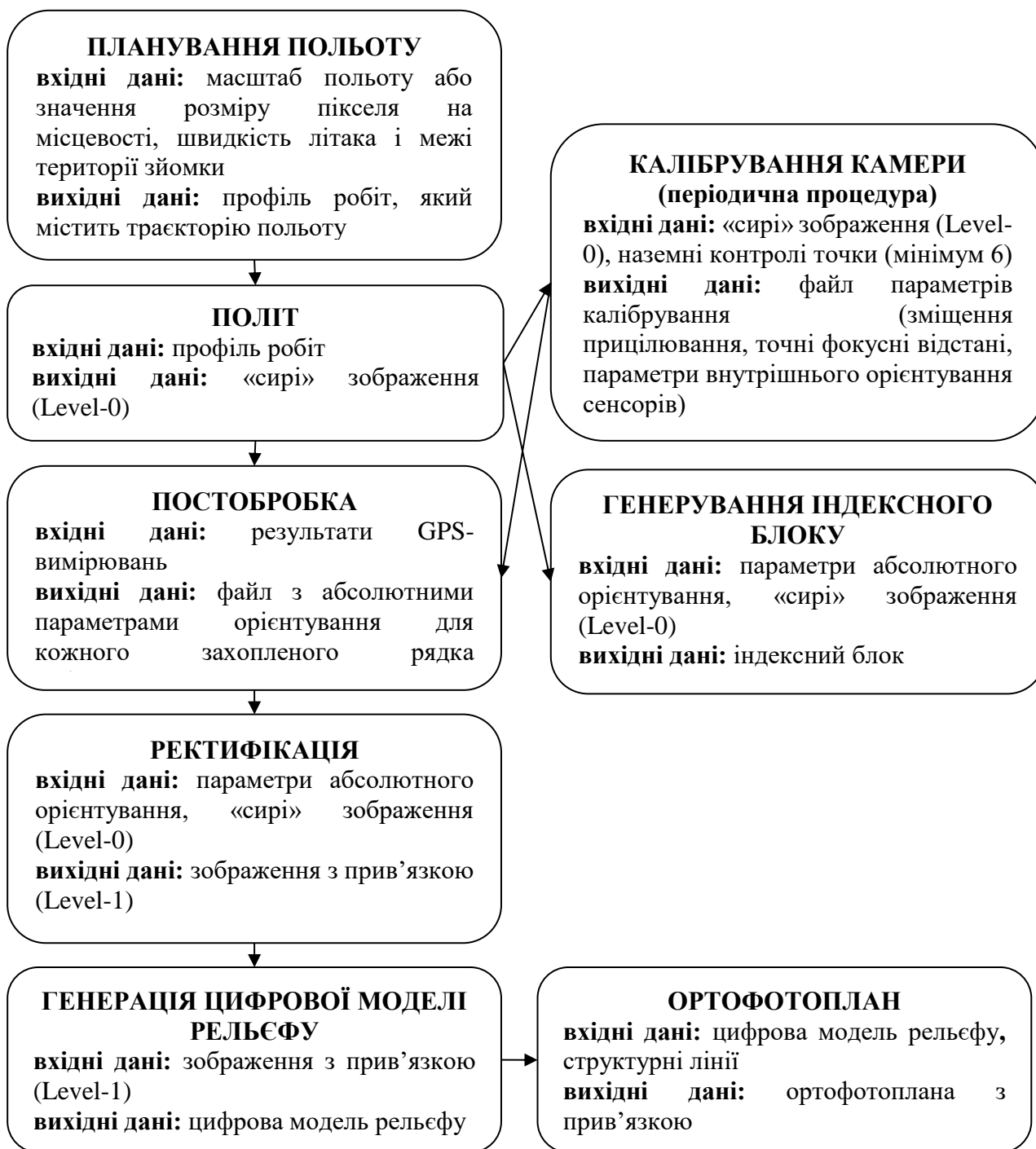


Рисунок 1.6 – Технологічна схема отримання та фотограмметричної обробки аерознімків згідно з [7, 8]

Результатом аерознімання є знімки видимого спектру (кольорові зображення) або мультиспектральні зображення – синтез кольорових знімків та знімків ближнього інфрачервоного діапазону. Можливість застосування БПЛА для аерознімальних процесів розглянуто у роботах [9–12]. Для отримання максимальної точності результатів – близько одного пікселя, що відповідає

точності ортофотопланів масштабів від 1: 500 до 1: 2000 в залежності від висоти зйомки – зйомку та обробку її результатів необхідно проводити спираючись на строгу фотограмметричну обробку даних, тобто виконувати фототриангуляцію.



Рисунок 1.7 – Гексакоптер Leica Aibot [19]

Обробка аерофотозйомки з БПЛА на цифрових фотограмметричних станціях (далі – ЦФС) в цілому аналогічна обробці аерофотозйомки з «великих літаків», яка наведена на рисунку 1.6. Однак особливості даних з борту БПЛА часто не дозволяють використовувати автоматичні процедури фотограмметричного програмного забезпечення.

Після строгої фотограмметричної обробки аерознімків з БПЛА можна отримати точність планового положення точок близько 0,3–0,5 см і висотного – 1 м [9–12]. Невисокі результати пояснюються наступними факторами [9–12]:

- змазування зображення під час виконання експозиції;
- незадовільні кути нахилу (більше ніж 12 градусів);
- не завжди задовільне повздовжнє перекриття знімків: нестабільна шляхова швидкість літака.

До того ж БПЛА мають підвищену аварійність, тому існує великий ризик втрати апарату і устаткування. Це пов'язано з тим, що БПЛА не оснащені системою розпізнавання перешкод і відходу від зіткнень, крім того, багато моделей оснащено не цілком досконалими автопілотами.

Виконання зйомки із застосуванням БПЛА та супутникових технологій в свою чергу складаються з топографо-геодезичних і аерофотознімальних робіт, та поділяються на такі етапи (рис. 1.8) [13]:

- 1) збір інформації;
- 2) підготовчі роботи;
- 3) камеральні роботи.



Рисунок 1.8 – Етапи проведення зйомки з використанням БПЛА [13]

На першому етапі виконання подеревної зйомки виконується збір інформації на об’єкт геодезичних робіт. Під час виконання цього етапу збираються і аналізуються наявна документація із землеустрою, існуючі картографічні та топографічні дані.

Другий етап – підготовчі роботи, складається з польових геодезичних і аерофотознімальних робіт. До польових геодезичні роботи відносяться рекогностування місцевості та розвиток планово-висотного обґрунтування ділянки аерофотозйомки.

Польові аерофотознімальні роботи включають:

- створення проєкту польоту БПЛА;
- передполітна підготовка БПЛА;

- виконання зйомки БПЛА.

Увесь робочий процес проведення аерознімання з БПЛА складається з таких етапів [13]:

1. Перед початком аерознімальних робіт розраховують апріорну оцінку точності визначення просторових координат місцевості.

2. Перед запуском БПЛА потрібно: вибрати територію, де б він міг безперешкодно кобрувати і зробити глісаду. Це мала б бути ділянка розмірами 50×120 м із рівневою трав'яною або ґрунтовою поверхнею; визначити напрямок і швидкість вітру (при цьому треба враховувати, що напрямок і швидкість вітру біля поверхні землі і на робочій висоті аерознімання можуть відрізнятися); визначити напрямок запуску і глісади та переконатися у відсутності перешкод у цих напрямках.

3. Управління БПЛА та проєктування робіт виконується за допомогою польового контролера. Вибір камер для цілей аерознімання ґрунтується на аналізі таких характеристик:

- роздільної здатності знімків,
- фізичного розміру матриці,
- величини кута захоплення,
- ваги камери;
- вартість камери.

Для розрідженої планово-висотної прив'язки об'єкта знімання опознаками маркуються опорні та контрольні точки.

Камеральні роботи є третім заключним етапом, який складається з:

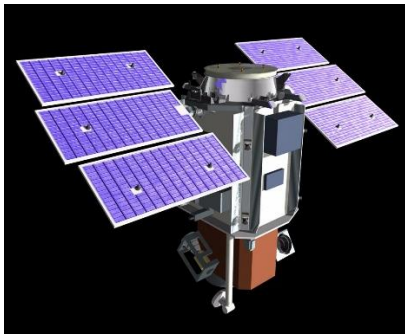
- обробки аерофотознімків;
- створення полігональної моделі місцевості;
- створення ортофотоплану;
- створення топографічного плану;
- рекогностування місцевості для уточнення даних;
- створення скорегованого топографічного плану.

Для створення великомасштабних планів (масштаб $1 : 5\,000$) використовуються також космічні знімки з просторовим розрізненням $0,61$ м у зйомці в надір і $0,66$ м при зйомці з відхиленням у 15° від надиру. Космічні знімки є кольорові та багатоспектральні. Багатоспектральність забезпечується панхроматичним каналом і мультиспектральним зображенням, яке складається з

чотирьох каналів – синій (0,45–0,520 мкм), зелений (0,52–0,60 мкм), червоний (0,63–0,69 мкм) та інфрачервоний (0,76–0,90 мкм) спектральний діапазон.

Під час топографічного картографування територій використовуються мультиспектральні оптико-механічні системи (сканерна зйомка) – сканери, встановлені на супутники. За допомогою сканерів формуються зображення, які складаються з окремих, послідовно отриманих елементів. Термін «сканування» означає розгортку зображення за допомогою скануючого елемента. Він поелементно переглядає місцевість упоперек руху носія і посиляє променевий потік у об'єктів і далі на точковий датчик, який перетворює світловий сигнал у електричний. Цей електричний сигнал потрапляє на приймальні станції по каналах зв'язку. Зображення місцевості становлять зі смуг-сканів, які складаються з окремих елементів – пікселів. Сканерне зображення отримується у всіх спектральних діапазонах, але частіше за все використовують видимий і інфрачервоний діапазони. При зйомці земної поверхні за допомогою скануючих систем формується зображення, кожному елементу якого відповідає яскравість випромінювання ділянки, яка знаходиться в межах миттєвого поля зору. Важливою характеристикою сканера є кут сканування і миттєвий кут зору, від значення якого залежить ширина смуги, що знімається, і просторова здатність. Залежно від значень цих кутів сканери поділяються на точні і оглядові. У точних сканерах кут сканування зменшують до $\pm 5^\circ$, а в оглядових навпаки збільшують до $\pm 50^\circ$. Просторова роздільна здатність обернено пропорційна ширині смуги, що знімається. У результаті сканерої зйомки отримуємо сканерне зображення, які частіше називаються космічними знімками.

Сьогодні доступні космічні знімки з високим просторовим розрізненням з космічних апаратів QuickBird (просторове розрізнення 0,61 м в панхроматичному та 2,44 м в мультиспектральному режимі), Ikonos (відповідно 1 та 4 м), Orbview-3 (1 та 4 м), Formosat-2 (2 та 8 м), Spot-5 (5 та 10 м), Alos (2,5 та 10 м), WorldView-1 (0,5 м в панхроматичному режимі), WorldView-2 (0,50 та 1,8 м), GeoEye-1 (0,41 та 1,65 м) (рис. 1.9). У таблиці 1.1 наведено характеристики найбільш відомих космічних апаратів, які виконують сканерну зйомку високої просторової здатності. Проте вищенаведені дані справедливі лише для ідеальних умов. В нормальних умовах за рахунок впливу турбулентності атмосфери, нахилу космічного апарату і приймача, зсуву зображень, залишкового дефокусування, дифракції та дискретності приймачів точність може бути меншою у 1,5–2 рази.



а



б



в

Рисунок 1.9 – Штучні супутники Землі:
а – QuickBird; б – Ikonos; в – Orbview-3

Таблиця 1.1 – Космічні апарати, що виконують сканерну зйомку високої просторової здатності (до 2 м включно)

Найменування космічного апарату	Країна	Дата запуску	Просторова здатність		Ширина смуги зйомки, км
			Чорно-біла зйомка, м	Мульти-спектральна зйомка, м	
IKONOS-2	США	24 вересня 1999 р.	1,0	4	11
EROS A	Ізраїль	05 грудня 2000 р.	1,8	-	14
QUICKBIRD-2	США	18 жовтня 2001 р.	0,6	2,4	16
ORBVVIEW-3	США	26 червня 2003 р.	1,0	4	8
FORMOSAT-2	Тайвань	20 квітня 2004 р.	2,0	8	24
EROS B	Ізраїль	21 квітня 2006 р.	0,7	-	7
KOMPSAT-2	Корея	01 липня 2006 р.	1,0	4	15
ORBVVIEW-5	США	16 березня 2007 р.	0,41	1,64	15
IRS Cartosat-2	Індія	01 липня 2007 р.	1,0	-	10
WORLDVIEW-1	США	01 липня 2007 р.	0,5	-	16
EROS C	Ізраїль	01 березня 2008 р.	0,7	2,5	16
Pleiades-1	Франція	01 березня 2008 р.	0,7	2,8	20
WORLDVIEW-2	США	01 липня 2008 р.	0,5	1,8	16
Pleiades-2	Франція	31 грудня 2008 р.	0,7	2,8	20

Також масштаби ортофотопланів, які можна створити за космічними знімками, залежать від багатьох чинників, серед них можна виділити: якість і кількість опорних точок, якість цифрових моделей рельєфу і місцевості, характеристики програмного за-безпечення, кваліфікацію виконавців. Причому всі ці фактори треба розглядати в сукупності. Наприклад, побудова карти масштабу 1 : 3000 за знімками QuickBird можлива тільки при використанні опорних точок і цифрових моделей з точністю не гірше 0,15 м.

Огляд наявних фотограмметричних програмних продуктів і їх основні характеристики наведено в [5]. До основних програмних комплексів для роботи з аерокосмічними знімками можна віднести: Erdas Imagine (розробник - корпорація Intergraph (США) [14]), ENVI (розробник – фірма ITT Visual Information Solutions (США) [15]), PCI Geomatica (розробник – фірма PCI Geomatics [16]), VirtuoZo (розробник – фірма SupreSoft Inc (Китай) [17]), TerrSet (перш IDRISI) (розробник – Clarc University (США) [18]), Leica Photogrammetry Suite (розробник – Leica Geosystems (Швейцарія) [19]), Pix4D [20], Agisoft [21]. При всіх наявних перевагах використання спеціального програмного забезпечення для роботи з даними аерокосмічної зйомки є і істотний недолік – це його висока вартість. Вирішити проблему можна при використанні спеціальних налаштувань сучасних багатоцільових геоінформаційних систем, що дозволяють працювати з космічними знімками. Однак, в цьому випадку необхідно купувати знімок, який вже піддався додатковій геометричній обробці, що, на нашу думку, приводить до збільшення вартості робіт [5].

Розроблено технологічну схему виконання робіт зі створення топографічних матеріалів із залученням космічних знімків, яка включає в себе такі етапи:

1. Оконтурення району робіт. Вибір оптимального типу знімків. Підготов-ка номенклатурного переліку та замовлення знімків.
2. Зведення, підготовка, сканування та просторова прив'язка відповідних великомасштабних картографічних матеріалів.
3. Побудова цифрової моделі рельєфу.
4. Радіометрична корекція матеріалів космічного знімання.
5. Геометрична корекція космічних знімків з використанням цифрової моделі рельєфу.
6. Створення мозаїки покриття району робіт.

7. Спектральна корекція. Покращення візуального сприйняття знімків.
8. Камеральне дешифрування та створення необхідних векторних шарів (векторизація контурів).
9. Вибір системи координат та топографічної проекції. Зведення отриманих матеріалів до єдиної інформаційної системи.
10. Генералізація. Підготовка додаткових даних для забезпечення швидкої та якісної візуалізації векторно-растрової основи на різних масштабних рівнях.
11. Вибір оптимального формату даних. Переведення результуючих даних у необхідний формат для подальшого залучення в геоінформаційну систему.

1.3 Похибки, які виникають при формуванні сканерних знімків

Сканерні знімки мають похибки. Джерела похибок космічних знімків згруповано у дві основні категорії – похибки і спотворення споживача та похибки і спотворення предмета спостереження [22] (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Похибки сканерних знімків

Першу категорію похибок і частково другу (крім топографічного ефекту) виправляють постачальники знімків, але випадкові похибки залишаються. Також в знімках існують суттєві викривлення, викликані рельєфом місцевості.

До випадкових помилок належать такі:

- помилки змазування, які проявляються в неоднозначне наведення марки,
- місцева і закономірна деформація зображення,
- обмеження роздільної здатності.

З математичної точки зору ступінь їх впливу на вимірювання виражається коваріаційними матрицями і дисперсіями.

1.4 Рівні попередньої обробки сканерних знімків

Найчастіше використовують космічні знімки зі супутників QuickBird, Ikonos і GeoEye-1, які мають декілька рівнів обробки – базовий рівень (Level 1 (Basic)), стандартний рівень (Level 2 (Standard, Standard Ortho Ready, Geo, Geo Ortho Kit)) і орторектифіковані зображення (Level 3 (Orthorectified, Reference, Pro, Precision, PrecisionPlus)). Основні характеристики кожного рівня і їх точність представлені у роботах [23–25].

Level 1 (Basic) – базовий рівень обробки – найменший рівень попередньої обробки. Включає радіометричну корекцію і корекцію спотворень датчика. Зображення не мають географічної прив'язки і не приведені до картографічної проекції. Космічні зображення базового рівня обробки поставляються разом з файлом даних підтримки зображення (ISD – Imagery Support Data), який містить: основні метада-ні зображення, просторові параметри, ефемериди і інформацію про модель камери. Використовуючи цей файл, користувач може виконати ортотрансформування зображення із застосуванням строгої моделі камери. Точність такого зображення становить 15–23 м.

Level 2 (Standard, Standard Ortho Ready, Geo, Geo Ortho Kit) – стандартний рівень обробки. Зображення стандартного рівня обробки піддаються додатковій геометричній корекції. Він не передбачає подальшого ортотрансформування користувачами.

Зображення після обробки може бути двох типів:

1. Standard, Geo – проведена геометрична корекція з метою виправлення впливу рельєфу, для чого використовується наближена цифрова модель рельєфу. В якості такої наближеної цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) для космічних знімків використовується модель GTOPO30 з розміром осередку 900 м, яка доступна для усієї поверхні Землі.

2. Standard Ortho Ready, Geo Ortho Kit – зображення приводиться до базової постійної висоти (середньої висоти знімальної ділянки) над еліпсоїдом, але при цьому не враховується ЦМР.

Точність зображень стандартного рівня обробки становить 23–50м.

Level 3 (Orthorectified, Reference, Pro, Precision, Precision Plus) – орторектифіковані зображення – готові до використання як джерело картографічної інфо-рмації. Виконується радіометрична, сенсорна, геометрична корекція, орторекти-фікація, приведення зображення до необхідної картографічної проекції і еліпсоїда. Точність орторектифікованих зображень залежить від точності координат опор-них точок, точності ЦМР і становить від 2–25м.

Вартість космічних знімків залежить від рівня попередньої обробки. Найбі-льшу вартість мають ректифіковані зображення (Orthorectified, Reference, Pro, Precision, PrecisionPlus), які вже є готовим продуктом. Дешевші (зображення базо-вого (Basic) і стандартного (Standart Ortho Ready, Geo Ortho Kit) рівнів обробки) вимагають додаткової геометричній корекції (ортотрансформірованія), для чого необхідно мати наземні опорні точки і цифрову модель рельєфу.

У зображення базового рівня (Standard, Geo) вже внесені поправки за рельєф, тому їх повторне трансформування з використанням цифрової моделі рельєфу буде некоректним. Це пов'язано з тим, що невідомо які саме значення поправок були внесені (використовувалася наближена розріджена цифрова модель рельєфу) і яким способом були отримані висоти всіх проміжних точок. Для таких зображень може бути визначена по опорних точках і виключена тільки систематична похибка.

Базовий рівень обробки космічних знімків практично не використовується через складність подальшої фотограмметричної обробки з використанням спеціального програмного забезпечення, а орторектифіковані зображення коштують на порядок дорожче, тому оптимальним варіантом для рішення задач землеустрою є архівні космічні знімки стандартного рівня попередньої обробки (Standart Ortho Ready, Geo Ortho Kit).

1.5 Наземне стереофотограмметричне знімання

Наземна стереофотограмметрична зйомка – спосіб вивчення і реєстрації форми, розмірів і просторового положення об'єктів по їх фотографічних

зображеннях, отриманих з точок земної поверхні [3, 4]. Принципова схема наземної стереофотограмметричної зйомки наведена на рисунку 1.11.

Види чи способи наземної стереофотограмметричної зйомки класифікуються залежно від розташування осей камери щодо базису.

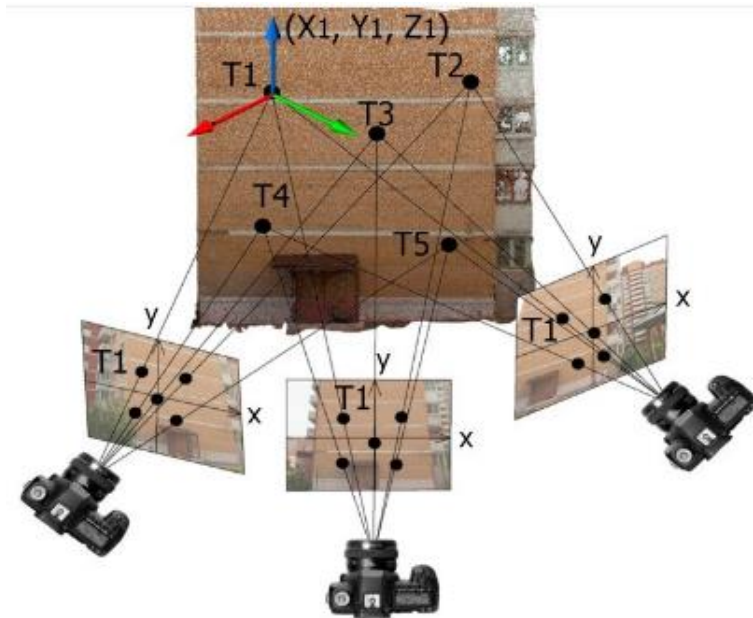


Рисунок 1.11 – Принципова схема наземної стереофотограмметричної зйомки

Способи класифікуються:

- зйомка з горизонтальним розташуванням осей зйомки
- зйомка з довільним розташуванням осей зйомки.

Перша група поділяється на три види:

- нормальна (рис. 1.12, а);
- рівновідхилена (рис. 1.12, б);
- конвергентна (рис. 1.12, в).

Під час зйомки протяжних об'єктів доцільно проводити маршрутну або блочну зйомку об'єкта.

При виборі схеми зйомки доводиться вирішувати три основні завдання:

1. Забезпечити задану точність визначення координат точок об'єкта при мінімальній кількості станцій фотографування (знімків). Для цього слід правильно вибрати відстання камери від об'єкта і величину базису фотографування.

2. Покрити зйомкою весь досліджуваний об'єкт, щоб були відсутні мертві зони (частини об'єкта, які не відобразилися на знімках).

3. Забезпечити дешифрування об'єктів зі знімків (можливість розпізнавання на знімках дрібних деталей об'єкта).

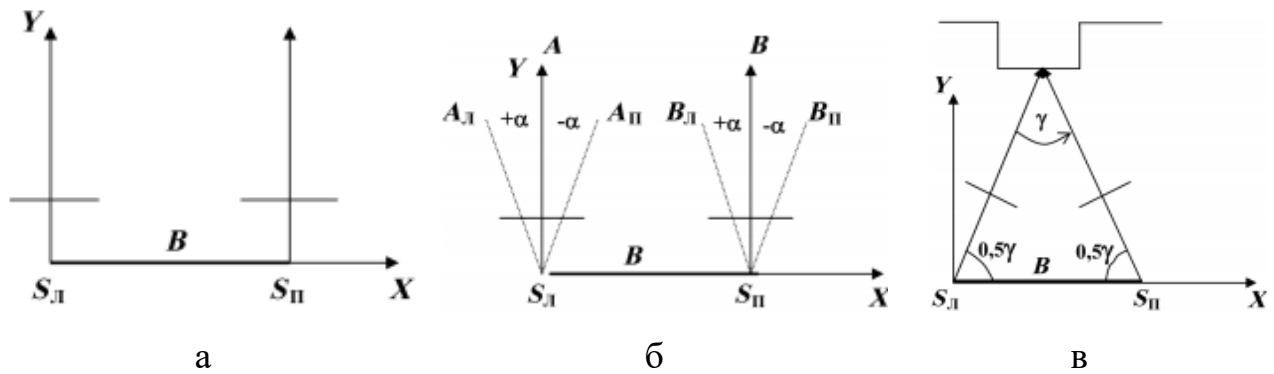


Рисунок 1.12 – Види наземної стереофотограмметричної зйомки:

а – нормальний; б – рівновідхилений; в – конвергентний

Для забезпечення заданої точності визначення координат точок об'єкта (m_x , m_y , m_z), необхідно розрахувати базис фотографування та максимальну відстань камери від об'єкта (рис. 1.13).

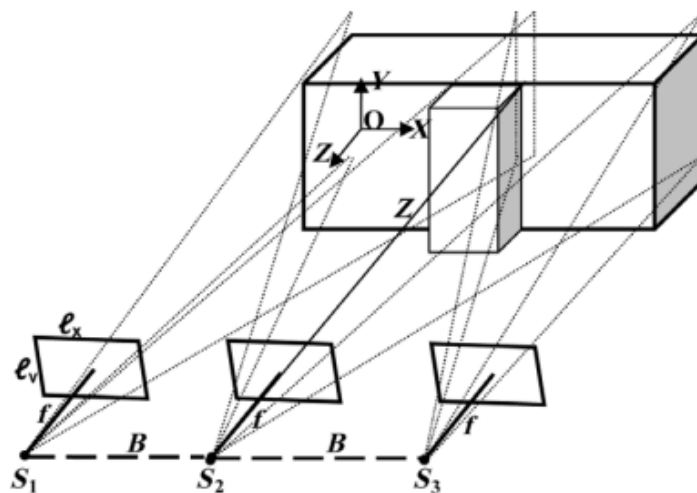


Рисунок 1.13 – Схема розміщення базисів фотографування відносно об'єкта

Спочатку обчислюють базис фотографування b у масштабі знімка, задаючись поздовжнім перекриттям P_x між знімками:

$$b = \frac{l_x(100\% - P_x)}{100\%},$$

де P_x – повздовжнє перекриття знімків;

l_x – формат знімка уздовж осі x .

Далі обчислюють максимальну відстань Z , при якій буде забезпечена задана точність визначення координат Z (вздовж оптичної осі камери) точок об'єкта, використовуючи формулу:

$$Z = \frac{b}{m_p} m_z,$$

де m_p – середня квадратична помилка вимірювання поздовжніх паралаксів по знімках;

m_z – середня квадратична помилка визначення координати Z точок.

Значення базису фотографування на місцевості обчислюють за формулою:

$$B = \frac{Z}{f} b,$$

де f – фокусна відстань камери.

Точність визначення координат m_x , m_y точок об'єкта буде вище, ніж m_z .

Для виконання зовнішнього орієнтування знімків необхідно виконати геодезичне обґрунтування. Як відомо, для одиночного знімка необхідно не менше трьох планово-висотних точок, а для моделі мінімальною кількістю є дві планово-висотних плюс одна висотна точка. Мінімальна кількість опорних точок дозволяє визначити елементи зовнішнього орієнтування без оцінки точності цього визначення. Тому рекомендується проводити надмірні виміри.

Опорні точки потрібно розташовувати рівномірно на фасаді і не на одній прямій. Найбільш доцільно опорні (контрольні) точки розташовувати на вертикальних та горизонтальних лініях щодо одна одної. Якщо об'єкт є одноманітною ділянкою без характерних контурів, то опорні точки необхідно маркувати, якщо виконується знімання об'єктів з великою кількістю характерних точок (деталей), то опорними точками можуть служити ці контури.

Координати опорних точок можна визначити різними способами.

При геодезичному визначенні координат можна використовувати тахеометричну зйомку з використанням тахеометрів з кутовою точністю 3–5" і прямими вимірюваннями, що забезпечують лінійну точність 1–2 см, в безвідбивному режимі або кутовими засічками, які дають точність порядку 1–2 мм.

Можна використовувати геодезичну рулетку. Нею можна виміряти відстані з точністю до 1–2 мм. У такому разі опорні точки повинні розташовуватися на споруді по вертикальних і горизонтальних лініях відносно один одного, причому всі точки, що вимірюються, повинні належати одній площині.

У всіх випадках, при визначенні опорних точок необхідно складати абрис.

1.6 Калібрування цифрових камер

Для виконання наземних фотограмметричних зйомок створено метричні цифрові фотокамери. У цих фотокамерах, як правило, об'єктив і світлоприймальна матриця жорстко укріплені на корпусі камери, забезпечуючи таким чином сталість елементів внутрішнього орієнтування камери. Елементи внутрішнього орієнтування цих фотокамер, включаючи параметри фотограмметричної дісторсії, визначають виробники.

Крім метричних фотокамер для фотограмметричних робіт можна використовувати аматорські та професійні цифрові фотокамери. Ці фотокамери повинні бути попередньо піддані процедурі фотограмметричного калібрування, в результаті якого визначаються елементи внутрішнього орієнтування фотокамери, включаючи параметри фотограмметричної дісторсії об'єктива фотокамери. Поправки dx і dy координати виміряних на знімку точок, що компенсують вплив фотограмметричної дісторсії об'єктива фотокамери, в загальному випадку описується різними рівняннями. Найбільш широко використовуються рівняння:

$$\begin{cases} d_x = x(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2 \\ d_y = y(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1 \end{cases}$$

де x , y – координати точок знімка;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти радіальної дисторсії;
 p_1, p_2 – коефіцієнти тангенціальної дисторсії;
 r – радіус-вектор розраховується за формулою:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2},$$

де x_0, y_0 – координати головної точки знімка.

Як показав практичний досвід фотограмметричного калібрування цифрових фотокамер, для опису фотограмметричної дісторсії в переважній більшості випадків достатньо обмежитися коефіцієнтами k_1 і k_2 . Фотограмметричне калібрування цифрових фотокамер проводиться за знімками просторового тест-об'єкта, який є просторовим полем маркованих точок. Одним з варіантів конструкції просторового тест-об'єкта [27–28] є тест-об'єкт, представлений на рисунку 1.14.

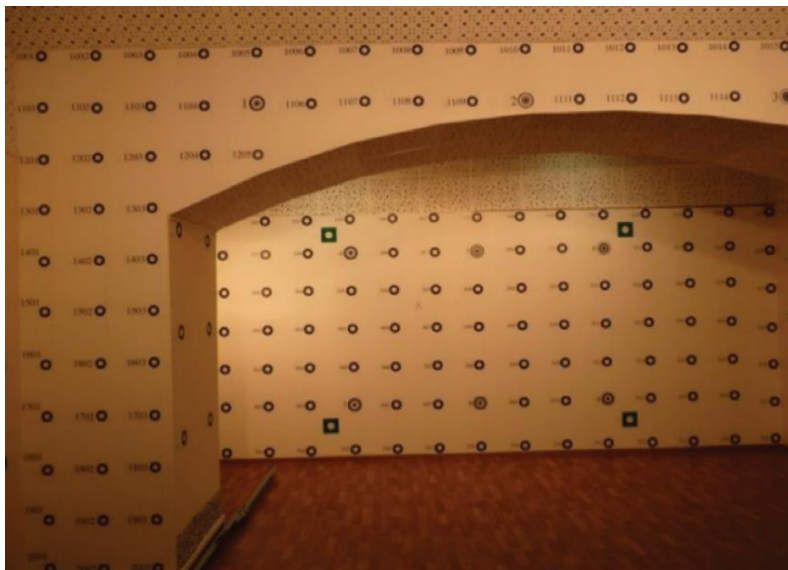


Рисунок 1.14 – Тест-об'єкт

Визначення просторових координат точок тест-об'єкта проводиться методом прямої геодезичної засічки за допомогою електронного тахеометра, що забезпечує вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів із середніми квадратичними похибками 3"–5". Визначення параметрів внутрішнього орієнтування фотокамер, тобто їх фотограмметричне калібрування за знімками просторового тест-об'єкта, засноване на спільному розв'язанні системи рівнянь

колінеарності, що складаються для кожного вимірюного на цифровому знімку зображення точки тест-об'єкта.

З метою підвищення надійності і точності визначення параметрів внутрішнього орієнтування камер, що калібруються, доцільно проводити зйомку тест-об'єкта багаторазово з поворотом камери в коло оптичної осі об'єктива на 180° і визначати шукані параметри в результаті спільної обробки вимірювань, виконаних за всіма отриманими знімками.

Критерієм оцінки точності проведеної фотограмметричної калібрування цифрової камери і, як наслідок, критерієм придатності камери для виконання фотограмметричних визначень є залишкові похибки координат вимірюваних на знімку точок. Їх значення в залежності від типу фотокамери, що калібрується, повинні бути в межах від 0,15 до 0,5 пікселя.

2 СУЧАСНІ АКТИВНІ МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

План

- 2.1 Радіолокаційна зйомка.
- 2.2 Геометричні спотворення радіолокаційних знімків.
- 2.3 Рівні обробки радарних знімків.
- 2.4 Інтерферометрична радіолокація.
- 2.5 Лазерне сканування.
- 2.6 Методика отримання та обробки даних лазерного сканування.

2.1 Радіолокаційна зйомка

Радіолокаційні системи (радари) реалізують активні методи реєстрації зображення. Встановлений на носії передавач випускає пучок мікрохвиль, хвилі відбиваються від поверхні і приймач отримує розсіяне випромінення у напрямку, чітко перпендикулярному до прямолінійної траєкторії руху носія. Унаслідок того, що об'єкти місцевості мають різні похилі дальності від носія, тому відбиті сигнали надходять до приймача у різний час. Зображення формуються за рядами знімка, а вздовж кадру розміщуються завдяки поступальному переміщенню

носія. Оскільки при цьому реєструються похилі дальності до об'єктів, то знімання безпосередньо під носієм не проводять.

Радіолокаційні системи мають певні переваги порівняно з іншими типами знімальних систем, зокрема: мікрохвилі радара можуть проходити крізь атмосферу вдень і вночі фактично за будь-яких погодних умов, забезпечуючи отримання даних навіть у тумані, під час дощу, снігопаду, в умовах хмарності й задимленості території. За деяких умов такі хвилі можуть проникати крізь земну поверхню, виявляючи неоднорідність ґрунтів.

Радіолокаційні сканери (далі – РЛС), що використовують з народногосподарською метою, працюють переважно в діапазоні ультракоротких довжин хвиль — від 0,8 до 30 см. Для дистанційного зондування використовують радіолокаційні системи, що працюють у так званих К-, Х- і L-діапазонах. Ці кодові позначення відповідають таким інтервалам довжин хвиль [1]:

- К-діапазон – 0,8–1,1 см;
- Х-діапазон – 2,4–3,8 см;
- L-діапазон – 15–30 см.

Напрямок коливань в імпульсі, що посиляється спрямованою антеною радіолокаційної системи, може бути зорієнтованим, зокрема вертикальним (В) або горизонтальним (Г). У цьому разі йдеться відповідно про В- або Г-поляризований сигнал. У разі досягнення земної поверхні поляризований сигнал відбивається від поверхні ґрунту, гірських порід, рослинності або води. Частина відбитого сигналу має ту саму поляризацію, що й випромінювальний сигнал, і антена радіолокаційної системи відповідно приймає однорідно поляризований сигнал (так звані ГГ- або ВВ-форми).

Можна проводити радіолокаційне знімання ГВ- чи ВГ-типу. За ГВ-типу передавальна антена посиляє сигнал з горизонтальною поляризацією, а приймальна приймає вертикально поляризовану радіолуну.

Кут падіння радіопроменя на земну поверхню має вирішальний вплив на взаємодію між поверхнею і падаючим радіосигналом.

Кут падіння електромагнітної хвилі відносно об'єкта спостереження – це кут від нормалі. Кут візування – це додатковий кут. Що менший кут падіння, то більша інтенсивність зворотного розсіювання. Надир – це кут поширення електромагнітної хвилі вертикально до поверхні. Кут від надира – це кут між

поширенням електромагнітної хвилі та надиром. Кут нахилу – це кут від горизонту.

Якщо поверхня рельєфу зорієнтована до антени, то велика частина потужності падаючого променя відбивається у напрямку антени. Якщо випромінювання падає перпендикулярно до поверхні, то коефіцієнт відбиття максимальний. Відповідно до нахилу і орієнтування у напрямку до антени схили, повернені до траєкторії польоту, на РЛ-знімку передаються від світлих до дуже світлих відтінків фототону. Ділянки, зорієнтовані в напрямку від антени, відбивають до неї набагато менше енергії. Вони передаються на РЛ-знімку сірим або темним фототоном. Ділянки, нахилені від антени під кутами, більшими за кут візування, зовсім не опромінюються радіовипроміненням. Відповідно вони не можуть його відбити і мають на РЛ-знімку абсолютно чорний фототон. Такі ділянки називають радіотінями. Розмір радіотіней залежить, з одного боку, від висоти польоту і висоти об'єкта, а з іншого – від співвідношення між кутом візування і відстанню від опромінюваної ділянки місцевості до траєкторії польоту. Довжина радіотіней збільшується в міру віддалення від траєкторії польоту (рис. 2.1).

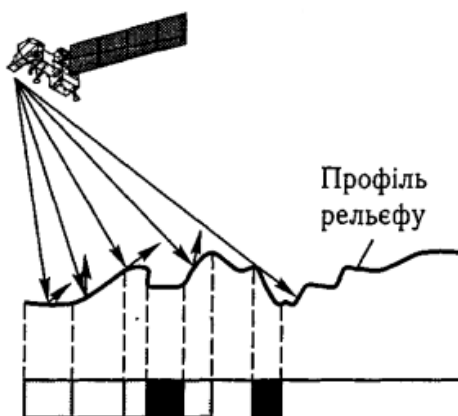


Рисунок 2.1 – Залежність фототону РЛ-знімка від нахилу та орієнтації схилу як аналогів освітленості [1]

Відмінності фототону РЛ-знімка, зумовлені морфологією рельєфу, добре передають характер місцевості, яку знімають.

У дистанційному зондуванні застосовують два типи радіолокаційних систем: знімальні радіолокаційні системи з реальною апертурою антени (РЛСБО, або некогерентні системи; SLAR – за англійською термінологією) і знімальні радіолокаційні системи із синтезованою апертурою антени (SAR – за

англійською термінологією, РЛСА – за українською). Останні засновані на хвильових фазових (когерентних) ефектах.

Радіолокаційні системи з реальною апертурою відносно прості. Вони не потребують складної обробки даних під час побудови зображення. Застосування їх обмежується відносно невисоким просторовим розрізненням. Системи із синтезованою апертурою дають змогу отримати високе просторове розрізнення незалежно від відстані між антеною та об'єктом. Проте отримання та обробка цих даних складна, тому для застосування систем із синтезованою апертурою витрачається більше коштів.

У радіолокаційній системі генератор створює електричні імпульси, які за допомогою передавача перетворюються на високочастотні радіолокаційні зондувальні сигнали. Такі сигнали випромінюються спрямованою антеною під час польоту носія на підстильну поверхню в напрямку, перпендикулярному до траєкторії польоту. Посланий з антени у вигляді променя сигнал характеризується довжиною хвилі, напрямком коливань (поляризацією) і тривалістю імпульсу (рис. 2.2).

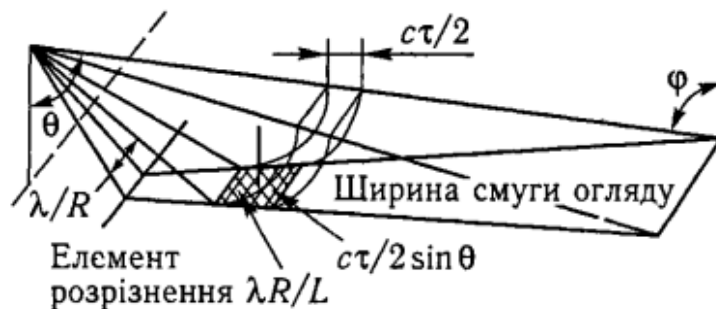


Рисунок 2.2 – Принципи і параметри радіолокаційних систем з реальною апертурою [1]:

c – швидкість світла; τ – тривалість імпульсу; λ – довжина хвилі;
 L – довжина антени; R – похила дальність; θ – кут візування;
 ϕ – кут падіння

Величина опромінюваної в кожний момент польоту площі (просторовий елемент розрізнення) визначається в поперечному до польоту напрямку або у напрямку опромінювання тривалістю імпульсу. У напрямку польоту (азимутальний напрямок) – шириною діаграми спрямованості і фізичною довжиною антени (її апертурою) L . Розміщена в межах елемента розрізнення

матеріальна поверхня відображує зондувальне радіолокаційне випромінювання дифузно або дзеркально і спрямовує більшу або меншу частину падаючої енергії назад у напрямку антени.

Відстань між об'єктами на РЛ-знімку (пропорційна відстані на поверхні Землі) за описаного виду реєстрації знімальних даних визначається різницею в часі повернення відбитих ними сигналів на антену. Ця різниця функціонально пов'язана з відстанню між антенною і об'єктом, що позначається як «похила дальність».

Просторове розрізнення систем РЛСБО з реальною апертурою різне у напрямку опромінювання (по нормалі до лінії польоту) і у напрямку польоту (азимутальний напрямок). Розмір опромінюваної у момент знімання ділянки на Землі в поперечному до польоту напрямку визначається тривалістю імпульсу посланого мікрохвильового випромінювання, а у напрямку польоту – горизонтальною шириною радіопроменя (апертурою антени). Теоретично поперечне розрізнення в полі зору радіолокатора становить добуток половини тривалості імпульсу на швидкість світла ($ct/2$), оскільки імпульс проходить відстань від антени до об'єкта туди і назад.

У напрямку польоту (або в азимутальному напрямку) ширина елемента розрізнення визначається шириною радіопроменя. Ширина радіопроменя обернено пропорційна довжині антени (її реальній апертурі). Довші антени дають краще розрізнення. Кут розкриття пучка випромінюваної енергії прямо пропорційний також довжині хвилі випромінювання, тому азимутальне розрізнення вище для короткохвильового випромінювання.

Радіолокатор із синтезованою апертурою (далі – РСА) – це активний давач дистанційного зондування з бічним оглядом, розміщений на борту носія. Радіолокатор підсвічує підстильну поверхню для отримання у відповідь сигналу на вході приймального пристрою, тому є активним давачем.

РЛС із синтезованою апертурою антени нині найбільше застосовувані. Формування синтезованої апертури – це складна фазова обробка сигналу, який приймається від рухомих об'єктів за допомогою антени невеликих розмірів. При цьому ефект фазової обробки сигналу теоретично зведений до ефекту антени великих розмірів, яка має синтезовану довжину апертури.

Принцип дії заснований на використанні переміщення бортової антени РЛС для послідовного формування антенної ґратки великих розмірів на

траєкторії польоту. В кожній точці траєкторії польоту носій РСА формує цілком визначену амплітудну і фазову інформацію про ділянки місцевості, що проглядаються, і об'єктів на ній. Ця інформація відповідає миттєвим значенням їхніх поточних координат відносно супутника. Зазвичай інформація виокремлюється із сукупності прийнятих імпульсних радіосигналів за допомогою спеціальних фазових детекторів і фіксується в пристрої пам'яті. Потім її обробляють і аналізують

Під час польоту об'єкт опромінюється з багатьох наступних позицій у межах «пелюстки» радіоантени, що зміщується, і відбиті від нього імпульси енергії приймаються радіоантеною також з багатьох наступних позицій.

Прийняті приймачем системи РЛСА радіовідбиття реєструються разом із даними про зміни їх частоти і фази.

2.2 Геометричні спотворення радіолокаційних знімків

У радіолокаційних знімках є похибки і спотворення, які залежать від геометричних особливостей зображень та коливання просторового положення знімальної платформи (літака або супутника). Крім того, на РЛ-знімках є спотворення, зумовлені характером рельєфу, насамперед під час інтерпретації знімків гірських районів.

У зв'язку з особливостями побудови РЛ-знімків та їх внутрішньою геометрією насамперед потрібно розглянути так званий ефект радарної «доріжки», який зумовлює спотворення у знімках ділянок з рельєфом середньої і сильної розчленованості. При цьому відбиті від наземних об'єктів сигнали досягають приймальної антени станції радіолокації в порядку випромінювання. Проте, як зображено на рисунку 2.3, у районах з високими горами і крутими схилами може статися ситуація, коли випромінюваний антеною сигнал досягатиме вершини схилу раніше, ніж підніжжя.

Ефект радарної «доріжки» є функцією похилої дальності (тобто відстані між антеною і наземним об'єктом), кута падіння і кута нахилу. Зумовлені ними спотворення в ближній зоні знімальної смуги вищі, ніж у середній.

Схили, нахилені до антени, порівняно зі схилами, спрямованими від неї, передаються на РЛ-знімку в «стислому вигляді».

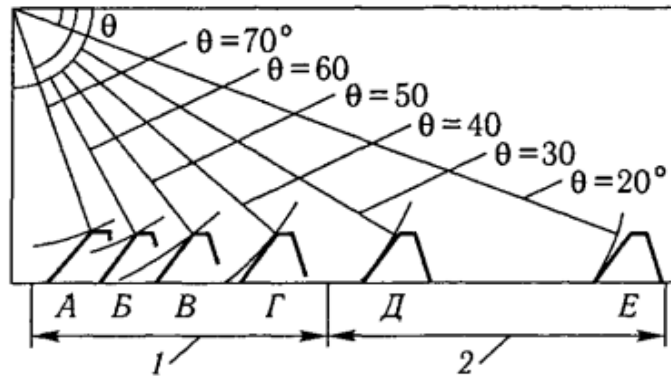


Рисунок 2.3 – Радарна «доріжка» як функція кута візування [1]:

1 – радарна «доріжка» (вершина схилу опромінюється і картується раніше, ніж основна); 2 – відсутність радарної «доріжки» (основа схилу опромінюється і картується раніше, ніж вершина)

Як впливає з рисунку 2.4, часовий інтервал $a'b'$ протягом якого приймається відбиття від схилу ab , відносно коротший, ніж часовий інтервал $b'v'$ незважаючи на те, що обидва схили мають однакову довжину. Тому спрямовані до антени схили здаються на РЛ-знімку укороченими.

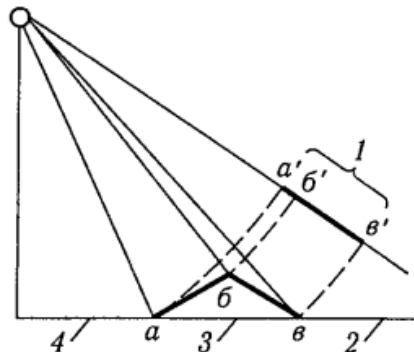


Рисунок 2.4 – Перспективне укорочення схилу ab , яке передається на РЛ-знімку в укороченому $a'b'$ вигляді [1]:

1 – РЛ-знімок; 2 – дальня зона; 3 – схил гори; 4 – ближня зона

У гірських районах є ділянки, яких радіохвилі не досягають і від яких не може відбитися енергія сигналу внаслідок прямолінійності поширення радіолокаційних імпульсів. Такі ділянки на РЛ-знімку виглядають чорними, їх називають радіотінями. Затінені ділянки відмічаються на спрямованих від антени схилах гір. У районах з дуже різким розчленуванням рельєфу радіотіні можуть відмічатися і на похилених до антени схилах. Із рисунка 2.5 випливає,

що величина радіотіней залежить від кута візування, висоти польоту та висоти об'єкта знімання і збільшується від ближньої до дальньої зон знімка.



Рисунок 2.5 – Радіотіні як функція висоти польоту і кута візування [1]

Для того щоб отримати оптимальну і постійну якість знімків, потрібно за можливості точно витримувати заплановані траси, висоту і швидкість польотів. Горизонтальні відхилення від розрахункових позицій зумовлюють нелінійні масштабні спотворення знімка. Обертання знімальної платформи навколо горизонтальних осей (крен і тангаж) і навколо вертикальної осі (рискання на курсі) призводять до відхилень радіолокаційної антени від її ідеального положення. Повороти вздовж поздовжньої осі носія (крен) зумовлюють зміни розподілу енергії всередині зондувального радіопроменя.

Вплив бокового зміщення з курсу, випадкових рухів літака, змін швидкості й курсу на якість РЛ-знімків зображено на рисунку 2.6.

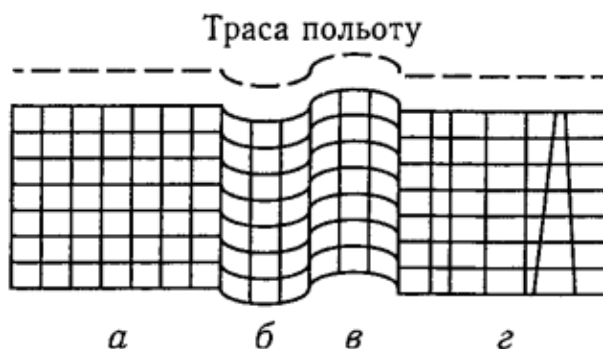


Рисунок 2.6 – Геометричні спотворення РЛ-знімків, зумовлені рухами знімальної платформи [1]:

а – ідеальне картографічне передавання; б – відхилення від курсу;

в – відхилення за тангажем і зміною швидкості польоту;

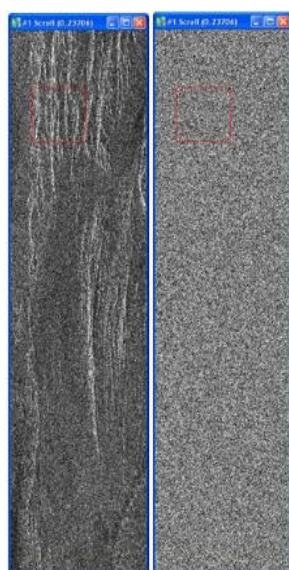
г – зміщення з напрямку польоту

Оскільки невеликих змін курсу і випадкових, зумовлених турбулентними рухами атмосфери, переміщень літака жодним чином неможливо уникнути, то РЛ-знімки мають великі або менші спотворення, координатні і масштабні зміни. Щоб зменшити похибки, пов'язані зі змінами курсу, знімальні літаки обладнують інерційними навігаційними системами.

2.3 Рівні обробки радарних знімків

Перший рівень обробки радарних знімків має назву «Сирі», не сфокусовані дані. Перехід від сирих даних до наступного рівня обробки називається фокусуванням (так як використовується принцип синтезування апертури, то кожен «елемент» поверхні дає багаторазові відбиття, при даній обробці ці відбиття фокусуються в одне значення, таким чином здійснюється перехід до наступного рівня обробки даних – SLC) . Робота з «сирими» даними може здійснюватися тільки в спеціалізованому програмному забезпеченні.

Другий рівень – це SLC (single look complex) – радіолокаційний знімок в комплексному вигляді, тобто зображення має два шари: перший – амплітудна інформація сигналу (по суті, зображення поверхні), другий – фазова інформація (по фазі визначається віддаленість від сенсора до конкретної точки поверхні) (рис. 2.7). Зображення в SLC форматі представляється в системі координат знімка, воно досить сильно деформоване через специфічної геометрії зйомки.



амплітуда фаза

Рисунок 2.7 – Радіолокаційний знімок в комплексному вигляді

Для даного рівня обробки «амплітудне зображення» (рис. 2.7) не поставляється фазовий шар, тобто отримуємо тільки знімок поверхні в радіодіапазоні. Зображення також знаходиться в системі координат знімка (географічної прив'язки немає). Перехід від SLC до даного типу здійснюється за допомогою усереднення значень по азимуту і дальності, для того щоб приблизно привести розмір пікселя до квадратному.

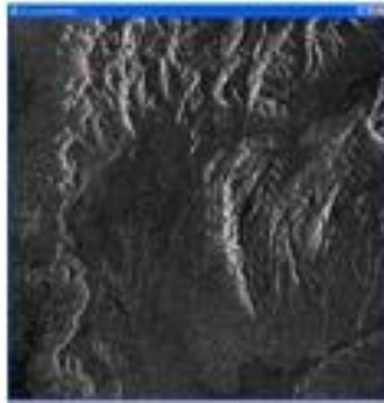


Рисунок 2.7 – Амплітудне зображення

Наступним рівнем обробки радіолокаційних даних є геокодоване зображення (рис. 2.8) – знімок земної поверхні, що має координатну прив'язку в заданій системі координат. Для даного рівня обробки характерна наявність геометричних спотворень, викликаних тим, що зйомка проводиться зі значним відхиленням від надира.

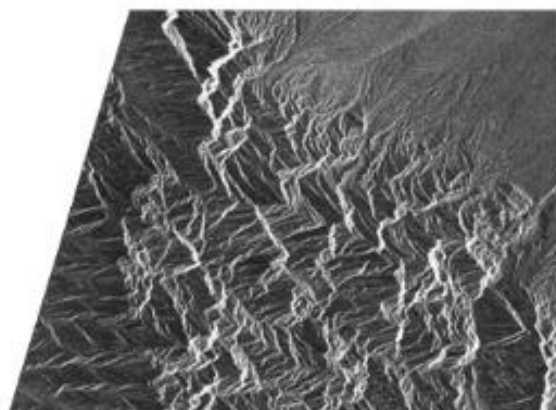


Рисунок 2.8 – Геокодоване зображення

Готовим для використання кінцевими користувачами є ортотрансформоване зображення (рис. 2.9) – знімок земної поверхні, що має

координатну прив'язку в заданій системі координат, для якого усунуті геометричні спотворення. Для виконання ортотрансформірованія необхідна цифрова модель рельєфа (далі – ЦМР).

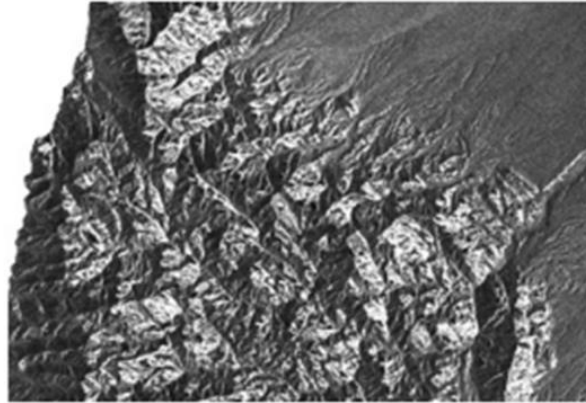


Рисунок 2.9 – Ортотрансформоване зображення

2.4 Інтерферометрична радіолокація

Для того щоб отримати стереоскопічне зображення рельєфу за двома РЛ-знімками, потрібне їх взаємне просторове перекриття. Крім того, мають бути прирівняні якість, освітлення об'єктів, фотофон і структура обох зображень. У цих аспектах якість стереопар визначають за такими основними параметрами: кутом візування, кутом розкриття радіопроменя і типом території.

Радіолокація із синтезованою апертурою фіксує амплітуду і фазу відбитого сигналу. Одне зображення, отримане за допомогою РСА, в більшості випадків не має практичного значення, тоді як два знімки РСА (інтерференційна пара), отримані під різними кутами, можуть бути використані для отримання цифрової моделі рельєфу, яка може дати інформацію про зміни ландшафту і поліпшити розрізнення (рис. 2.10).

Різниця фаз (інтерферометрична фаза) між двома відповідними точками на інтерференційній парі пропорційна різниці ходу $2\Delta r_0$ (коефіцієнт 2 вказує на подвійне проходження шляху хвилями) і дорівнює

$$4 \frac{\pi}{\lambda} \Delta r_0$$

де λ – довжина випромінюваної хвилі.

Різниця ходу хвилі Δr_0 набагато більша, ніж довжина хвилі (на практиці відмінність у відстані від супутника може бути близько кількох сотень метрів, тоді як довжина хвилі, що використовується, має довжину кілька сантиметрів), і різниця фаз може інтерпретуватися двозначно.

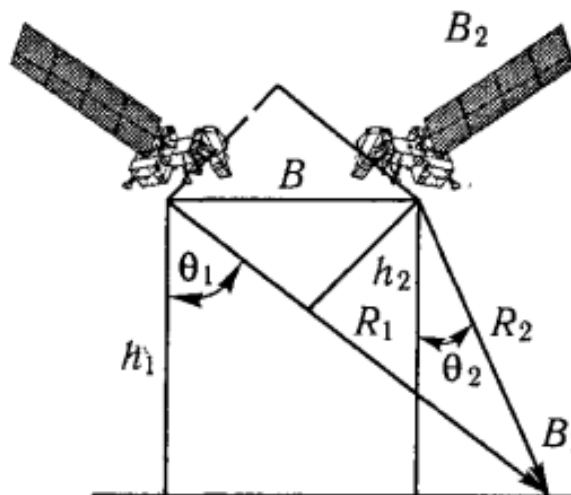


Рисунок 2.10 – Схема космічного знімання інтерферометричної пари зображень [1]:

h_1 і h_2 – висота радіолокатора; R_1 і R_2 – дальність (шлях зондувальної хвилі); θ_1 і θ_2 – кути між дальністю і висотою; B_1 і B_2 – перпендикулярна і паралельна складові базової лінії; B – результуюча базова лінія

Положення двох сенсорів PCA (S_1 і S_2) та їх паралельний B_r і нормальний B_n зсуви відносно лінії спостереження зображено на рисунку 2.11.

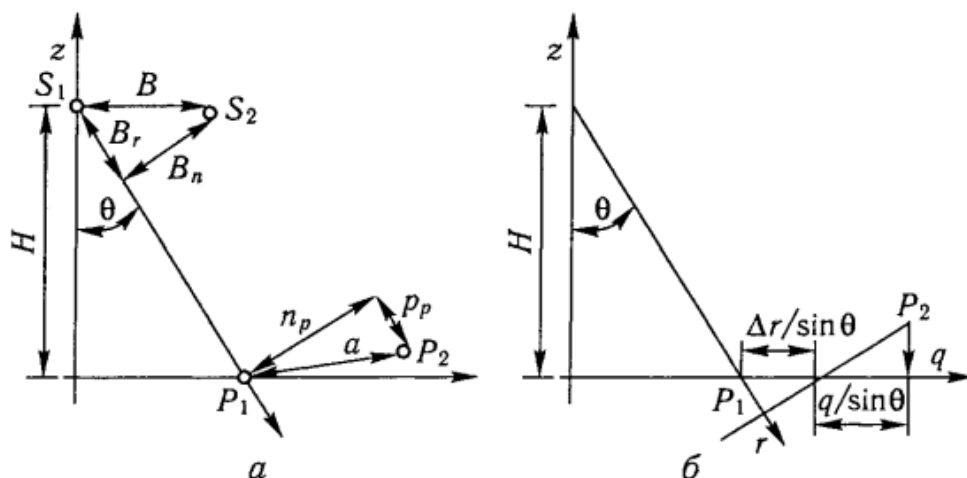


Рисунок 2.11 – Зсуви інтерферометричної фази відносно лінії спостереження: а – паралельний; б – нормальний

Також на рисунку зафіксовано розміщення двох точок ділянки і їх зсуви, нормальний n_p і паралельний p_p відносно лінії спостереження. Основним вважатимемо положення S_1 з відповідною точкою P_1 з відстанню між ними Δr_0 . Змінюючи його положення, відстань між ділянкою поверхні й давачем зміниться:

$$r = \sqrt{(r_0 + r_p - B_r)^2 + (n_p - B_n)^2}.$$

У нашому випадку, коли відстань між двома антенами S_1 і S_2 незначна порівняно з r_0 , можна записувати зміни інтерферометричної фази в наближенні:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta(\Delta r_0) = \frac{4\pi B_n n_p}{\lambda r_0}.$$

З цього результату випливає, що якщо відомо відносний зсув двох орбіт, нормальних до лінії спостереження B_n , відстань r_0 і довжину хвилі, що використовується під час локації, то величина $\Delta\varphi$ залежить лише від n_p . Отже, інтерференційне зображення фази є картою відносного підвищення ландшафту відносно лінії спостереження, яке можна записати у вигляді:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi B_n \varphi}{\lambda r_0 \sin\theta} = 2\pi \frac{q}{q_0},$$

де $q = \Delta z$ – відносне підвищення; $q_0 = 2B_n / (\lambda r_0 \sin\theta)$.

Інтерферометричну фазу можна знайти в інтервалі від $-p_i$ до p_i , але її дійсна величина може виходити за ці межі. Розгортка фази дає змогу відновити істинне її значення за допомогою додавання або віднімання кратного $2p_i$ числа до фази $\Delta\varphi$ так, щоб зробити відповідну фазову картину максимально гладенькою. Розгортку фази нескладно виконувати для ділянок поверхні з високою когерентністю. Часто алгоритми розгортки залишають «отвори», де вони не можуть визначити фактичну фазу, але ця операція дає можливість отримати досить точне уявлення про топографію поверхні.

З рисунку 2.11, б випливає, що горизонтальне положення точок відносно початкової точки відліку залежить від координат та їх підвищення відносно

початкового рівня. Прості геометричні міркування дають змогу знайти між ними зв'язок:

$$y(r, q) = \frac{\Delta r}{\sin 0} + \frac{q(r)}{\operatorname{tg} 0}.$$

За допомогою цієї функції будують так звану цифрову модель рельєфу (Digital Elevation Model) . Для її побудови також застосовують кореляційні функції, що описують вплив атмосфери, і температурні ефекти.

2.5 Лазерне сканування

Лазерне 3D сканування (далі – ЛС) — знімальна система, яка вимірює відстань від сканера до точок об'єкта з досить високою швидкістю і реєструє відповідні напрями з подальшим створенням тривимірного зображення в контурі хмари точок.

Вихідний матеріал повітряного лазерного сканування:

1. Лазерно-локаційне зображення в далекомірної формі Далекомірна форма подання лазерно-локаційної зображення відповідає розподілу в заданому координатному просторі тривимірної хмари лазерних точок з просторовими координатами X, Y, Z. Розподіл лазерних точок утворює просторовий образ об'єкта зйомки, який доступний візуальному аналізу, проведенню просторових вимірів і застосування обчислювальних методів геоморфологічного аналізу.

2. Лазерно-локаційне зображення у формі інтенсивності Сучасні сканери – лідари – здатні реєструвати крім просторових координат ще й енергію імпульсу відображення – інтенсивність відбиття – I. Лазерно-локаційних зображення у формі інтенсивності за своїми інформаційними властивостями надзвичайно близькі до природних чорно-білих фотографій (аерофотознімки у разі повітряного застосування), що дозволяє успішно використовувати їх для цілей візуального розпізнавання об'єктів і камерального дешифрування навіть без залучення традиційних аерофотознімальних даних. Кожне вимірювання проводиться в певний момент часу, відтак ще однією координатою може служити значення t – час реєстрації лазерної точки.

Таким чином, вихідним матеріалом повітряного лазерного сканування є хмара точок, кожна точка якого володіє п'ятьма координатами: 3 просторових – X, Y, Z ; інтенсивність – I і час реєстрації – t (рис. 2.12).

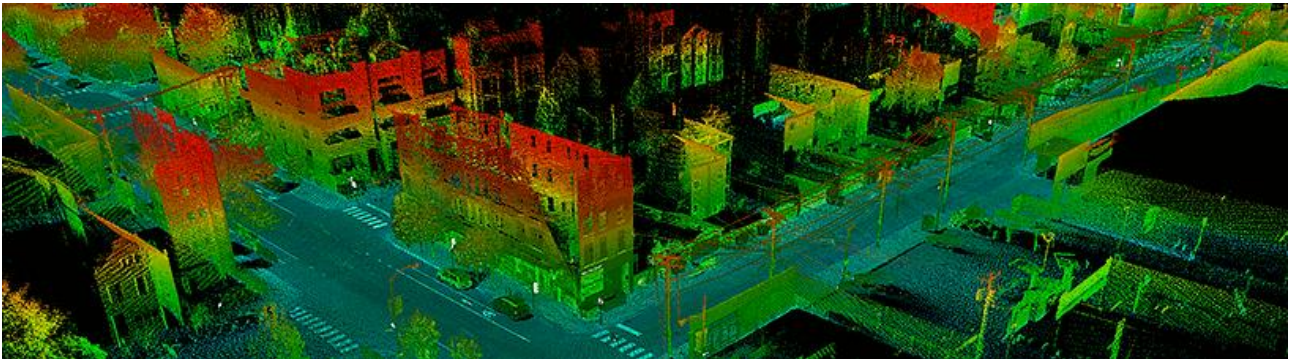


Рисунок 2.12 – Хмара точок

За принципом розташування обладнання для ЛС, сканери поділяються на три види (рис. 2.13):

- наземні системи лазерного сканування;
- повітряні системи лазерного сканування;
- мобільні системи лазерного сканування.



а



б



в

Рисунок 2.13 – Види лазерного сканування за принципом розташування обладнання:

а – наземне ЛС; б – повітряне ЛС; в – мобільне ЛС

При наземному лазерному скануванні (далі – НЛС) зйомка виконується з наземних об'єктів або з ґрунту в дискретному режимі (з перестановкою приладу). Технологія наземного ЛС використовується для отримання детальних

3D-моделей об'єктів, фасадних планів, топографічних планів місцевості масштабу 1:500. Наземний лазерний сканер дозволяє відзняти об'єкти розміром до 0,5–2 см з точністю до 0,1–1 мм. Наземне ЛС може вестися в будь-який час доби. Продуктивність – від 1 000–4 000 м² при зйомці фасадів в масштабі 1 : 50, до 4–20 гектарів при зйомці топографічних планів масштабу 1 : 500. Недоліком методу можна вважати низьку продуктивність.

Завдання, які вирішуються:

- створення високоточних тривимірних моделей промислових об'єктів для включення їх в корпоративні системи управління;
- ведення будівництва і контроль;
- оперативний моніторинг особливо важливих об'єктів і небезпечних ділянок;
- розрахунок обсягів переміщеного ґрунту, зрушень схилів та інше.

При повітряному лазерному скануванні (далі – ПЛС) зйомка ведеться в безперервному режимі, особливо ефективна для малообжитих територій.

Повітряне ЛС застосовується для високоточного картографування лінійних і площадних об'єктів в масштабах 1 : 500–1 : 5 000 з повітряних носіїв (літак, вертоліт або безпілотний літальний апарат). Точність – 5–8 см, детальність відтворення – 20–50 см, продуктивність – до 800 погонних км зйомок в день (ширина смуги зйомки до 1 000–1 500 м). Для виконання зйомок цим методом потрібно вкрай мала кількість наземних робіт, що робить його незамінним в незаселеній місцевості або на небезпечних об'єктах.

Недоліком можна вважати низьку деталізацію при зйомці вертикальних площин (наприклад, стін).

Завдання, які вирішуються:

- створення і оновлення топографічних планів 1 : 500–1 : 5 000;
- дешифрування зон розвитку небезпечних геологічних процесів;
- моніторинг об'єктів.

При мобільному лазерному скануванні (далі – МЛС) зйомка виконується з наземного або водного носія в безперервному режимі. Метод допускає обмежене короткочасне перебування в закритих середовищах (проїзд під мостами, короткі тунелі). Мобільне ЛС ідеально підходить для міських територій.

Технологія застосовується для масованого картографування і 3D моделювання лінійних інфраструктурних об'єктів (автомобільні дороги і

залізниці, лінії електропередачі, вулиці міст), площадних об'єктів складної структури і високої детальності (населені пункти, розв'язки та естакади в кілька рівнів, скелясті береги, нижні б'єфи гребель (з плавзасобів) тощо. Точність – 5–8 см, детальність відтворення – 1–5 см, продуктивність – до 500 погонних км зйомок в день (ширина смуги зйомки – 50–250 м).

Недоліки: недоступність для зйомки даху об'єктів, об'єкти поруч з носієм (паркани, кущі) можуть бути перешкодою.

Завдання, які вирішуються:

- створення тривимірних моделей великих промислово-територіальних комплексів;
- створення профілів і планів доріг.

2.6 Методика отримання та обробки даних лазерного сканування

Весь процес створення 3D-моделі чи 2D-креслень включає в себе три етапи. Польовий етап лазерного сканування складається з таких робіт:

1. Розміщення на місцевості елементів реєстрації сканів. При проведенні НЛС утворюють декілька станцій стояння приладу, з яких 3D-сканер виконує вимірювання. В подальшому всі ці станції сканування мають звестися в одну систему координат, що дозволить відсканований об'єкт відобразити у вигляді єдиної точкової моделі. Для зшиття сканів використовувалися плоскі марки та кулі діаметру 140 мм. Ці елементи розміщуються таким чином, щоб на кожному скані було як мінімум 3 елементи реєстрації. Протягом усього процесу знімання вони не переміщуються.

2. Координування плоских марок за допомогою GNSS-приймачів та тахеометра. Для представлення точкових даних у певній системі координат, виконується координування опорних точок за допомогою тахеометра чи GNSS-приймачів.

3. Знімання місцевості за допомогою лазерного сканера.

Великі виробники лазерних сканерів (Leica, Faro, Riegl, Trimble), як правило, випускають не тільки обладнання, а й програмне забезпечення для передачі, перегляду і обробки даних, отриманих зі сканерів. Здебільшого таке програмне забезпечення вирішує стандартні завдання управління даними ЛС (імпорт, експорт), дозволяє переглядати отримані дані, а також виконувати їх

первинну обробку: реєстрацію, вирівнювання, фільтрацію і побудову поверхонь. Отримані хмари і поверхні потім можуть бути експортовані в загальноприйнятні формати обміну даними (LAS, XYZ та ін.) і передані для подальшої обробки в інші програми.

На різних етапах обробки даних ЛС необхідне певне програмне забезпечення [29]:

1. Сканування в польових умовах – мобільний додаток Cyclone Field 360.

На першому етапі в польових умовах використовувався додаток Cyclone Field 360 для управління сканером, процесом сканування і установки налаштувань для виконання сканування з мобільного пристрою. Алгоритм взаємозв'язків при використанні програмного забезпечення в польових і камеральних (офісних) умовах показаний на рисунку 2.14.

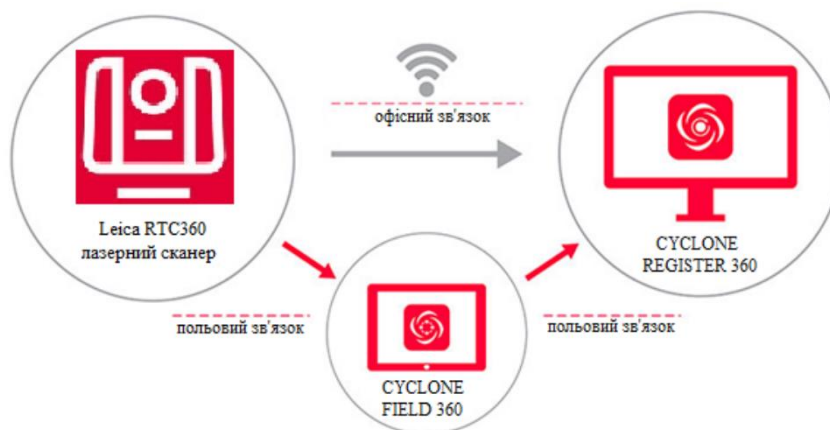


Рисунок 2.14 – Алгоритм взаємозв'язків при використанні програмного забезпечення в польових і камеральних (офісних) умовах

Для Leica RTC 360 використовується програмне забезпечення, яке встановлюється на Apple iPad, називається Cyclone Field 360. Воно призначене для автоматичної реєстрації даних в польових умовах, при цьому лазерний сканер Leica RTC 360 працює з досить високою точністю, яка може бути перевірена відразу на об'єкті [30]. На рисунку 2.15 показаний приклад відображення даних в програмному забезпеченні Cyclone Field 360.

2. «Зшивання» окремих хмар точок в єдину точкову модель – Cyclone Register 360.

Програмне забезпечення Cyclone Register і оновлення Register 360, що вийшло у 2017 році – це модулі, призначені для реєстрації, тобто «зшивання»

хмар точок, знятих з декількох станцій сканування, в єдину хмару точок в заданій системі координат.



Рисунок 2.15 – Приклад відображення даних в програмному забезпеченні Cyclone Field 360

3. Обробка хмари точок – Cyclone Model.

Leica Cyclone Model має найбільший, повний і автоматизований набір інструментів для точного моделювання 3D хмари точок для машинобудування, геодезії, будівництва, архітектури та інші.

4. Створення топографічного плану – AutoCAD.

AutoCAD – це програмний пакет, розроблений компанією Autodesk. Функції програмного пакета орієнтовані на проектну частину в ракурсі внутрішньої комунікації: опалення, електромережі, вентиляція приміщень тощо. Спочатку програмне забезпечення розробляє креслення у 2D-форматі (наприклад, план, фрагмент, проект), а потім, на основі двомірного зображення, програма створює 3D-модель.

5. Створення 3D моделі – Revit.

Autodesk Revit, або просто Revit – програмний комплекс для автоматизованого проектування, який реалізує принцип інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM). Призначений для архітекторів, проектувальників несучих конструкцій та інженерних систем. Надає можливості тривимірного моделювання елементів будівлі і плоского креслення елементів оформлення, створення призначених для користувача

об'єктів, організації спільної роботи над проектом, починаючи від концепції і закінчуючи випуском робочих креслень і специфікацій [31].

На рисунку 2.15 зображена методика польових експериментальних досліджень та камеральної обробки даних лазерного сканування.

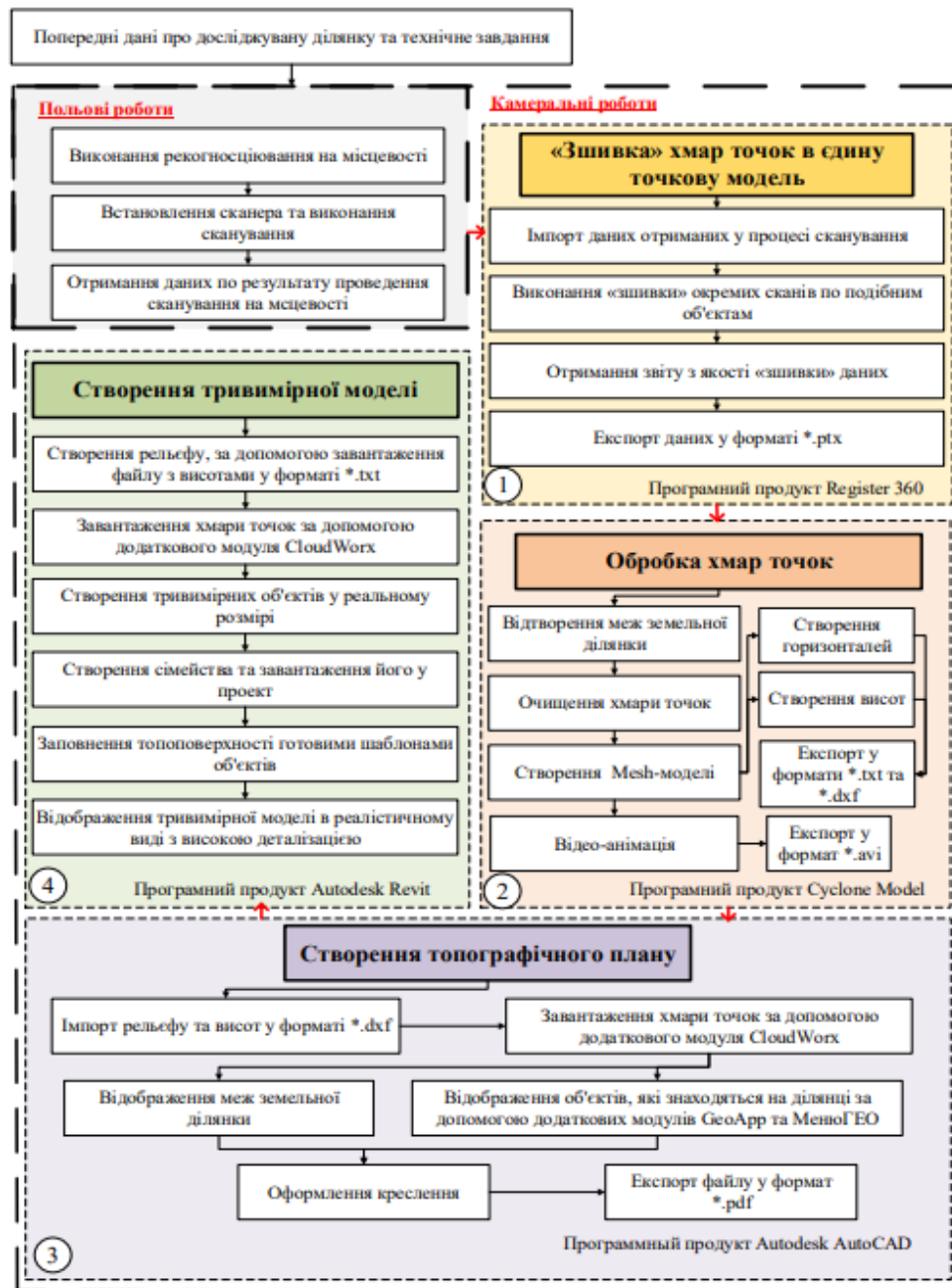


Рисунок 3.2 – Методика польових експериментальних досліджень та камеральної обробки даних лазерного сканування

Для початку були визначені вихідні (попередні) дані про досліджувану земельну ділянку та задачі, які необхідно було виконати по технічному завданню.

На наступному етапі виконувалися польові роботи безпосередньо на земельній ділянці щодо збору даних за допомогою технології ЛС, а саме проводилася рекогносцировка на місцевості для визначення точок (станцій) стояння сканера та отримані дані за результатами проведення зйомки.

Завершальним етапом являлося проведення камеральних робіт в офісних умовах. На цьому етапі виконувалася «зшивка» хмар точок, їх обробка та створення Mesh-моделі. Далі за результатами обробки створюється топографічний план місцевості та тривимірна модель земельної ділянки.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

МЕТОДИ ФОТОГРАММЕТРИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

3 ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

План

3.1 Загальна характеристика цифрової обробки даних дистанційного зондування Землі.

3.2 Способи обробки зображень.

3.3 Поелемента обробка зображень.

3.4 Перетворення гістограм, еквалізація.

3.5 Методи стискання зображень.

3.6 Радіометрична корекція знімків.

3.1 Загальна характеристика цифрової обробки даних дистанційного зондування Землі

Методи дистанційного зондування ґрунтуються на реєстрації в аналоговій або цифровій формі відбитого або власного електромагнітного випромінювання ділянок поверхні в широкому спектральному діапазоні.

Частина даних ДЗЗ відразу надходить у цифровому вигляді, що дає змогу безпосередньо використовувати для їх обробки сучасні комп'ютерні технології. Знімки на фотоносіях можуть бути перетворені на цифрову растрову форму представлення за допомогою спеціальних сканувальних пристроїв (сканерів).

Цифрове зображення у формі растра подано матрицею чисел. Кожний елемент цієї матриці – піксель – відповідає певній характеристиці (здатності відбивати, температурі тощо) ділянки місцевості в певній зоні електромагнітного спектра. Дані багатозонального знімання в цифровому вигляді можна розглядати як багатовимірну матрицю, і в цьому разі кожній ділянці поверхні відповідатиме повний набір значень, який має назву вектор характеристик. Слід зазначити, що основні методи тематичної обробки даних ДДЗ, специфічні для багатозонального знімання, ґрунтуються на операціях з багатовимірними матрицями.

Системи для обробки даних ДЗЗ були створені в результаті подальшого якісного розвитку програмних засобів, застосованих для цифрової обробки зображень загального призначення (графічних редакторів). Обидва класи систем мають багато спільного: працюють з растровою моделлю даних, використовують методи обробки зображень, що ґрунтуються на аналогічному математичному апараті. Проте слід зазначити низку істотних відмінностей, пов'язаних зі специфікою даних дистанційного зондування:

- дані ДЗЗ – це файли досить великого обсягу, для ефективної роботи з якими потрібні спеціальні засоби, зокрема особливі формати даних;
- дані ДЗЗ – це багатовимірні дані, кількість і параметри спектральних зон знімання яких не дають змоги висвітлювати їх як RGB-зображення, крім того, можуть використовуватися також інші координати вимірювання (наприклад, час);
- дані ДЗЗ потребують попередньої геометричної, радіометричної і радіаційної корекції;
- дані ДЗЗ – це просторова інформація, що має зазвичай координатну прив'язку;
- можливість швидкого переходу від попередньої обробки і тематичного дешифрування до виконання операцій моделювання та просторового аналізу засобами геоінформаційних систем (інтеграція в ГІС).

Цифрову обробку даних ДЗЗ можна поділити на такі групи операцій:

- відновлення (корекція);
- попередня обробка;
- класифікація;
- перетворення зображень;
- спеціалізована тематична обробка.

3.2 Способи обробки зображень

Незалежно від типу зображень все різноманіття принципів та способів обробки зображень можна розділити на такі напрямки [32]:

- реєстрація та поліпшення зображень;
- аналіз зображень (розпізнавання образів та аналіз сцен);
- синтез зображень;
- кодування сигналів зображень.

Перетворення первинних зображень у цифрові сигнали є обов'язковою операцією, якщо передбачається використати цифрову обробку, передачу, зберігання. Таке перетворення складається із двох процедур, які здійснюють одночасно.

Перша полягає у заміні безперервного зображення набором дискретних елементів та називається дискретизацією, а друга виконує заміну безперервного розподілу яскравості та забарвлення множиною квантованих значень для кожного елемента зображення і називається квантуванням.

Серед процедур, що використовують для обробки зображень можна виділити дві групи:

- поелементна обробка;
- кореляційна обробка.

За умови використання методів обробки першої групи результат обробки будь-якої точки кадру зображення залежить тільки від значення відліку характерного параметра первинного зображення у цій же точці.

Друга група процедур базується на тому, що між елементами всього зображення або окремих його фрагментів є взаємні зв'язки – кореляція.

3.3 Поелементна обробка зображень

Сутність поелементної обробки зображень полягає у встановленні певної функціональної залежності між остаточним значенням відліку сигналу зображення та його первинним значенням або статистичною характеристикою.

Поелементна обробка базується на тому, що між значеннями яскравості існує однозначна функціональна залежність $y_{i,j} = f_{i,j}(x_{i,j})$, що дозволяє на підставі значень первинного сигналу визначити значення кінцевого [32].

Параметри функції, що описує процес обробки, можуть залежати від поточних координат. Якщо така залежність існує, то обробку, яку здійснюють, називають неоднорідною.

У більшості процедур, що знайшли практичне застосування, здійснюють однорідну поелементну обробку, залежність між яскравістю елементів вхідного та вихідного зображень буде визначено функцією однаковою для всіх точок зображення.

Процедури поелементної обробки можна розділити на:

- процедури пов'язані зі зміною контрасту зображення;
- процедури бінаризації зображень.

Контраст зображення – це параметр, що дорівнює відношенню максимальної яскравості до мінімальної в полі зображення.

Контрастність зображення – параметр, що визначає перепад яскравості відносно середнього рівня та чисельно дорівнює відношенню різниці максимальної та мінімальної яскравості до їх суми. Часто остаточне значення подають у відсотках.

Лінійне контрастування використовують для узгодження динамічного діапазону вхідного сигналу зображення та динамічного діапазону яскравості пристрою відображення. Якщо для цифрового значення кожного відліку зображення виділяється 1 байт (8 біт) пристрою пам'яті, то вхідний або вихідний сигнали можуть набувати одного з 256 значень.

Припустимо, що мінімальна та максимальна яскравості первинного зображення мають значення x_{min} та x_{max} відповідно.

Під час лінійного контрастування здійснюють лінійне поелементне перетворення вхідної величини x відповідно до рівняння

$$y = a \cdot x + b ,$$

де параметри a та b визначаються бажаними значеннями мінімальної y_{min} та максимальної y_{max} яскравості в кінцевому зображенні.

Для знаходження зазначених параметрів потрібно розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_{min} = a \cdot x_{min} + b \\ y_{max} = a \cdot x_{max} + b \end{cases}$$

Рівняння для лінійного контрастування набуває остаточного вигляду:

$$y = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} (y_{max} - y_{min}) + y_{min} .$$

Результат здійснення соляризації призводить до освітлення певної частини зображення, що має рівні яскравості, які відносяться до середини динамічного діапазону.

Перетворення здійснюють відповідно до співвідношення

$$y = k \cdot x \cdot (x_{max} - x) ,$$

де x_{max} – максимальне значення вихідного сигналу;

k – константа, що управляє динамічним діапазоном перетвореного зображення.

Внаслідок соляризації ділянки вхідного зображення з рівнем білого (або близьким до нього рівнем яскравості) набувають чорного рівня. Рівень білого у вихідному зображенні набувають ділянки, що мали на вході середній рівень яскравості (рівень сірого).

3.4 Перетворення гістограм, еквалізація

Бінаризація – це перетворення з пороговою характеристикою.

За допомогою бінаризації напівтонове зображення, що містить всі рівні яскравості, перетворюють у таке, що містить тільки два рівні яскравості $y=0$ або $y=y_{max}$.

Методи поелементного перетворення зображень, метою яких є зміна законів розподілу, одержали назву гістограмних методів. Зокрема, перетворення, у результаті якого кінцеве зображення має рівномірний розподіл, називається еквалізацією (вирівнюванням) гістограм.

Обробку зображень перетворення розподілів виконують у два етапи:

- вимірюють гістограму вхідного зображення,
- виконують безпосередньо нелінійне перетворення (змінюють щільність ймовірності вихідного зображення).

Сутність табличного методу полягає в тому, що шляхом попереднього розрахунку створюють таблицю функції $y=f(x)$.

Під час обробки зображення замість обчислень використовують готові результати шляхом звернення до цієї таблиці. Значення вхідної яскравості x використовують для визначення номера стовпчика, з якого треба прочитати значення перетвореного сигналу y .

3.5 Методи стискання зображень

Стискання здійснюється з метою зменшення фізичного розміру блоку інформації. Стискання растрових і векторних даних здійснюється по-різному. В растрових файлах стискаються тільки дані зображення, а заголовок і решта даних (таблиця кольорів, кінцівка і т.п.) завжди залишаються нестисненими (вони, як правило, займають незначну частину растрового файла). Векторні файли, в яких зберігається математичний опис зображення, а не самі дані, як правило, не мають «рідної» форми стискання. Це викликано тим, що в векторному форматі дані вже представлені в компактній формі і стискання дає дуже незначний ефект. Якщо векторний файл все ж стискається, то, як правило, стискаються всі дані, включаючи заголовок.

Більшість алгоритмів стискання забезпечують кодування без втрат, коли дані при розпакуванні повністю відновлюються. Методи кодування зі втратами передбачають відкидання деяких даних зображення для досягнення кращої міри стискання, ніж за методами без втрат. При цьому важливо, щоб втрата деякої частини даних була прийнятною або навіть доцільною. Найбільш поширеними алгоритмами стискання даних є групове кодування (RLE), алгоритм Лемпела-Зіва-Велча (LZW), кодування ССІТТ (Хафмена), технологія JPEG, алгоритм ART, алгоритми фрактального стискання зображень.

Алгоритм RLE зменшує фізичний розмір рядків символів, що повторюються. Такі рядки називають групами і кодують двома байтами, перший з яких визначає кількість символів в групі, а другий містить значення символу. Ефективність стискання залежить від типу даних зображення. Алгоритм RLE характеризується простотою і високою швидкістю. Варіанти групового кодування розрізняються напрямом утворення рядка (вздовж осі X, осі Y та діагоналі). Найчастіше вони стискають без втрат, однак відкидання молодших

розрядів в значеннях символу може суттєво збільшити міру стискання складних зображень.

Алгоритм LZW базується на словниках. Із даних вхідного потоку він будує словник даних. Зразки даних ідентифікуються в потоці даних і зіставляються з записами в словнику. Якщо зразка даних нема в словнику, то на основі цих даних в словник записується кодова фраза, яка має менший розмір, ніж самі дані. Ця ж фраза записується і в вихідний потік стиснених даних. Якщо ж зразок даних зустрічається у вхідному потоці повторно, фраза, що відповідає йому, читається із словника і записується в вихідний потік. Оскільки кодові фрази мають менший розмір, ніж зразки даних, відбувається стискання. Перевагою алгоритму LZW перед іншими, які базуються на словниках, є те, що не обов'язково зберігати словник для наступного декодування.

Кодування ССІТТ називають кодуванням за алгоритмом Хафмена. Це простий алгоритм стискання. Алгоритми ССІТТ не є адаптивними, тобто не настроюються для кодування кожного растра з оптимальною ефективністю. У них використовується фіксована таблиця кодових значень, що були обрані спеціально для представлення документів, які підлягають факсимільній передачі. Перед початком кодування здійснюється частотний аналіз коду документу і виявляється частота повтору кожного з символів. Символи, які частіше зустрічаються, кодуються меншою кількістю розрядів. При використанні кодування за схемою Хафмена треба разом із закодованим текстом передати відповідний алфавіт, але для великих фрагментів надлишковість не може бути значною.

JPEG (Joint Photographic Experts Group – об'єднана група експертів з фотографії) є методом стискання, що дозволяє стискати дані багатоградаційних зображень з пікельною глибиною від 6 до 24 біт з задовільною швидкістю й ефективністю. На відміну від інших методів стискання JPEG не є одним алгоритмом. JPEG може налаштовуватися на відтворення дуже маленьких стиснутих зображень поганої якості, але проте придатних для більшості програм, і в той же час дозволяє робити стиснені зображення дуже високої якості, обсяг даних яких набагато менший, ніж в оригінальних нестиснених даних. JPEG, як правило, супроводжується втратами. Схема JPEG заснована на відкиданні інформації, яку важко помітити візуально. Невеликі зміни кольору погано розпізнаються оком людини, а от незначні зміни інтенсивності (світліше чи

темніше) – краще. Виходячи з цього, кодування з втратами JPEG прагне до дбайливого поводження з напівтоною частиною зображення, але більш вільно поводить з кольором. Обсяг стиснутих даних залежить від змісту зображення. Міра стискання зображення з фотографічною якістю може становити від 20:1 до 25:1 без помітної втрати якості. Зображення, що містять великі області одного кольору, стискаються дуже погано. JPEG вводить у такі зображення артефакти (недоліки, вади), особливо помітні на суцільному фоні. Це значно погіршує якість зображень у порівнянні з традиційним методом стискання без втрат. Процес стискання за схемою JPEG поділяється на кілька етапів:

- перетворення зображення в оптимальний колірний простір;
- субдискретизація компонентів колірності усередненням груп пікселів;
- застосування дискретних косинусних перетворень для зменшення надлишковості даних зображення;
- квантування кожного блоку коефіцієнтів дискретних косинусних перетворень із застосуванням вагових функцій, що оптимізовані з урахуванням візуального сприйняття людиною;
- кодування результуючих коефіцієнтів (даного зображення) із застосуванням алгоритму Хафмена для видалення надлишковості інформації.

ART – це оригінальний алгоритм стискання, що був створений і продається фірмою Johnson-Grace. Міра стискання в ART регулюється, а установка високого її значення може викликати втрати даних. Існує і режим кодування без втрат. Хоча детальний опис цього алгоритму тримається в таємниці, Johnson-Grace випустила ряд документів описового характеру. Мета алгоритму – аналіз зображення і виявлення ряду його ключових ознак (колір, завади, межі, особливості, що повторюються), яким потім присвоюються пріоритети відповідно до відносної ваги кожної ознаки у вмісті зображення. Для класифікації і призначення пріоритетів ознакам стисненого зображення в програмі використовується нечітка логіка. Повторювані особливості виявляються і зв'язуються в зображенні оригінальним методом, розробленим самою фірмою. Компоненти зображення квантуються, при цьому низкопріоритетні ознаки ігноруються. ART-зображення можуть бути багаторівневими. Це значить, що їх можна передавати поетапно по модемних лініях з низькою пропускнуою здатністю. Крім того, алгоритм забезпечує майже

миттєве, хоча і низькоякісне, відображення на пристрої виведення клієнта. Потім, по мірі прийому даних і поступової візуалізації, якість зображення підвищується.

Фрактальне кодування засноване на тому факті, що всі природні і більшість штучних об'єктів містять надлишкову інформацію у вигляді однакових, повторюваних малюнків, які називаються фракталами. Процес кодування, що перетворює зображення в сукупність математичних даних, вимагає винятково великого обсягу обчислень. В залежності від роздільної здатності і вмісту вхідних растрових даних, якості зображення, часу стискання і розміру файла процес стискання одного зображення може зайняти від декількох секунд до декількох годин навіть на дуже швидкодіючому комп'ютері. Декодування фрактального зображення – процес набагато простіший, тому що вся трудомістка робота була виконана при пошуку всіх фракталів під час кодування. В процесі декодування потрібно лише інтерпретувати фрактальні коди, перетворивши їх у растрове зображення. Тому фрактальний метод доцільно використовувати тоді, коли дані зображень безупинно розпаковуються, але ніколи не стискаються. Фрактальний метод забезпечує легкість масштабування зображення без введення артефактів і втрати деталей та невеликий розмір стиснутих даних, але супроводжується втратами.

3.6 Радіометрична корекція знімків

Початкові цифрові значення знімка («сирі значення» або DNS), які є його спектральною яскравістю, визначають за числом і положенням рівнів квантування в радіометричному діапазоні. Радіометрична корекція полягає у варіюванні значень яскравості пікселів, причиною якого є не сам об'єкт або скановане зображення. Таке варіювання визначається:

- збоєм або несправністю детекторів;
- впливом рельєфу;
- атмосферними ефектами.

Методи радіометричної корекції показників давачів зазвичай надають розробники конкретної знімальної апаратури. Таку корекцію виконують для зображень, отриманих у видимій та ІЧ-ділянках спектра. Найважче піддається

корекції вплив рельєфу, що потребує ґрунтового знання основ фотограмметрії, території, характеристик системи та умов знімання. Особливу увагу приділяють обліку впливу атмосфери.

Вплив атмосферних ефектів на дані дистанційного зондування не розглядають як похибку, такі ефекти – частина отриманого давачем сигналу. Проте часто їх важливо усунути, особливо з метою «підбору» яскравості кадрів і аналізу змін.

Алгоритми корекції змін властивостей відбиття об'єктів, переданих через атмосферу, розробляють протягом багатьох років існування дистанційного зондування. Основними є чотири категорії:

- віднімання темних пікселів;
- перетворення показника енергетичної яскравості на коефіцієнт відбиття;
- дослідження лінійних регресій;
- моделювання впливу атмосфери.

Радіометрична корекція цифрових знімків. В оптичних та інфрачервоних системах радіометричну корекцію проводять у два етапи:

1-й етап – встановлення взаємозв'язку між величиною пікселя і відповідним фізичним параметром випромінення (зазвичай це спектральне випромінення), що потрапляє на давач. Ця процедура виконується внутрішнім калібратором давача, який визначає максимальне і мінімальне значення пікселя. Наприклад, для 8-бітових даних це значення перебуватиме в межах від 0 до 255. Значення пікселя перетвориться на значення прийнятого випромінення;

2-й етап – облік ефектів поширення для того, щоб величина прийнятого випромінення трактувалась як випромінення досліджуваної поверхні. Це досягається введенням поправок на вплив атмосфери

Коректування параметрів зображення з урахуванням впливу атмосфери на поширення світла здійснюється трьома методами.

Перший – це метод математичного моделювання. Розсіювання в атмосфері та параметри поширення обчислюють за допомогою комп'ютерних програм. Найпопулярнішими є програми LOWTRAN і MODTRAN. Початковими даними слугують метеорологічні показники, сезонні та географічні параметри. Слід зазначити, що визначити деякі характеристики атмосфери, наприклад аерозольні, дуже складно.

Другий метод корекції зображення, отриманого дистанційними системами, ґрунтується на калібруванні цілі. Для здійснення корекції потрібно виконати такі умови:

- слід знати показники розсіювання із заданою точністю для певного спектрального діапазону;
- діапазон показників розсіювання калібратора має охоплювати показник розсіювання об'єкта;
- кожний калібратор має забезпечувати охоплення області щонайменше в кілька пікселів;
- калібратор має забезпечувати налагодження на різні атмосферні умови.

Третій, найпростіший і найзастосовуваніший спосіб корекції зображення, отриманого дистанційними системами, ґрунтується на видаленні темних пікселів.

Метод видалення значень темних пікселів зображення ґрунтується на припущенні, що піксель з найнижчим радіометричним показником яскравості в кожній зоні має бути насправді нулем, а його ненульове значення є результатом адитивних перешкод, спричинених атмосферою. Такі пікселі відповідають, наприклад, яскравості чистої водної поверхні глибокого водоймища, а процедура видалення є аналогом зсуву початку відліку яскравості.

У методах лінійної регресії використовують побудову графіків розподілу значень яскравості в двох зонах знімка (двовимірних гістограмах) і виходять з припущення, що розміщення будь-якого пікселя на цьому графіку безпосередньо залежить від значення його яскравості. Коефіцієнти лінійного рівняння регресії знаходять, використовуючи показники середнього значення яскравості і дисперсії в кожній зоні.

Нахил лінії регресії відображує кореляцію значень відбивальної здатності в двох спектральних зонах. За нульової яскравості лінії регресії мають пройти через початок двовимірної системи спектральних координат. Зсув лінії відносно початку означає наявність компонентів, зумовлених впливом атмосфери

4 ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ТРАНСФОРМУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

План

- 4.1 Фільтрація даних дистанційного зондування Землі.
- 4.2 Трансформування даних дистанційного зондування.
- 4.3 Ортотрансформування даних дистанційного зондування Землі.

4.1 Фільтрація даних дистанційного зондування Землі

Спектральні поліпшення здійснюють за допомогою функцій, які виконують перетворення багатозональних значень кожного пікселя індивідуально, а просторові призначені для виокремлення або зміни просторової інформації в зображенні, отриманому за дистанційного зондування. Вони розглядають значення кожного пікселя як двовимірну функцію $B(x, y)$, оперуючи для його модифікації значеннями сусідніх, оточуючих пікселів і виконують перетворення відразу в усіх зонах спектра. Деякі перетворення мають локальний характер (у певному околі кожного вказаного пікселя), інші виконують процес для всього зображення, аналізуючи його загальну просторову структуру.

Базовою операцією просторових перетворень є аналіз інформації у межах ковзного по зображенню вікна, що є матрицею розміром 3×3 пікселя, 5×5 і т. ін. Операцію застосовують до пікселя, що перебуває в центрі вікна. Його значення перераховується з використанням заданої функції від значень навколишніх «найближчих сусідів». Потім вікно зсувається на один піксель уздовж рядка зображення до досягнення його кінця, після чого зміщують вікно на один рядок.

У математиці таку операцію називають згорткою, а матрицю (ковзне вікно) – ядром згортки. У процесі цифрової обробки зображень ця операція реалізує різні прийоми фільтрації яскравості зображення, яка є процесом зваженого усереднення пікселів у деякому вікні. Фільтрація – поширений термін, який належать до зміни просторових і спектральних (просторово-частотних) характеристик об'єктів для поліпшення зображення, тому матричну функцію (ядро згортки), застосовувану в ковзному вікні, називають фільтром.

Загальна формула фільтрації (згортки) має вигляд

$$B(f) = \frac{\sum_{i=1}^q (\sum_{j=1}^q f_{ij} B_{ij})}{F},$$

де $B(f)$ – значення пікселя перетвореного зображення (результат фільтрації);

f_{ij} – числові значення коефіцієнтів фільтра, розміщені в i -му рядку й j -й колонці матриці;

B_{ij} – значення пікселя початкового зображення в межах ковзного вікна, що відповідає f_{ij} ;

q – розмір фільтра, визначальний розмір сторони ковзного вікна, наприклад, при $q=3$ вікно має розмір 3×3 ;

F – величина, що залежить від типу операції фільтрації і дорівнює або сумі коефіцієнтів фільтра, або 1, якщо сума коефіцієнтів дорівнює 0.

У разі, якщо $B_f < 0$, його значення замінюють на 0.

F використовують для нормування значень у межах вікна так, щоб вирівняні дані фільтрації перебували приблизно в тому самому діапазоні, що й початкові. Виконання фільтрації зображено на рисунку 4.1.

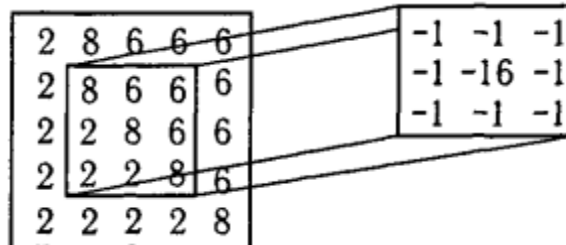


Рисунок 4.1 – Виконання фільтрації зображення

У результаті застосування наведеного на рисунку фільтра центральний піксель ковзного вікна на початковому зображенні (значення 8) дорівнюватиме 11.

У більшості пакетів програм обробки зображень використовують такі фільтри (в дужках вказано їх англійську транскрипцію і рекомендовані розміри):

- середньоарифметичний (Mean, 3×3 , 5×5 , 7×7);
- медіанний (Median, 3×3 , 5×5);
- адаптивний (Adaptive Box, 3×3 , 5×5 , 7×7);
- модальний (Mode, 3×3 , 5×5 , 7×7);
- високочастотний (High Pass, 3×3);

- лапласіан (Laplacian, 3×3 , 5×5 , 7×7);
- оператор Собеля (Sobel Edge Detector, 3×3);
- користувацький (User Defined, 3×3);
- користувацький у вигляді файла (User Defined Filter File розмір до 255×255).

Середньоарифметичний фільтр (низькочастотний) зазвичай використовують для генералізації або згладжування зображення. Всі його коефіцієнти за розміру вікна 3×3 мають значення 1. Піксель, що становить інтерес (відповідний центру вікна), замінюється арифметичним середнім усіх значень у межах вікна.

Медіанний, адаптивний і модальний фільтри є статистичними. В цих способах матриця фільтра не створюється. Значення пікселя в центрі вікна замінюється числом, визначеним завдяки аналізу розподілу значень у вікні – табличного подання гістограми.

Якщо всі значення пікселів у вікні розмістити в зростаючій або спадній послідовності, то в результаті застосування медіанного фільтра значення пікселя, що стоїть у середині впорядкованої послідовності (з 9,25 або іншого непарного числа початкових значень), призначається центральному пікселю вікна. Операція медіанного фільтра має ефект виключення пікселя, що має нетипове статистичне значення в локальному оточенні (локальний шум).

В адаптивному фільтрі в межах вікна обчислюється стандартне відхилення значень яскравості пікселів від значення в центральному пікселі. Яскравість у центральному пікселі замінюється нулем, якщо стандартне відхилення нижче за заданий користувачем поріг, і середнім із значень інших пікселів, якщо відхилення вище.

У модальному фільтрі значення в центрі вікна замінюється на значення, що найчастіше трапляється в межах вікна, що відповідає піку або моді гістограми. До цієї групи методів фільтрації належить спосіб, у якому центральному пікселю присвоюється мінімальне або максимальне значення яскравості у вікні.

Статистичні фільтри використовують для зменшення випадкових шумів на будь-якому зображенні із збереженням меж об'єктів. Прикладом застосування медіанного фільтра є видалення смугастості на зображенні, отриманому в разі збою в роботі якого-небудь детектора.

Високочастотні фільтри застосовують для того, щоб поступово видалити змінні значення і підкреслити високочастотні локальні зміни, виокремити ділянки різких переходів на фоні поступових змін. Це можуть бути фільтри з нульовою сумою коефіцієнтів ($F = 1$), які зумовлюють отримання вихідних значень:

- таких, що дорівнюють нулю на ділянках, де початкові значення однакові (немає меж);
- низьких на ділянках малої просторової частоти;
- екстремальних (коли високі значення стають набагато вищими, а низькі – ще нижчими) на ділянках високої просторової частоти.

Коефіцієнтами такого фільтра, наприклад для вікна 3×3 , є: 8 у центрі і 1 – всі інші. Для підкреслення граничних значень (різких переходів у значеннях яскравості) експериментально збільшують значення в центрі (9, 10 і т. д., та $F \neq 1$).

Високочастотні фільтри підкреслюють або виокремлюють контури, але не обов'язково виключають значення інших пікселів об'єктів. У разі застосування такого фільтра до набору пікселів з відносно низьким значенням в оточенні більших величин низьке значення стає меншим, і навпаки, у разі використання фільтра для набору пікселів з відносно високим значенням в оточенні більш низьких величин високе значення стає ще більшим. У будь-якому випадку просторова частота підвищується.

Різновид високочастотних фільтрів – crisp-фільтри – застосовують для збільшення яскравості всього знімка (підвищення різкості), не порушуючи її загальної мінливості. Такі методи корисні у разі затіненості і нечіткості зображення через атмосферну димку, швидке переміщення давача, а також для зображень, перетворених методом головних компонент, – для першої компоненти. Отже, перетворення діє так, що яскравість знімка зростає, а мінливість зберігається

Алгоритми виокремлення меж розглядають зміни яскравості на знімку як деяку безперервну функцію і використовують операції з похідними 1-го і 2-го порядків. Під час переходу через лінійний об'єкт або контур яскравості змінюються стрибкоподібно або приймають екстремальне значення. Відомо, що якщо функція (в цьому разі $B(x, y)$) у певній точці має стрибок, то в цій точці її перша похідна максимальна за абсолютною величиною, якщо функція має в

точці екстремум, то її перша похідна дорівнює нулю, а друга – максимальна. Для дискретизованих знімків значення похідних, обчислених упродовж рядків або стовпців, – це відповідно різниці або різниці різниць значень яскравості двох сусідніх пікселів (оскільки прирости аргументів дорівнюють 1).

Як фільтр, що ґрунтується на застосуванні перших похідних (градієнтний фільтр), може бути використаний такий:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix}.$$

Цей фільтр підкреслює лінії, спрямовані вгору вздовж колонки.

Методи, які використовують оператори Лапласа і Собеля, призначені для виокремлення лінійних об'єктів і контурів на зображенні.

Оператор Лапласа ґрунтується на обчисленні інших похідних і забезпечує виокремлення ліній і контурів у різних напрямках. Прикладами оператора слугують фільтри

$$\begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}.$$

Оператор Собеля використовує нелінійні комбінації пікселів. Його загальний вигляд такий:

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2},$$

де $X = (B_3 + 2B_6 + B_9) - (B_1 + 2B_4 + B_7)$, $Y = (B_1 + 2B_2 + B_3) - (B_7 + 2B_8 + B_9)$, B – яскравості в межах вікна:

$$\begin{vmatrix} B_1 & B_2 & B_3 \\ B_4 & B_5 & B_6 \\ B_7 & B_8 & B_9 \end{vmatrix}.$$

Адаптивний фільтр «адаптує» контраст до регіону, що становить інтерес для дослідження (ділянки в межах переміщуваного вікна).

За адаптивної фільтрації зображення поділяють на дві компоненти, що відповідають високо- і низькочастотній складовим зображення. Перетворення здійснюють із застосуванням формули:

$$DN_{out} = K(DN_H) + DN_L,$$

де K – вибраний користувачем множник контрасту;

DN_H і DN_L – числові значення відповідно високо- і низькочастотної складових.

Таке перетворення приводить високочастотну компоненту зображення у відповідність з низькочастотною і виконується інтерактивними операціями, здійснюваними за допомогою таблиці перекодування LUT.

Перетворення Фур'є виконує поліпшення зображення завдяки його розділенню на безліч різних просторово-частотних компонент. Згідно з цим методом просторовий розподіл яскравості на знімку, що фіксується послідовностями пікселів рядків і колонок, може бути представлений у частотній ділянці лінійною комбінацією періодичних функцій $\sin(u)$ і $\cos(v)$ з певними коефіцієнтами. Функції з довгими періодами відображують низькочастотні компоненти, з короткими періодами – високочастотні.

4.2 Трансформування даних дистанційного зондування

Необроблені знімки, отримані із супутників і літаків, є плоскими зображеннями, створюваними системами знімання. Проте навіть для уявної рівної поверхні вони спотворені унаслідок кривини поверхні Землі і давача, що застосовується. Це створює одну з основних проблем під час використання інформації, що міститься в знімках: це зміни масштабу зображення в межах кожного знімка внаслідок спотворень від численних джерел: фокусної відстані оптичної системи, геометрії проекції та огляду території, рельєфу поверхні.

Розрізняють два основні випадки застосування перетворення трансформування системи координат знімка:

- коли сітка рядків і колонок растрового зображення має бути змінена відповідно до вибраної в дослідженні проекції і системи координат;
- коли сітка початкового зображення має бути змінена відповідно до сітки еталонного зображення.

Найчастіше трансформацію використовують для перетворення зображень в одну і ту саму картографічну сітку координат.

Загалом обробку зображень можна поділити на два основні етапи:

- трансформування зображень – процес перетворення зображення з метою приведення його до заданого масштабу і проекції з видаленням зсувів через нахил осі знімання, рельєф місцевості і кривину поверхні Землі, а також з виключенням геометричних спотворень;

- прив'язка зображень полягає у точній ідентифікації ділянки земної поверхні, що відображується на зображенні, і присвоєнні кожній точці зображення реальних координат, які збігаються з координатами цієї точки на місцевості.

Під час виконання прив'язки і трансформування (ректифікації) зображень можна виокремити такі чотири основні етапи:

- вибір геометричної моделі трансформування;
- задання опорних точок;
- перетворення координат зображення на основі вибраної геометричної моделі;
- трансформування растрового зображення відповідно до перетворених координат (створення нової мережі пікселів).

4.3 Ортотрансформування даних дистанційного зондування Землі

Ортотрансформування (орторектифікація) – більш точна геометрична корекція, призначена для усунення спотворень на знімку зсувів за рахунок рельєфу місцевості, спотворень, пов'язаних з центральною проекцією знімка, дисторсією об'єктива, і нерегулярних спотворень через відхилення орієнтації оптичної осі знімальної камери від надира. Таку корекцію застосовують до аеро- і космічних знімків за їх використання для створення топографічних карт, у ГІС, для вирішення завдань цифрової фотограмметрії.

Виконання операції ортотрансформування потребує наявності цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) місцевості, що вивчається. У разі порівняно плоских областей в ортотрансформуванні знімків немає потреби, проте якщо місцевість гориста або забудована і потрібна висока точність вимірювань за знімками, ортотрансформування потрібне. Крім ЦМР, для коректування

вказаних спотворень потрібна інформація про положення камери або давача у момент знімання – елементи зовнішнього орієнтування камери і елементи внутрішнього орієнтування знімка.

Наступний крок виконання операції ортотрансформування полягає у визначенні елементів зовнішнього орієнтування знімків – масштабу і положення щодо геодезичної системи координат на місцевості. Для їх знаходження використовують набори опорних точок (мінімум три точки), включаючи координатні позначки на знімках і відповідні наземні точки. Для встановлення математичної залежності між системами координат зображень давача і наземною системою застосовують відомі формули триангуляції. Отримані дані є вихідними для операції ортотрансформування. Під час її виконання кожному пікселю ЦМР знаходиться відповідне положення на знімку. Для обчислення положення точки на ортотрансформованому знімку використовують значення яскравості в знайденої точці, елементи зовнішнього орієнтування вихідного знімка, а також висоти з ЦМР.

Алгоритми, що використовують для обліку особливостей геометрії сенсора, визначення елементів внутрішнього орієнтування знімків за опорними точками, вирішення завдання триангуляції та ортотрансформування, дають змогу досягти внутрішньопіксельної точності, яку оцінюють частками пікселя (subpixel). Можливість мультисенсорної триангуляції дає можливість працювати одночасно з даними космічного та аерофотознімання. Більшість подібних алгоритмів забезпечує побудову ЦМР, використовуючи дані стереознімання. ЦМР може створюватися як у напівавтоматичному, так і в інтерактивному режимах у вигляді регулярної сітки (растра) або нерегулярної триангуляційної сітки (TIN).

Оскільки на ортотрансформованих зображеннях усунені спотворення, пов'язані з рельєфом місцевості, то вимірювання, що проводяться по них, так само точні, що й виконувані по топографічній карті.

У процесі трансформування (ректифікації) знімка видаляються зміщення точок, які зумовлені нахилом осі знімання, але залишаються спотворення, зумовлені рельєфом місцевості. У разі рівнинних ділянок спотворення, зумовлені рельєфом, невеликі, і ними можна знехтувати. Проте для горбистої місцевості ці спотворення стають значними. У таких випадках знімки трансформують по частинах (зонах), межі яких визначають за максимально

допустимими різницями висот у кожній з виділених зон. Такий спосіб називають ортотрансформуванням (ректифікацією) зображень.

Готовими до використання вважаються орторектифіковані (ортотрансформовані) зображення (аналог ортофотоплану), які проходять кілька етапів корекції для усунення багатьох випадкових, системних і систематичних спотворень – радіометричну корекцію, ректифікацію, трансформування в географічну проекцію з топографічної прив'язкою, орторектифікацію (ортотрансформування).

Ректифікація включає побудову проміжного зображення, яке не має пробілів і накладень пікселів з різних лінійок. Для створення ректифікованого зображення вибирається площина, що проходить через середню точку відсканованої ділянки, або поверхню паралельну поверхні обраного еліпсоїда, що має постійну (частіше середню) висоту ділянки. На даній поверхні визначають межі ділянки місцевості, що знімається, і оконтурюють її в прямокутник. Визначається мінімальна квадратна ділянка (середній розмір ділянки місцевості, який відповідає одному пікселю лінійки) і виконується поділ прямокутника прийнятими квадратними ділянками на стовпці і рядки. Для кожного квадрата визначаються геодезичні координати центру (B , L , Z) і визначається яскравість за яскравістю відповідного або сусідніх пікселів. Це стає можливим внаслідок того, що відомі для кожного пікселя лінійок точки сканування і кути зовнішнього орієнтування, тобто можна відновити зв'язку скануючих променів. Отримане ректифікованого зображення має чіткі контури, а також за своїми візуальним властивостям близько до фотографії.

Проте отримане ректифіковане зображення відрізняється від карти або плану, бо має спотворення викликані рельєфом місцевості. Вони усуваються виконанням орторектифікації (ортотрансформування), яка поділяється на кілька етапів:

1. Визначення меж нового (ортотрансформованого) зображення (частіше беруться ті ж самі координати, як і на оригінальному зображенні).

2. Виконується оконтурювання нового зображення найменшим прямокутником.

3. Вибирається розмір пікселя нового зображення (може збігатися з розміром пікселя вихідного зображення).

4. Виконується проєктування координат меж нового зображення на площину.

5. Обчислюється залежність між координатами зображення і наземними (просторовими) координатами з використанням наземних опорних точок (виконується найчастіше за методом найменших квадратів).

6. Для центру кожного пікселя вихідного зображення:

- визначаються його просторові координати (планові – за координатами меж зображення, висотні – за ЦМР);
- обчислюються координати зображення за просторовими координатами;
- вибирається яскравість в оригінальному документі;
- присвоюється обрана (обчислена) яскравість пікселя у новому зображенні.

Вибір методу рішення п'ятого етапу залежить від геометричної моделі, яка використовується і від якої залежить точність ортотрансформування.

Для геометричної корекції супутникових знімків з високою просторовою здатністю використовують такі моделі:

1. Строгі моделі базуються на комплексній математичній моделі, яка використовує візуальну геометрію сенсора, внаслідок чого відновлюється просторове положення сукупності променів, які сформували знімок. Строгу модель будують після визначення наступних даних:

- траєкторія носія (аналог лінійних елементів зовнішнього орієнтування для знімків центральної проєкції);
- орієнтація сенсора (аналог кутових елементів зовнішнього орієнтування);
- геометрична модель сенсора (аналог елементів внутрішнього орієнтування).

Сутність строгого методу геометричної корекції космічного знімка полягає у визначенні зв'язки проєктуючих променів і рішенні рівнянь колінеарності, які математично описують геометрію сканера, панорамні ефекти, обертання Землі, орбіту і висоту космічного апарату, картографічну проєкцію:

$$\begin{aligned}x - x_0 &= (-f) \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\y - y_0 &= (-f) \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}\end{aligned}$$

де (x, y) – координати точки на знімку;

(x_0, y_0) – координати головної точки;

(X, Y, Z) – геодезичні координати точки в картографічній проекції;

(X_0, Y_0, Z_0) – координати центру фотографування на момент зйомки;

f – фокусна відстань сенсора;

$[m_{ij}]$ – дев'ять елементів матриці ортогонального тривимірного повороту на кути ω, φ, κ .

У цих рівняннях враховуються фізичні параметри камери (фокусна відстань, координати головної точки), оптична дисторсія, положення сенсора на момент зйомки.

Рішення рівнянь ускладнюється тим, що для кожного рядка сканерного знімка параметри зовнішнього орієнтування $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ різні.

Слід враховувати, що залежність між координатами на місцевості і на знімку порушується при геометричній корекції, тому для обробки в межах даного методу необхідні тільки знімки базового рівня попередньої обробки, які пройшли тільки радіометричну корекцію.

Точність трансформованого зображення при використанні строгої моделі геометричної корекції може становити 1–2 м.

2. Апроксимуюча модель строгої моделі геометричної корекції космічних знімків заснована на використанні коефіцієнтів раціонального полінома. Коефіцієнти раціонального полінома мають аббревіатуру RPC, яку розшифровують по-різному: Rational Polynomial Coefficients (частіше використовується для Ikonos), Rapid Positioning Capability (використовується для QuickBird і стандарту NSIF), Rational Polynomial Camera Data.

Модель RPC використовує коефіцієнти кубічних поліномів для виконання трансформування координат земної поверхні (довготи L , широти B , висоти H) у координати зображення (рядок r , стовпець c). Вона узагальнює модель сенсора, включаючи двох-або тривимірні поліноміальні моделі, моделі проекційного і лінійного трансформування:

$$r_n = \frac{p_1(P_n, L_n, H_n)}{p_2(P_n, L_n, H_n)},$$
$$c_n = \frac{p_3(P_n, L_n, H_n)}{p_4(P_n, L_n, H_n)},$$

де r_n, c_n – нормалізовані координати точки місцевості в системі координат знімка (рядок і стовпець – в пікселях);

(P_n, L_n, H_n) – нормалізовані координати точки у системі координат місце-вості (довгота і широта – в градусах, висота – у метрах);

p_q – поліноми третього ступеня ($q=1\dots4$).

Нормалізовані координати визначаються:

$$P = \frac{LATITUDE - Lat_off}{Lat_scale}$$

$$H = \frac{HEIGHT - Hgt_off}{Hgt_scale}$$

$$L = \frac{LONGITUDE - Lon_off}{Lon_scale},$$

$$r_n = \frac{ROW - Lin_off}{Lin_scale}$$

$$c_n = \frac{COLUMN - Sam_off}{Sam_scale}$$

де $LATITUDE, LONGITUDE, HEIGHT$ – координати точки у системі координат місцевості (широта, довгота, висота);

$Lat_off, Hgt_off, Lon_off, Lin_off, Sam_off$ – зміщення координат у системі координат місцевості і знімка;

$Lat_scale, Hgt_scale, Lon_scale, Lin_scale, Sam_scale$ – коефіцієнти нормалізації.

Нормалізація виконується для зменшення похибок під час розрахунків (похибок округлень та втрати значущих знаків). Вихідні координати після процедури нормалізації знаходяться у інтервалі (-1, +1).

Кожен поліном p має вигляд:

$$p(P, L, H) = a_1 + a_2P + a_3L + a_4H + a_5PL + a_6PH + a_7LH + a_8P^2 + a_9L^2 + a_{10}H^2 + a_{11}PLH + a_{12}P^3 + a_{13}PL^2 + a_{14}PH^2 + a_{15}P^2L + a_{16}L^3 + a_{17}LH^2 + a_{18}P^2H + a_{19}L^2H + a_{20}H^3$$

Маємо 39 коефіцієнтів в кожному рівнянні: 20 – в чисельнику і 19 – в знаменнику ($a_1=1$). У зв'язку з тим, що кожна наземна точка дає можливість

скласти два рівняння, то необхідно мати не менш ніж 39 опорних точок для знаходження 78 коефіцієнтів.

Коефіцієнти раціонального полінома обчислюються строгим методом з використанням геометричної моделі сенсора, бортових і телеметричних вимірювань елементів зовнішнього орієнтування. З використанням RPC можна досягти точності 2–3 м за умови використання опорних точок (1–4 опорні точки) в разі обчислення RPC постачальником або при зрівнянні блоку стереоскопічних космічних знімків, або при обчисленні поправок в обчислені координати при зрівнянні (зміщення, масштабування, поворот). Останній спосіб поліпшення результатів геометричної корекції частіше використовується при роботі з одним космічним знімком. При використанні RPC без опорних точок точність отриманого зображення становить 3–10 м.

Апроксимуючу геометричну модель застосовують для геометричної корекції космічних знімків стандартного рівня обробки, які були утворені без урахування цифрової моделі рельєфу (Standart Ortho Ready, Geo Ortho Kit). До недоліків застосування RPC можна віднести:

- можливість існування систематичної похибки, яка може досягати 50 м в ортотрансформованому зображенні при використанні RPC без опорних наземних точок;

- RPC задані щодо еліпсоїда WGS-84 в проекції UTM, а в більшості випадків вихідні дані (опорні точки, цифрова модель рельєфу) отримані в деякій місцевій системі координат, тому при цьому параметри зв'язку між зазначеними вище системами координат не відомі.

3. Параметричні, універсальні моделі засновані на досить загальних і наближених припущеннях про спосіб виконання зйомки, а значення параметрів, що входять в ці співвідношення, обчислюються за опорними точками. Параметричні моделі застосовуються в тих випадках, якщо невідомі перші дві моделі. Прикладом параметричної моделі є паралельно-перспективна модель, при цьому передбачається рівномірність і прямолінійність руху носія, а також незмінність його орієнтування на ділянці формування знімка:

$$r = L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4$$
$$c = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1},$$

де (X, Y, Z) – просторові координати точки на місцевості;

L_i – параметри моделі;

r, c – координати точки на знімку.

Використовують також модель DLT (Direct Linear Transformation) і її модифікацію (аффіну). Дана модель заснована на тому, що системи високого просторового дозволу мають вузьке поле зору:

$$r = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1}$$
$$c = \frac{B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1}$$

Прикладами параметричної моделі також є поліноміальні моделі, найчастіше використовуються поліноми другого

$$r = a_1 + a_2X + a_3Y + a_4Z + a_5XY + a_6XZ + a_7YZ + a_8X^2 + a_9Y^2 + a_{10}Z^2$$
$$c = a_{11} + a_{12}X + a_{13}Y + a_{14}Z + a_{15}XY + a_{16}XZ + a_{17}YZ + a_{18}X^2 + a_{19}Y^2 + a_{20}Z^2$$

і третього ступеня

$$r = a_1 + a_2X + a_3Y + a_4Z + a_5XY + a_6XZ + a_7YZ + a_8X^2 + a_9Y^2 + a_{10}Z^2 + a_{11}XYZ + a_{12}X^3 + a_{13}YX^2 + a_{14}YZ^2 + a_{15}X^2Z + a_{16}Y^3 + a_{17}YZ^2 + a_{18}X^2Z + a_{19}Y^2Z + a_{20}X^3$$
$$c = a_{21} + a_{22}X + a_{23}Y + a_{24}Z + a_{25}XY + a_{26}XZ + a_{27}YZ + a_{28}X^2 + a_{29}Y^2 + a_{30}Z^2 + a_{31}XYZ + a_{32}X^3 + a_{33}YX^2 + a_{34}YZ^2 + a_{35}X^2Z + a_{36}Y^3 + a_{37}YZ^2 + a_{38}X^2Z + a_{39}Y^2Z + a_{40}X^3$$

Геометрична корекція космічних знімків, яка заснована на параметричній моделі, може бути реалізована за допомогою нейронних мереж. Для роботи з нейронними мережами було вибрано MLP (Multi Layer Perception) алгоритм. Функція апроксимації даного алгоритми – нелінійна. Базова ідея методу полягає у заміні проекційної моделі зв'язку координат зображення з просторовими координатами на MLP нейронну мережу, яка тренувана на базових опорних

точках. Вхідними даними є просторові координати, а вихідними – координати зображення.

У MLP алгоритмі кожен нейрон виконує просту операцію, яка складається в генерації через відповідну функцію (функцію передачі) викликів, які об'єднуються через комунікаційні канали. Ці канали схожі на біологічні синапси і їх обов'язок – «зважувати» значимість сигналів, які передаються: вони відомі як «синоптичні ваги» або просто ваги.

Формально сигнал відповіді u_i , який повертається загальним нейроном і

$$u_i = f\left(\sum_{j=1}^N w_{ij}p_{ij} + b_i\right),$$

де f – функція передачі, яка зазвичай є гіперболічним тангенсом або логічною сигмоїдальною кривою;

w_{ij} – вага і нейрона;

p_{ij} – вхідний сигнал в і нейрон;

b_i – скаляр (зміщення), який вираховується як вага одиничного вхідного сигналу.

Цей вид алгоритму відповідає нейронним мережам прямого зв'язку, тобто інформація переміщається паралельно і у прямому напрямку.

У MLP алгоритмі параметрами є ваги і зміщення внутрішнього шару і шару виходу. Наближений розрахунок значень цих параметрів на основі прикладів (зразків) відповідає навчанню мережі. У даному випадку навчальний алгоритм – це оптимізація (для великої швидкості збіжності) Error Backpropagation (ЕВР). У ЕВР алгоритмі ваги мережі приймають значення мінімуму (локально-го мінімуму) функції, яка виконується.

До недоліків параметричних моделей можна віднести:

– показники точності нових зображень в більшості випадків нижче ніж при використанні строгої геометричної моделі або RPC, і можуть коливатися від 3 до 15 м;

– для обчислення параметрів моделі необхідно мати достатню кількість опорних точок (від 4 до 20), а для нейронної мережі кількість опорних точок не обмежена.

При зйомці рівнинної місцевості або побудові ортозображень за знімками, зробленими у надир, точність нового зображення при використанні параметричних моделей може бути такою ж, як і при використанні методу RPC.

Точність орторектифікованих космічних знімків крім геометричної моделі ректифікації, кута відхилення вісі камери від надіру, кількості і топології опорних точок, також залежить від точності цифрової моделі рельєфу, що використовується.

5 МЕТОДИ ДЕШИФРУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

План

- 5.1 Дешифрувальні ознаки.
- 5.2 Правила і типи автоматизованої класифікації.
- 5.3 Контрольована класифікація.
- 5.4 Неконтрольована класифікація.

5.1 Дешифрувальні ознаки

Дешифрування зображень – основне завдання під час використання знімків для географічних досліджень, яке містить: розпізнавання об'єктів (виявлення об'єктів на знімку) і віднесення їх до певного типу; вимірювання – визначення розмірів, відстаней між об'єктами, кількості об'єктів на одиницю площі і т. ін.

До дешифрувальних зображуваних ознак належать тон, колір, розмір, форма, текстура, рисунок, тінь, місце розташування та зв'язок з іншими об'єктами.

Особливість автоматизованого дешифрування полягає в тому, що реальні об'єкти земної поверхні представлені окремими елементами – пікселями, в яких зафіксовано спектральну відбивальну здатність об'єктів. Отже, дешифрування об'єктів за знімками здійснюють опосередковано, моделюючи спектральний простір. Такий простір ортогональний, його розмірність дорівнює кількості знімальних зон, а кожний піксель багатозонального знімка з його набором спектральних значень представляє точку в цьому просторі. Таким чином, кожний об'єкт на знімку – компактна безліч точок у спектральному просторі з ознаками,

що характеризують об'єкт. Під час автоматизованого аналізу зображення зазвичай вдається врахувати лише такі ознаки, як тон, колір, розмір.

Ознаки, які використовують під час автоматизованого аналізу, поділяють на ознаки яскравості, геометричні та комплексні.

Ознаки яскравості є основними і здебільшого єдиними. Під час обробки багатозональних знімків вони є найзручнішими, оскільки створюють багатовимірну числову характеристику кожної точки дешифрованого об'єкта. Незважаючи на те, що різні природні об'єкти мають специфічні спектральні характеристики, ці ознаки не є цілком надійними. Спектральна яскравість легко піддається спотворенням у процесі фотообробки та залежить від освітленості об'єкта, тобто від висоти Сонця, часу доби і року, впливу атмосфери, кута поля зору знімальної системи, рельєфу місцевості тощо. Це зумовлює неоднозначну відповідність об'єкта та його дешифрувальних ознак, що загалом знижує вірогідність дешифрування.

Попри всі недоліки використання ознак яскравості беззаперечним є те, що незалежно від способів подальшого подання і перетворення вихідних даних, які отримано з багатозональних знімків, розпізнавання об'єктів здійснюється із застосуванням коефіцієнтів їх спектрального відбиття. При цьому «спектральний образ» об'єкта, складений на підставі визначеного за зональними знімками обмеженого набору його спектральних яскравостей, не може бути більш інформативним, ніж вимірювані коефіцієнти спектральної яскравості об'єкта. Тому середньоквадратична похибка визначення коефіцієнтів спектральної яскравості за знімком, крім опису якості вихідного знімального матеріалу, водночас характеризує максимально можливу точність ідентифікації об'єктів та їх зображень.

Здебільшого величини спектральних ознак пікселів одного об'єкта не однакові, а варіюють у певних діапазонах, про що видно з гістограми. Крім того, діапазони спектральних ознак різних об'єктів можуть частково перекриватися, тому виконана за ними класифікація не може бути абсолютно достовірною. Для підвищення надійності класифікації дослідники підвищують точність вимірювання і збільшують кількість самих ознак. Технічно це найпростіше зробити для ознак яскравості, збільшуючи кількість каналів багатозональної знімальної апаратури або використовуючи багатогодинні знімки (спектральні

образи для наочності часто зображують графічно у вигляді кусково-лінійних кривих).

До геометричних ознак належать форма (лінійна, плоска, об'ємна), розмір, топологічні властивості (наприклад, зв'язність, кількість проміжків). Ознаки яскравості використовують значно рідше, ніж геометричні, оскільки їх застосування пов'язане зі складністю формалізації.

Комплексні ознаки є специфічним поєднанням ознак яскравості та геометричних і визначають структуру (текстуру) зображень, характерну для певних об'єктів або природних утворень. Це найефективніші і найстійкіші ознаки, але їх складно формалізувати. Крім того, їх використовують в алгоритмах контрольованої класифікації, коли вона здійснюється за еталонами (тестовими ділянками).

Базовими ознаками, які використовують під час візуального аналізу знімків, є тональність знімка (щільність фототону), форма об'єктів, розмір об'єктів, структура поверхні, текстура об'єктів, відтіненість та асоціації

5.2 Правила і типи автоматизованої класифікації

Класифікація – це процес сортування (розподілу за класами) елементів зображення (пікселів) на кінцеву кількість класів на основі значень їх атрибутів.

Автоматизоване дешифрування знімків засноване на класифікації об'єктів, що на них зображені. Процес класифікації полягає у розподілі всіх пікселів знімка на класи відповідно до відбивальної здатності (значення спектральної яскравості) кожного з них в одній або кількох зонах спектра, наприклад, типи рослинності або класи використання земель (міські території, пасовища, рілля, водні об'єкти, ліси). Отже, процес розподілу пікселів на класи здійснюється у спектральному просторі. Якщо піксель задовольняє певний набір умов, його приписують до класу, що відповідає заданому критерію. Такий процес називають сегментацією зображень. Труднощі класифікації пов'язані насамперед із мінливістю ознак – відбивальна здатність змінюється залежно від часу доби, сезону і т. ін., тому правила класифікації для різних знімків можуть і не збігатися. Часто класифікація буває невизначеною та неточною, оскільки за значеннями спектральної яскравості пікселі можуть належати відразу до кількох класів, та й сам піксель растра може представляти інтегровану характеристику об'єктів

різних класів – це так звані змішані пікселі. Незважаючи на це, у процесі класифікації невизначеність ігнорується, і кожний піксель вміщується в один із класів. Кращого методу класифікації немає, є більш вдалі системи, що зазвичай потребують більших витрат часу або коштів.

В основі методів автоматизованої класифікації покладено математичну теорію розпізнавання образів, що виробляє правила класифікації реальних або геометричних об'єктів за їх характерними деталями або ознаками. У процесі просторового і спектрального поліпшення зображення на екрані монітора розпізнавання образів може бути здійснене візуально – мозок людини автоматично сортує певні текстури і кольори в ті або інші категорії. За допомогою комп'ютерної системи пікселі розпізнають і сортують на підставі математичного критерію.

Відповідно до теорії розпізнавання образів, простір ознак для класифікації потрібно поділити на замкнені області, кожна з яких містить значення ознак, характерних для одного з класів об'єктів, і призначити кожний піксель знімка тому класу, в ділянку якого потрапив його вектор ознак. Межі, що розділяють отримані ділянки, називають вирішальними (тими, що поділяють), а самі ділянки – ділянками вирішення. Спосіб віднесення пікселів знімка до класів об'єктів визначає так зване вирішальне правило – правило класифікації, реалізацію якого забезпечує відповідний комп'ютерний алгоритм. Правило класифікації формується на основі ознак типових об'єктів, належність яких до певного класу відома (наприклад, ознаки еталонних об'єктів на тестових ділянках). Проте насамперед комп'ютерна система має навчитися розпізнавати образи на основі таких відомостей, і в процесі навчання потрібно знайти критерій розпізнавання образів.

Алгоритми комп'ютерного аналізу, які реалізують різні правила класифікації, поділяють на два типи: алгоритми контрольованої і неконтрольованої класифікацій.

За контрольованої класифікації передбачаються правила переходу від показників спектрального відбиття до положення в системі класів об'єктів, завіряються вони на «навчальній» (тестовій, еталонній) ділянці. Ці правила виробляються на основі ознак навчальної вибірки, введених фахівцем-дешифрувальником, а потім автоматично застосовуються і на іншій час тині знімка (тому ці алгоритми іноді називають класифікацією з навчанням).

Використовуючи контрольовану класифікацію важливо знати кількість і тип класів, що виокремлюються, і лише потім створювати навчальні вибірки, що відповідають відомостям знімка. Потрібно також мати у розпорядженні критерії і способи розпізнавання класів, поданих пікселями.

Контрольовану класифікацію застосовують зазвичай під час ідентифікації порівняно невеликої кількості класів, коли обрано такі тестові ділянки, які можуть бути перевірені за достовірними наземними даними, або коли можна виокремити добре помітні, однорідні ділянки, які представляють кожний клас. З іншого боку, якщо потрібно створити класи за властивими пікселям спектральними відмінностями, то для цього завдання доцільнішою буде неконтрольована класифікація.

Неконтрольована класифікація виконується автоматично і залежить тільки від відомостей знімка. Вона дає змогу легко виокремити безліч таких класів (груп пікселів). Неконтрольована класифікація може бути корисною для створення тематично визначеного набору класів із використанням наступної контрольованої класифікації. Застосування комбінацій класифікацій, неконтрольованої і контрольованої – гібридної – дає оптимальні результати, особливо для значних масивів даних (наприклад, для знімка, який складено із серії послідовних кадрів знімання).

5.3 Контрольована класифікація

Методи контрольованої класифікації враховують апріорну (вже відому) інформацію про:

- типи об'єктів та ймовірності їхнього подання даними знімка;
- еталонні значення спектральних характеристик цих об'єктів (еталонні значення їхнього спектрального образу), від якості яких залежить точність і вірогідність класифікації.

При цьому дешифрувальник обирає пікселі, що представляють еталонні значення (еталонні ділянки).

Навчальні вибірки, які називають також еталонами об'єктів (signatures), — це набори пікселів, що представляють образ, який потрібно розпізнати, або потенційний клас, і сприяють його ідентифікації. Зазвичай це певна ділянка на знімку, ідентифікована на підставі точних даних про земну поверхню. Вибір

еталона значною мірою залежить від знання користувачем даних досліджуваної області і класів, які він хоче виокремити. Основною вимогою до відомостей навчальних вибірок є їх репрезентативність – пікселі вибірки мають відповідати одному класу на місцевості; такий клас має займати територію, що досить добре представлена пікселями на знімку із заданим розрізненням. У спектральному просторі репрезентативність вибірок визначають:

- одноmodalність гістограми розподілу яскравості, що характеризує близькість розподілу значень до нормального, оскільки нормальний розподіл даних є вихідним посиленням алгоритму;
- мінімальність дисперсії, що характеризує однорідність відомостей вибірки;
- невеликі значення відхилень від середнього, оскільки інакше вибірка втрачає свою показовість;
- роздільність вибірок у спектральному просторі, інакше класи переплутаються і змішаються.

Для вибору еталонів і створення навчальних вибірок використовують різні способи:

- ідентифікацію набору сусідніх пікселів із близькими спектральними характеристиками;
- визначення області зображення – ідентифікація пікселів у межах певної ділянки або об'єкта, необов'язково з аналогічними спектральними характеристиками;
- використання класу з тематичного растрового шару в ГІС, який відповідає ділянці знімка або отриманий у результаті неконтрольованої класифікації;
- використання векторної карти (шару), яку накладено на знімок.

Іноді зображення потрібних об'єктів настільки «строкате», що для них складно побудувати полігон навчальної вибірки, спираючись на візуальну оцінку близькості значень яскравості (або кольору) пікселів. Для таких випадків використовується спосіб заснований на ідентифікації лише одного пікселя, що може бути впевнено віднесений до області виокремленого класу. На піксель вказують курсором на екрані і застосовують потім як модельний піксель-еталон, що створюється на основі зіставлення його із сусідніми пікселями, спочатку у вікні 3×3 , з використанням уведених параметрів – граничних значень

близькості. Як такі параметри задають або географічну відстань, або статистичні показники – середнє й стандартне відхилення яскравостей для кожної зони. Пошук найдодільніших пікселів у вікні здійснюють серед чотирьох або восьми сусідніх; у першому варіанті пошук виконується швидше, але все таки другий переважає. Процес побудови такої вибірки ітераційний і повторюється доти, доки не залишиться оточення пікселів, які задовольняють задані параметри. З кожною ітерацією вибірка неначе «розростається» із заданого пікселя (звідси назва методу – region growing, в українському варіанті – вирощування із затравки). Цей спосіб, крім того, що виокремлює ділянку на знімку, одночасно дає змогу виокремити й реальну область на земній поверхні з однаковими властивостями.

Навчальні вибірки поділяють на параметричні і непараметричні. Параметрична вибірка заснована на статистичних параметрах, наприклад, векторі середніх значень яскравості, коефіцієнтах коваріаційної матриці обчислених за зональним значенням пікселів у полігоні навчальної вибірки або в кластері. Отже, для створення параметричної вибірки будь-якого класу програма розраховує статистичні дані за еталонними пікселями зображення. При цьому передбачається, що розподіл даних є нормальним.

Непараметрична вибірка ґрунтується не на статистиці, а на дискретних об'єктах – полігонах або прямокутниках, створених вибіркою, яку утворив користувач, у зображенні спектрального простору ознак. Зображення простору ознак у цьому разі є двовимірною гістограмою – графіком залежності значень спектральної яскравості однієї зони знімка від значень іншої; таку гістограму називають діаграмою розкиду.

Після створення та оцінки навчальних вибірок пікселі зображення сортують за класами, заснованими на цих вибірках, за допомогою вирішального правила класифікації. Кожний піксель піддають незалежному аналізу, при цьому його вектор значень яскравості зіставляється з кожним еталоном із застосуванням різних алгоритмів.

Під час розроблення таких алгоритмів використовують детермінований і статистичний підходи (іноді їх, як і вибірки, називають непараметричними і параметричними). Детермінований підхід застосовують зазвичай, коли класи об'єктів не перетинаються в просторі ознак. У цьому разі області розділення можуть бути виокремлені лінійними межами, які характеризуються лінійними

дискримінантними функціями. Кожна така функція характеризує свій клас об'єктів, що їх дешифрують, і будується, наприклад, так, що для пікселів свого класу, визначеного еталоном, вона набуває позитивного значення, а чужого – негативного. Як дискримінанту функцію часто використовують формулу евклідової відстані.

Як уже зазначалося, класи об'єктів нерідко перекриваються в просторі ознак, тому і області рішення також можуть перетинатися, що зумовлює неоднозначні результати класифікації. Для вирішення проблеми потрапляння пікселя більше, ніж в один клас має бути розроблене так зване правило перекриття, відповідно до якого піксель або буде класифікований надалі (віднесений до наступного за чергою еталона, використаний статистичний підхід), або залишиться некласифікованим. Статистичні методи дають змогу враховувати випадкові варіації ознак і допускають віднесення пікселів до чужих «класів», якщо частота їх появи відносно мала.

Метод паралелепіпеда реалізує найпростіший алгоритм, заснований на детермінованому підході. У цьому алгоритмі в просторі ознак створюють еталонні об'єкти з відомою належністю до різних класів, а значення спектральних яскравостей у границях інтервалів, що задають їх еталонні характеристики, які виокремлює дешифрувальник, за еталонними об'єктами цих класів у зображенні кожної зони знімка. Такі інтервали визначають у просторі ознак певну замкнену ділянку, розмірність якої дорівнює кількості зон багатозонального знімка: це прямокутник для двох зон, паралелепіпед – для трьох і більше зон. Значення яскравості, що відповідають межах інтервалів, задають вершини цих паралелепіпедів.

Виокремлення інтервалів зміни яскравості для об'єктів, які обрано як еталонні, зазвичай здійснюють за допомогою аналізу гістограм у двох зонах знімка. Їх межі визначають як:

- мінімальні й максимальні значення яскравості в кожній зоні в межах еталонного об'єкта на знімку;
- середнє значення яскравості в кожній зоні плюс-мінус кількість стандартних відхилень;
- будь-які, обумовлені користувачем, межі на підставі його знань щодо знімка і еталонів.

Якщо є можливість отримати еталонні спектральні характеристики класів, то завдання класифікації можна вирішити простим в обчислювальному відношенні способом – за мінімальною відстанню між класами у просторі ознак. Оскільки вимірювані й еталонні спектральні ознаки об'єктів точно не збігаються, рішення щодо належності пікселів до того чи іншого класу приймається на підставі аналізу певної міри близькості.

Вирішальне правило мінімальної відстані розраховує спектральна відстань між вектором значень яскравості пікселя і вектором середніх значень кожного еталона (навчальної вибірки).

5.4 Неконтрольована класифікація

Алгоритми неконтрольованої класифікації дають змогу користувачу задати деякі параметри, які комп'ютер використовує для виявлення властивих цифровим даним знімків спектральних (зокрема статистичних) образів. Ці образи не обов'язково відповідають об'єктам знімання; вони є простими групами пікселів з подібними спектральними характеристиками.

Алгоритми неконтрольованої класифікації реалізують часто застосовувані в різних багатовимірних дослідженнях методи кластеризації, в основу яких покладено так звані граничні процедури. За їх використання передбачається, що кількості вихідної інформації достатньо для поділу класів і тому еталони не застосовують. Під час обробки знімків ці алгоритми застосовують різні міри роздільності класів у просторі ознак об'єктів і становлять математичну основу їхньої формальної класифікації.

Загалом за граничної класифікації зрівнюються значення яскравості двох сусідніх пікселів. Якщо розходження в значеннях яскравості перевищує певну заздалегідь задану величину – поріг, то вважається, що ці пікселі належать різним об'єктам і між ними проходить межа поділу. У разі багатозонального знімка пороги задають або для розходжень яскравостей кожної спектральної зони, або для відстаней у просторі ознак, які використовують як міру роздільності. За такого способу класифікації точність невисока, проте за відсутності апріорної інформації про класи виконання такої процедури доцільне, оскільки за її допомогою можна виокремити однорідні за яскравістю області (підкласи) об'єктів на основі їхніх природних відмінностей, що виявляються в

спектральній яскравості. Коли об'єкти будь-якого класу описуються векторами, компонентами яких є дійсні числа, то цей клас можна розглядати як кластер і виокремлювати його властивості в просторі образів кластера.

В основу алгоритмів кластеризації покладено об'єднання пікселів у групи – кластери – залежно від установленого дешифрувальником порога (порогів) близькості їхніх характеристик.

Нехай кожний елемент зображення на вихідному багатозональному знімку описується вектором \bar{X}_i спектральних ознак X_{rc}^j , де r і c – номери рядків і стовпців елементів зображення, а $i-j$ – номер зони спектра. Для оцінки міри подібності об'єктів (і кластерів) задано значення граничної величини d .

Вибір міри подібності лежить в основі правила віднесення елементів до області, що характеризується як центр певного кластера – середньозваженим значенням яскравостей усіх пікселів \bar{M}_k , що ввійшли в кластер. Найпростішою мірою подібності є Евклідова відстань.

Комп'ютерну обробку знімків здійснюють по черзі. Оскільки ніякої апріорної інформації про центри кластерів немає, то як центр першого кластера \bar{M}_k вибирають перший піксель початкового рядка. Потім обчислюють відстані від нього до наступних пікселів у рядку. Ці відстані зрівнюються з порогом. Якщо жодна з них менша за d , то кількість пікселів у формованому кластері збільшується на одиницю для кожного X_i^j , віднесеного до кластера, а центр кластера обчислюють за формулою:

$$M_i^j = \frac{\bar{M}_k^j n_k + X_{rc}^j}{n_k + 1},$$

де \bar{M}_k^j – первісне значення j -ї координати центра того самого кластера;

j – компонента нового центра кластера;

n_k – кількість елементів знімка, що належать до k -кластера M_k^j .

Піксель, віднесений до k -то кластера, на карті кластеризації кодується числом, що дорівнює k .

Операція повторюється для наступних елементів рядка знімка доти, доки відстань від розглянутого пікселя до центра кластера не стане більшою за d . У цьому разі відшукується кластер, відстань до центра якого від пікселя менша за

с. Після знаходження такого кластера обчислюють його центр і відповідно змінюють поточні параметри. Якщо такого центра не виявилось, то елемент вважають центром нового кластера, формують його параметри, і процес повторюється з розгляду наступного елемента. Після перегляду всього рядка переходять до наступного; при цьому враховуються результати перегляду попередніх рядків, і як центри кластерів використовують раніше створені рядки. Процедура повторюється доти, доки не будуть переглянуті всі рядки знімка.

У результаті виконання алгоритму створюється так звана карта кластеризації, а також масив спектральних координат центрів кластерів із певним числом пікселів у кожному з них.

Ще раз зазначимо, що після такої процедури на знімку виокремлюються не класи об'єктів, а деякі області з близькими значеннями яскравостей, і дешифрувальник, використовуючи карту кластеризації, а також додаткову інформацію, може прийняти рішення про об'єднання цих областей у потрібні тематичні класи, тим самим сприяючи створенню тематичної карти.

Є різні модифікації такого алгоритму кластеризації, що вирізняються переважно способом наближення до класів кластерів, які виокремлюються, засновані на додаткових перевірках їх «якості». При цьому оцінюють:

- відстань між утвореними центрами кластерів: за невеликої відстані підвищується ймовірність перетину кластерів і виникає необхідність їх об'єднання;

- розкид пікселів у кластерах: більша дисперсія значень яскравості пікселя щодо центра кластера слугує показником випадковості входження цього пікселя в цей кластер; кластер «переповнений» і, швидше за все, має бути розділений.

Подібні перевірки виконують ітераційно, і на кожній ітерації уточнюють характеристики кластерів.

Після того як класифікацію виконано, потрібно оцінити точність її результатів, тобто оцінити точність збігу отриманих класів і класів місцевості. Проте оскільки границі класів місцевості зазвичай невідомі, оцінюють такий показник як вірогідність класифікації, що визначається як відсоток пікселів, правильно віднесених до класу, заданого як еталон.

Для оцінювання якості класифікації можуть бути використані різні способи:

- візуальний експертний аналіз із залученням усіх відомих даних про об’єкти місцевості;
- перевірка за даними в точках координат наземних спостережень, не використаних під час набору навчальних вибірок;
- оцінювання статистичних характеристик вибірок і підсумкових класів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

6 ОБРОБКА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ У ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

План

- 6.1 Система геоінформаційних систем та дистанційного зондування.
- 6.2 Моделі інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS.
- 6.3 Створення мозаїки.

6.1 Система геоінформаційних систем та дистанційного зондування

На сучасному етапі розвитку комп’ютерної техніки та геоінформаційних технологій дистанційне зондування та геоінформаційні технології утворюють єдину систему, яка отримала назву ГІС/ДЗЗ-технології. До основних складових таких технологій відносять:

- дешифрування космічних знімків і інших видів дистанційної інформації;
- передача в картографічній формі результатів досліджень;
- проведення картометричного аналізу з наступною статистичною обробкою даних, застосування математичних методів для опису географічних явищ і виявлення закономірностей;
- здійснення автоматизованої обробки матеріалів космічної зйомки засобами ГІС-технологій, а також моделювання досліджуваних ситуацій у фотографічній, графічній, картографічній і чисельній формі.

Загальна схема обробки даних ДЗЗ для геоінформаційних технологій наведена на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Схема обробки даних ДЗЗ [33]

Технології геоінформаційних систем (далі – ГІС) спочатку мали інтеграційний аспект, оскільки інтегрують просторову й описову (атрибутивну) інформацію і дозволяють отримати важливу вихідну основу – інтегровану модель території, яка є передумовою прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Важко не помітити і прогрес в інтеграції традиційних ГІС і технологій ДЗЗ. ГІС використовуються для планування і організації аерознімання, для ведення каталогів аерокосмічних знімків. Одночасно системи обробки ДДЗ є важливим постачальником даних для ГІС.

Інтеграція ДЗЗ і ГІС відбувається за трьома основними напрямками [34]:

- ДДЗ як джерело актуальних і точних даних для ГІС;
- ГІС як джерело допоміжних даних для ДЗЗ;
- спільне використання даних ДЗЗ і ГІС для моделювання й аналізу.

Треба також відзначити, що зростаючий об’єм даних ДЗЗ з супутників і збільшення кількості користувачів зумовили розробку принципово нових видів надання просторової інформації споживачам – нових сервісів, що забезпечують мультикористувацький доступ до даних. Це, наприклад, сервіс від компанії DigitalGlobe Image-Connect, який є унікальним розширенням до програмного

забезпечення ГІС і який дозволяє завантажити космічні зображення з супутників Quick-Bird і WorldView-1 у програмне середовище користувача безпосередньо з архіву компанії DigitalGlobe. При цьому відбувається миттєве відображення супутникових даних у програмному забезпеченні замовника з автоматичним перетворенням у потрібну проекцію (встановлену у програмі на момент відбору даних). Сьогодні сервіс Image-Connect є доступним для користувачів ESRI (ArcGIS 9.x і 10), MapInfo Professional, Autodesk (Map 3D, Land Desktop, Raster Design, Civil 3D і AutoCAD). Отже, одночасно спостерігаються дві тенденції: інтеграція технологій GPS та ДЗЗ у ГІС і інтеграція технологій ГІС в GPS та ДЗЗ.

6.2 Моделі інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS

Геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних. Однак ці функції не можуть бути реалізовані в повному обсязі, якщо база даних ГІС є неповною, неточною або неактуальною.

У базі даних ГІС зберігаються як просторові дані (адміністративні кордони, межі землеволодінь, координати висот тощо), так і атрибутивні (типи земель, рослинності, покриття доріг, показники якості води тощо). Традиційно, просторові і тематичні дані пов'язуються таким чином, щоб забезпечувати топографічне або тематичне картографування. Однак ці карти є вторинними за походженням, тому містять певні похибки. По-друге, вони не спроможні надати всі характеристики, потрібні користувачу, через узагальнення картографічного зображення. По-третє, топографічні або тематичні карти швидко застарівають (стають неактуальними) через певні зміни на території. Ці обмеження ГІС можуть бути подолані за рахунок використання даних ДЗЗ і GPS.

Аерокосмічні знімки є первинними даними і здатні надати більш точні й актуальні дані, ніж ті, що отримані за допомогою топографічних і тематичних карт, а GPS є ефективним сучасним способом одержання координат просторових об'єктів.

Цифрові дані закодовані у вигляді пікселів-комірок (двовимірна матриця), що відповідають величині сили відбитого електромагнітного випромінювання.

Зображення повинні бути розташовані певним чином відносно геодезичної сітки, інакше дані, які вони несуть, не можуть бути віднесені до визначеного місця. Виникла потреба у тісному поєднанні дистанційного зондування з картографією земної поверхні та тематичною картографією. Це стало можливим завдяки здатності ГІС до введення, аналізу просторової інформації та її відображення. ДЗЗ надає актуальні і точні просторові і тематичні дані для функціонування ГІС. Аерокосмічний знімок, цифровий або аналоговий, містить дані у своїй власній системі координат. Ці координати повинні бути переведені в загальну референцну систему координат або в універсальну систему, якщо об'єкт або явище досліджується за великою кількістю зображень, або якщо ці дані повинні просторово перекриватись даними з інших джерел.

Позиціонування вимагає певного геометричного контролю на землі. Традиційно, геометрична прив'язка знімків ДЗЗ здійснюється за топографічними картами, оскільки вони є найбільш доступними і просторово коректними. Однак топографічні карти виявляються безплідними в областях, де не представлені вузлові поворотні пункти або картографічне зображення піддалося корінним змінам з моменту публікації карти. Для цього випадку можуть бути використані технології GPS як ефективна альтернатива для одержання просторових даних в універсальній системі координат. Точкові, лінійні або полігональні дані можуть отримуватись у реальному часі або наближеному до нього. Дані опорних точок в обраних поворотних пунктах можуть бути використані для прив'язки аерокосмічних зображень на поверхні досліджуваної території. Проте дані GPS, навіть отримані на площині, не спроможні жодним чином замінити аерокосмічний знімок полігональних даних у 2D-форматі.

Наведене свідчить, що технології ДЗЗ, ГІС, GPS внутрішньо доповнюють одна одну за своїми первинними функціями. Кожна з наведених технологій має свої обмеження. Проте при їх інтеграції відбувається синергетичний ефект, який дозволяє розширити галузі їх застосування.

Інтеграція даних ДЗЗ, GPS і ГІС в загальному випадку може відбуватись за чотирма моделями: лінійною, діалоговою, ієрархічною і комплексною. Лінійна інтеграція є найбільш загальним випадком. Ієрархічна інтеграція найбільш доцільна при застосуванні у прецизійному землеробстві і моделюванні навколишнього середовища. Комплексна інтеграція найбільш доцільна в умовах невизначеності, надзвичайних ситуаціях і оперативному картографуванні.

У цій моделі потік даних від GPS лінійно надходить до ДЗЗ і потім до ГІС (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Лінійна модель інтеграції [34]

У цьому випадку унікальні можливості кожної системи використовуються максимально. Технології GPS використовуються для одержання геометричної прив'язки для аерокосмічного зображення. Після первинної обробки та інтерпретації виправлені дані ДЗЗ інтегруються у бази даних ГІС.

Лінійна структура моделі передбачає, що три компоненти цієї моделі мають різні пріоритети. ГІС у цій моделі відіграє домінуючу роль, оскільки саме тут виконується весь просторовий аналіз. Відповідно, система GPS є підпорядкованою і її роль полягає у наданні позиційних даних. У базі ГІС дані, що надійшли від GPS, є непомітними через відсутність прямого зв'язку між GPS і ГІС. У цій моделі технології GPS є обслуговуючими, з'єднувальною перемичкою між ДЗЗ та іншими даними в базі даних ГІС.

У цій моделі інтеграція даних GPS з ДЗЗ відбувається у трьох часових режимах: синхронному, незалежному і режимі пост-обробки, який відбувається до інтеграції з ГІС.

Синхронна інтеграція зазвичай реалізується при використанні ДЗЗ одночасного запису від системи GPS, що встановлюється на носіїві апаратури ДЗЗ, для одержання позиційних параметрів і параметрів орієнтації сенсора. Наприклад, система GPS здатна спрямувати дослідження вздовж рядків, спрямувати знімальну апаратуру у фіксованому інтервалі відстаней і записувати координати кожної фотографії. Ці параметри використовуються для виправлення даних ДЗЗ або для триангуляції аерознімка.

Використання GPS дозволяє уникнути дорогих операцій для здійснення аеротриангуляції. Інтеграція даних GPS і ДЗЗ дозволяє одержувати більше інформації, з меншим часом і зусиллями, досягаючи таким чином високої продуктивності.

Геоприв'язка відбувається за рахунок використання координат GPS, що реєструються незалежно від запису даних ДДЗ.

Інтеграція даних ДДЗ і GPS у режимі пост-обробки відбувається після того, як ДДЗ будуть проаналізовані. Інтеграція ДДЗ відбувається з даними GPS. Оцінка точності картографічних зображень земної поверхні вимагає перевірки координат просторових об'єктів наземними засобами.

Діалогова модель дуже схожа на лінійну модель (рис. 6.3).

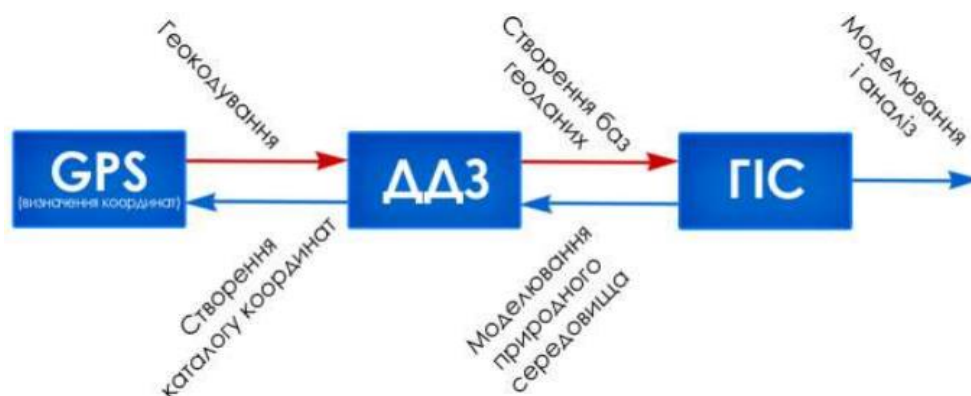


Рисунок 6.3 – Інтерактивна (діалогова) модель інтеграції [34]

У цьому випадку потік даних циркулює між GPS і ДДЗ і між ДДЗ і ГІС в обох напрямках і передбачає, що остаточна задача інтеграції може бути виконана або в ГІС, або в ДДЗ (в системі аналізу цифрового зображення). У цьому випадку ДДЗ вже не сприймається простим каналом передачі даних до ГІС.

Хоча є можливість отримання даних ДДЗ з ГІС, більш загальним випадком є отримання даних ГІС з ДДЗ. Діалоговий режим інтеграції в загальному випадку не дозволяє кількісно оцінювати відносну значимість даних ДДЗ і ГІС, навіть у випадку, коли GPS як метод одержання даних вважається неістотним. На відміну від лінійної моделі, дані GPS можуть бути компенсовані у процесі попередньої і тематичної обробки в ДДЗ, наприклад, дороги, що не розрізнялись на супутникових зображеннях через недостатню їх розрізненість. У цьому випадку дані GPS проявляються в базі даних ГІС після інтеграції. Інтеграція ДДЗ з ГІС ґрунтується на виявленні змін земної поверхні за допомогою оверлейного аналізу за певний період.

Інтеграція ГІС з ДДЗ забезпечує спрощення сегментації об'єкта дослідження і її наступної класифікації для завантаження в базу даних ГІС. Впровадження додаткових даних, отриманих у процесі класифікації в ДДЗ,

дозволяє подолати традиційні обмеження, притаманні звичайній класифікації в ГІС, пов'язані з неоднорідністю зображення сцени і компенсуються топографічним ефектом. У будь-якому випадку отримується більш висока точність. Як наслідок, продукт, опрацьований в ДЗЗ, може бути інтегрований в ГІС для інших додатків, наприклад, оцінки відсотка непроникних і проникних поверхонь за допомогою оверлейного аналізу.

Ієрархічна модель інтеграції передбачає два рівні інтеграції (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 – Ієрархічна модель інтеграції [34]

Перший рівень інтеграції (оверлей) відбувається між даними GPS і ДЗЗ. Додатково до вищенаведеного виправлення похибок ДЗЗ, за допомогою похідних координат GPS, скориговані дані ДЗЗ прив'язуються за даними GPS.

Оверлей дозволяє встановити зв'язок між просторовими і атрибутивними характеристиками зображення.

Статистичні відношення між змінними можуть бути встановлені, наприклад, за допомогою пакета прикладних програм для просторового аналізу S-Plus.

Другий рівень інтеграції (моделювання) передбачає використання даних ДЗЗ, ГІС у математичних моделях з результатами першого рівня інтеграції.

Задача просторового моделювання може бути здійснена на основі ДДЗ або ГІС, в залежності від формату даних. Обробка аерокосмічних зображень припускає моделювання в растровому форматі аналогічно моделюванню в ГІС.

Ця модель інтеграції не передбачає прямого зв'язку між ГІС і ДДЗ. При цьому ДДЗ домінує над ГІС, що ґрунтується на растрових додатках. ДДЗ надає первинні дані, необхідні для моніторингу, в той час, як ГІС забезпечує середовище моделювання.

Технології GPS відіграють допоміжну роль, оскільки на другому рівні інтеграції безпосередньо не використовуються.

Комплексна модель інтеграції містить будь-які можливі зв'язки між будь-якими двома компонентами інтеграції і являє собою остаточний або загальний вид інтеграції між GPS, ДЗЗ і GIS (рис. 6.5).

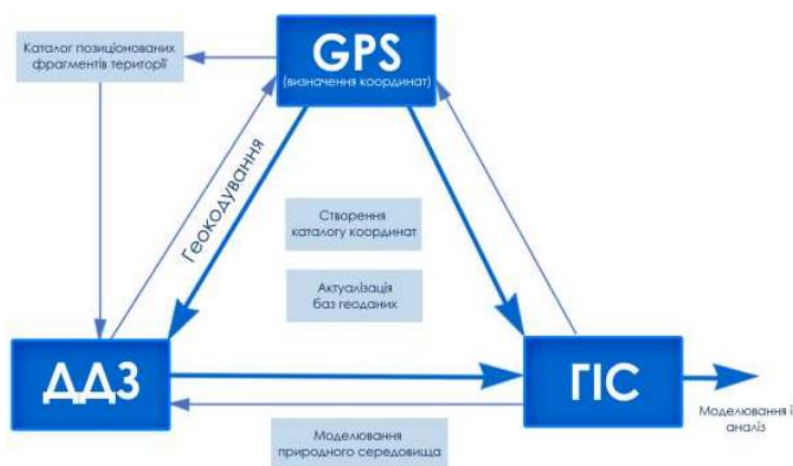


Рисунок 6.5 – Комплексна модель інтеграції [34]

Додатково до зв'язків між компонентами трьох вищенаведених моделей інтеграції, ця модель передбачає взаємодію між GPS і GIS. За цією моделлю дані GPS можуть бути безпосередньо експортовані до бази даних GIS для наступного коригування або створення нової бази даних. Цими даними можуть бути точкові, лінійні або полігональні об'єкти. Їх просторові (геометричні) характеристики повинні бути трансформовані до формату даних GIS перед інтеграцією.

Інтеграція GIS з GPS аналогічна інтеграції між ДЗЗ і GPS і запроваджується, коли результати моделювання GIS стосуються земельних ділянок або коли формується великий обсяг просторової земельно-кадастрової інформації за результатами моделювання земельних ділянок. Циклічна природа інтеграції за цією моделлю не дозволяє оцінити внесок кожної компоненти. Кожна з компонент (GPS, ДЗЗ, GIS), що бере участь в інтеграції, може бути домінуючою, залежно від специфіки додатку, для якого вона використовується.

6.3 Створення мозаїки

Одна з проблем, пов'язаних з трансформацією зображень, виникає у процесі вивчення великих ділянок місцевості, поданих кількома знімками.

Знімки можуть бути отримані різними системами або в різний час. Процедуру комбінування знімків для створення одного файлу зображення називають створенням мозаїки. Виконання цієї процедури пов'язане з вирішенням кількох завдань: поєднанням знімків за координатами, вирівнюванням їх контрасту за яскравістю, визначенням межі (лінії зшивання) між зображеннями, що з'єднуються, в ділянці їх перекриття, визначенням значень яскравості пікселів в ділянці перекриття, створенням результуючого зображення.

Усі зображення, вибрані для створення мозаїки, мають бути геокодовані в одній системі координат. Вирівнювання контрасту виконують перетворенням гістограм зображень, спрямованих на мінімізацію відмінностей між ними. Якщо гістограми об'єднаних знімків дуже відрізняються, то доцільно підбирати гістограми, побудовані лише для областей перекриття, оскільки на них фіксується розподіл яскравості тих самих об'єктів. Потім користувач, аналізуючи ділянку перекриття знімків, задає лінію їх «зшивання». Здебільшого цю процедуру виконують вручну, оскільки лінія може мати складну форму. Значення яскравості пікселів в ділянці перекриття можуть бути визначені різними способами: використовують значення, що накладаються на зображення зверху; обчислюють середнє значення пікселів двох зображень, мінімальне або максимальне; здійснюють лінійну інтерполяцію значень яскравості пікселів в ділянці перекриття.

Останнім кроком у створенні результуючого зображення є встановлення його меж, які визначаються межами території або межами кадрів знімків, що з'єднуються. Ця операція задає також кількість рядків і колонок у записі створеного зображення.

Мозаїку створюють із серії послідовних зображень, які підібрані і вирівняні так, щоб скласти одне велике зображення. Кожне вихідне зображення має свої неточності, зміщення і спотворення, що позначається на сумарних похибках мозаїки. Професійна ГІС має враховувати і видаляти похибки, щоб досягти високої точності та однорідності мозаїки. Часто спеціалісти ГІС мають одну польотну лінію знімків, яку потрібно сумістити (бічною стороною або кінцем) з іншою польотною лінією або з іншим супутниковим зображенням, яке не покриває ділянку повністю. При цьому вихідні зображення мають бути вирівняні відносно одне одного так, щоб вони становили одне зображення. Програмне забезпечення, за допомогою якого можна складати мозаїку,

неоднакове. Деякі програмні продукти з функцією створення мозаїки мають розширені можливості дешифрування і створення ортонаправлених або оцифрованих знімків, які не містять похибок зміщення або спотворень. Інші програмні продукти мають функцію створення мозаїки як вирішення частини завдань розробки ГІС, тоді як є пакети програмного забезпечення, які складають фотомозаїку лише для того, щоб створити більше зображення, яке можна буде експортувати у ГІС. Вибір програмного забезпечення залежить від того, як і для чого використовуватимуть мозаїку. У цьому розділі розглядаються усі аспекти створення і використання мозаїк, а також сучасне програмне забезпечення, яке при цьому використовують.

Принцип складання мозаїки можна застосувати не тільки до зображень, а й до тематичних шарів і цифрових моделей рельєфу (DEM) або до двох окремих зображень, які потрібно сумістити.

7 ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ГІС-ПРОЄКТУ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА КАДАСТРУ

План

7.1 Проєктування геоінформаційної системи для вирішення задач землеустрою та кадастру.

7.2 Просторові та атрибутивні дані.

7.3 Топологічні правила.

7.4 Технології ГІС-аналізу.

7.1 Проєктування геоінформаційної системи для вирішення задач землеустрою та кадастру

Проєктування ГІС – виробничий процес, що полягає у визначенні об’єктового складу ГІС, складу інформаційного забезпечення та функціональних можливостей, у виборі ГІС-оболонки і встановлюваних параметрів системи. Застосування ГІС для вирішення різних завдань, у різних організаційних схемах і з різними вимогами, обумовлює різні підходи до процесу проєктування ГІС. Виділяють п’ять основних етапів процесу проєктування ГІС:

1. Аналіз системи прийняття рішень. Процес починається з визначення всіх типів рішень, для прийняття яких потрібна інформація. Повинні бути враховані потреби кожного рівня і функціональної сфери.

2. Аналіз інформаційних вимог. Визначається, який тип інформації потрібен для прийняття кожного рішення.

3. Агрегування рішень, тобто угруповання завдань, в яких для прийняття рішень потрібна одна і та ж інформація.

4. Проектування процесу обробки інформації. На даному етапі розробляється реальна система збору, зберігання, передачі та модифікації інформації. Мають бути враховані можливості персоналу по використанню обчислювальної техніки.

5. Проектування та контроль над системою. Найважливіший етап – це створення і втілення системи. Оцінюється працездатність системи з різних позицій, при необхідності здійснюється коригування. Будь-яка система буде мати недоліки, і тому її необхідно робити гнучкою

Розробка аналітичного ГІС-проекту включає п'ять основних етапів.

Етап 1. Формулювання завдання аналізу і прийняття рішення щодо просторових об'єктів включає такі роботи:

- формулювання завдання аналізу і прийняття рішення щодо просторових об'єктів; наводиться проблема, що вимагає рішення, мета розробки проекту, критерії прийняття рішення про вибір місця розташування об'єктів;
- обґрунтування актуальності її рішення засобами ГІС-технологій;
- складання списку кінцевих користувачів продукту (аналітики, технічні фахівці, планувальники, офіційні особи, громадськість і так далі);
- вибір формату представлення підсумкового продукту: звіт, робочі карти, карти високої якості для презентації;
- формулювання перспективи розвитку і застосування проекту в майбутньому.

Етап 2. Виділення логічних частин завдання і розробка пропозицій щодо об'єднання результатів рішення підзавдань в інтегральне завдання складається з таких робіт:

- розділення завдання на логічні частини (підзавдання);
- визначення шарів, які потрібні для вирішення кожного підзавдання;

– формулювання стратегії об'єднання результатів рішення підзавдань в інтегральне завдання.

Етап 3. Проектування бази даних проекту визначає:

- оцифрування паперових карт;
- пошук інтерактивних карт і перетворення їх до одного формату (система координат, вид проекції);
- додавання до атрибутивних таблиць даних, необхідних для аналізу;
- управління даними полягає в перевірці просторової прив'язки у сусідніх шарах.

Етап 4. ГІС-аналіз включає процеси від простої розробки карт до складного просторового моделювання, яке реалізує представлення об'єктів реального світу для аналізу проблеми, імітації процесів, прийняття рішень, прогнозування спостережуваних процесів.

Просторове моделювання має на увазі застосування до просторових даних функцій ГІС однієї з трьох категорій:

- функції геометричного моделювання – обчислення відстаней, створення буферів і обчислення площ і периметрів;
- функції моделювання збігів – накладення наборів даних для пошуку ділянок із співпадаючими параметрами;
- функції моделювання близькості – розміщення, пошук шляху, зміна розподілу на райони.

Моделювання обов'язково завершується перевіркою відповідності рішення усім критеріям. Якщо рішення не задовольняє особу, що приймає рішення, є можливість змінювати методи і параметри моделі, повторювати аналіз, створюючи альтернативні сценарії і тим самим розробити імітаційну модель пошуку оптимального рішення.

Етап 5. Представлення результатів аналізу. Це можуть бути: карти, графіки, звіти, таблиці, результати експорту отриманих розрахунків в інші інструменти і так далі.

7.2 Просторові та атрибутивні дані

Географічна інформація – інформація про об'єкти і явища, які безпосередньо або опосередковано зв'язані з певним місцем розташування

відносно Землі. Вони є єдністю геопросторових, семантичних і часових даних географічних об'єктів [35].

Геопросторові дані – це дані про локальні просторові властивості: місце розташування, форму, розміри і просторові відношення географічних об'єктів, явищ, процесів в реальному земному просторі.

Просторові характеристики визначають положення об'єкта в заздалегідь визначеній системі координат. Традиційно пов'язують просторовий опис з координатними системами. Такого типа даних називають позиційним, оскільки він відображає ту частину інформації про об'єкти, яка визначає їх місце (позиціонує) розташування на земній поверхні або в деякій заданій системі координат. Основна вимога до просторового положення – точність.

Семантичні дані – це дані, якими описується змістовна, смислова інформація про географічні об'єкти, властивості географічних об'єктів. Властивість – це категорія, що виражає таку сторону об'єкта (сутності), яка обумовлює його відмінність або спільність з іншими об'єктами і виявляє себе при зіставленні різних об'єктів. Властивості типа об'єктів виділяють з множини всіх типів об'єктів підмножину об'єктів конкретного типа і є постійними для всіх об'єктів цього типа. Властивості різних об'єктів конкретного типа розрізняються своїми значеннями: так, наприклад, будівлі можуть мати різне число поверхів, матеріал споруди, призначення і тому подібне. Тематичний аспект обумовлений наявністю ознак визначеної тематики або предметної області. Це можуть бути економічні, статистичні, технічні, організаційні, управлінські та інші види даних. Вимогу до тематичних даних «повнота» означає, що цих даних вистачає для вирішення практичних завдань і немає необхідності проводити додатковий збір даних.

Часові дані фіксують час дослідження об'єкта і показують зміну властивостей об'єкта з часом. Основна вимога до часових даних – актуальність. Це означає, що актуальні дані можна використовувати для обробки. Неактуальні дані – це застарілі дані, які не можна повністю застосовувати в нових умовах, що змінилися. У більшості геоінформаційних технологій для подання параметров часу і тематичній спрямованості використовують один клас даних – атрибути.

Властивості географічних об'єктів представляються в базах даних набором атрибутів. Атрибут – синонім реквізиту – властивість, якісна або кількісна ознака, що характеризує просторовий об'єкт, і асоційований з його унікальним

номером або ідентифікатором. Набори значень атрибутів зазвичай представляються у формі таблиць реляційних баз даних. При цьому рядок (запис) представляє атрибути одного об'єкта, а стовпець (поле) – атрибути одного типа. Для впорядкування, зберігання і маніпулювання атрибутивними даними використовуються засоби систем управління базами даних (далі – СУБД).

Для атрибутів найважливішою характеристикою є тип використаної шкали вимірів. Атрибути можуть бути категоровані по шкалах виміру даних. Шкали виміру даних розділяються на шкали відношень, інтервальні, порядкові і номінальні. Загальноприйняте ділення шкал (і, відповідно, даних в цих шкалах) на якісні й кількісні. До кількісних відносять інтервальну (інтервалів) і раціональну (відношень) шкали, до якісних відносять шкали номінальну (найменувань) і ординальну (порядкову, рангову).

Окрім цього, атрибути можуть бути первинними (вимірними, введеними) і вторинними, розрахунковими, отриманими розрахунком із значень інших атрибутів. Окремий випадок таких розрахункових – це атрибути (звичайно просторові), які розраховуються виходячи з позиційних параметрів об'єктів (наприклад, периметр). Деяку властивість, безперервно розподілену в просторі, наприклад, на земній поверхні, зручно в математичному сенсі розглядати як поле (взагалі кажучи, різного вигляду – скалярного, векторного, тензорного, тривимірного або двовимірного, визначеного тільки на поверхні землі або з нею не зв'язаного).

У ГІС географічні об'єкти можуть бути представлені наступними поширеними комп'ютерними моделями:

- векторні моделі – це моделі географічних об'єктів на основі представлення векторів сукупностями координатних пар;
- растрові моделі – це моделі географічних об'єктів у вигляді сукупності чарунків регулярної сітки або растру;
- триангуляційні моделі – це моделі географічних об'єктів у вигляді мережі суміжних трикутників.

Просторова інформація про географічні об'єкти подається на карті наборами елементарних графічних примітивів – точок, ліній, областей.

Точками представляють такі географічні об'єкти, розмірами яких для конкретної мети можна нехтувати, наприклад, колодязь підземної комунікації, опора лінії електропередачі.

Лініями представляють такі географічні об'єкти, які є настільки вузькими, що мають довжину, але не мають площі. Наприклад, дороги, водні потоки, інженерні комунікації, межі.

Областями (замкнутими усередині полігону фігурами) представляють такі географічні об'єкти, які мають форму, місце розташування і площу. Наприклад, будівля, квартал, проїжджа частина вулиці.

Семантичну інформацію на картах передають умовними знаками (символами і кольором) і написами (наприклад, назва вулиці, поверховість будинку). Не зважаючи на велику різноманітність використовуваних умовних знаків і написів, насичення карт семантичною інформацією обмежене через відсутність вільного місця на карті для її відображення. Надзвичайна насиченість умовних знаків і написів приводить до втрати можливості сприйняття інформації з карти.

7.3 Топологічні правила

Топологія – це розділ математики, що вивчає ідею безперервності. Безперервність – це одна з фундаментальних властивостей категорії простору-часу. Топологія вивчає просторові відношення, які не змінюються при будь-яких безперервних перетвореннях простору. Топологія реалізується математичною процедурою явного визначення просторових відношень.

У ГІС реалізовано три базові топологічні відношення дуг:

- дуги, які з'єднуються в полігон, оточують область;
- дуги, що мають напрям, мають праві і ліві сторони;
- дуги з'єднуються у вузлах.

У ГІС топологія реалізується на основі оригінальної і простої ідеї – різні типи просторових відношень представляються зв'язаними списками об'єктів. На цій основі в ГІС формалізована топологічна група просторових відношень, які не змінюються при будь-яких безперервних перетвореннях простору:

1. Область – визначається дугами, що з'єднуються в полігон для оточення області.

2. Суміжність – визначається дугами, що мають напрям і тому мають праву й ліву сторони.

3. Зв'язність – визначається дугами, які з'єднуються у вузлах.

Створення і зберігання моделей географічних об'єктів на основі просторових відношень має ряд переваг:

- дані зберігаються ефективніше;
- дані можна обробляти швидше і великими наборами;
- топологія полегшує аналітичні функції.

Набори даних для одного і того ж району часто мають просторові відносини один з одним. Ці відносини можна бачити на карті, вони часто інтуїтивні, але в ГІС вони повинні бути задані точно. Наприклад, вулиці повинні з'єднуватися на перехрестях, земельні ділянки не повинні накладатися один на одного і т. д.

Топологія бази геоданих – це набір правил, які визначають, як точки, лінії і багатокутники спільно використовують геометрію. Правила можуть поширюватися на просторові об'єкти в одному класі просторових об'єктів – наприклад, одне топологічне правило, яке забезпечує, що два суміжних об'єкта, припустимо, два округи, мають загальні межі, так що межі районів не перетинаються. Правила також можуть поширюватися на просторові об'єкти в різних класах просторових об'єктів. Наприклад, межі районів (один клас просторових об'єктів) не повинні виходити за межі областей (інший клас просторових об'єктів), і повинні мати загальні межі.

7.4 Технології ГІС-аналізу

Будь-яка сучасна ГІС містить у собі набір засобів для аналізу просторово-атрибутивної інформації. Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей в розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами.

У більшості випадків геопросторовий аналіз виконується в наступній послідовності:

- 1) постановка проблеми;
- 2) оцінка вхідних даних;
- 3) вибір методу аналізу;

- 4) обробка даних;
- 5) оцінка і відображення результатів.

Виділимо основні функції ГІС, пов'язані з аналізом просторово-атрибутивної інформації.

Можливості непросторового (атрибутивного) аналізу [36]:

- запит за атрибутами і їх відображення;
- пошук цифрових карт і їх візуалізація;
- класифікація непросторових даних;
- картографічні виміри (відстань, напрям, площа);
- статистичні функції.

Можливості просторового аналізу [36]:

- «оверлейні» операції;
- аналіз близькості;
- мережний аналіз;
- пошук об'єктів;
- аналіз видимості/невидимості;
- прогнозування;
- картометричні функції;
- інтерполяція;
- зонування;
- створення контурів;
- декомпозиція і об'єднання об'єктів;
- буферизація;
- перекласифікація.

Аналітичні методики картографічних даних у ГІС майже не відрізняються від методик аналізу інформації на традиційних картах. Вимір кількісних параметрів об'єктів і їх математична обробка є загальноприйнятими. Проте розрахунки проводяться настільки швидко, що це дозволяє за короткі інтервали часу перевіряти величезне число припущень та гіпотез і підбирати найбільш відповідні з них.

Просторове розташування об'єктів досліджується за допомогою операцій аналізу розміщення, зв'язків та інших геопросторових взаємин об'єктів і їх атрибутів. До таких операцій можна віднести буферизацію, аналіз близькості,

оверлейний і мережний аналіз, районування та ін. Комбінуючи перераховані операції, можна вирішувати складні просторові завдання.

Буферна зона – це полігональний шар, створений шляхом розрахунку і побудови еквідистант або еквідистантних ліній, рівновіддалених відносно множини точкових, лінійних або полігональних просторових об’єктів (рис. 7.1). Операція «буферизації» застосовується, наприклад, з метою виділення трикілометрової пограничної зони, 20-метрової смуги відчуження залізничної лінії тощо. Буферна зона полігонального об’єкта може будуватися як зовні, так і всередині полігону. У випадку якщо відстані між об’єктами та еквідистантами ставляться у відповідність значення одного з його атрибутів, говорять про «буферизацію зі зважуванням».

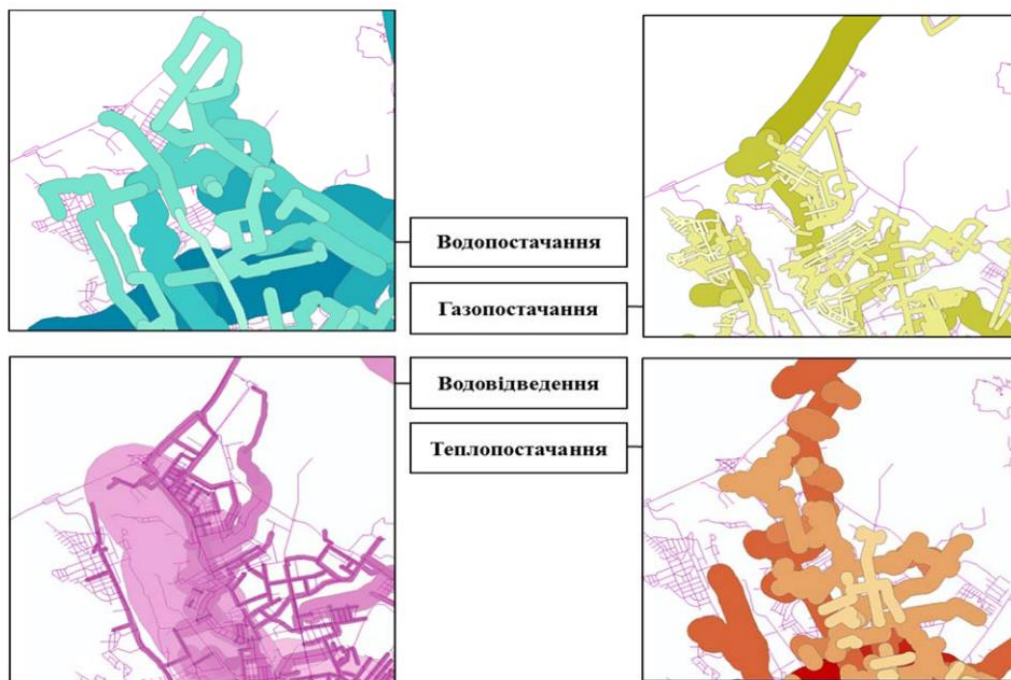


Рисунок 7.1 – Буферні зони навколо об’єктів

Оверлейна операція, оверлей – це операція накладення один на одного двох або більше шарів, результатом якої є графічна композиція (графічний оверлей) використовуваних шарів або єдиний результуючий шар, що несе в собі набір просторових об’єктів початкових шарів, топологію цього набору і атрибути, які є похідними від значень атрибутів початкових об’єктів у топологічному оверлеї чи векторній моделі представлень просторових об’єктів.

До оверлейних належать операції:

- визначення приналежності точки полігона;

- визначення приналежності лінії полігона;
- визначення приналежності полігона;
- накладення двох полігональних шарів;
- знищення меж однойменних класів полігонального шару з породженням нового шару;
- визначення ліній перетину об'єктів;
- об'єднання (комбінування) об'єктів одного типу;
- визначення точки дотику лінійного об'єкта тощо.

Окрім операцій топологічного оверлею, існують операції логічного або булевого оверлею. Усі операції (всього їх чотири) засновані на елементарних логічних функціях – логічні І, АБО, НІ і те, що виключає АБО.

Перекласифікація – це аналітична операція, спрямована на перетворення шару карти за заданою умовою. Виділяють декілька основних умов перекласифікацій. Одна з перших – це відсікання об'єктів, просторове положення яких не відповідає заданій позиції. Наступна умова – залишити об'єкти, що тільки знаходяться на північному сході. Третя умова перекласифікації – змінити значення якої-небудь величини, щоб вона відображалася на карті. Перекласифікація часто здійснюється за розміром об'єктів.

Картометричні функції – це операції, що дозволяють вимірювати відстані, площі, периметри, об'єми, які знаходяться між січними поверхнями тощо.

Процес районування (зонування) полягає в об'єднанні об'єктів на карті у великі регіони або території для узагальнення даних по цих територіях.

Мережний аналіз спрямований на розв'язання завдань для визначення найближчого, найбільш вигідного мережного (це може бути транспортна мережа, мережа телекомунікацій тощо) маршруту, встановлення рівнів навантаження на мережу, визначення зон впливу на об'єкти мережі інших об'єктів. Для вирішення складніших дослідницьких завдань застосовується моделювання розподілу просторових і атрибутивних параметрів графічних об'єктів методом регулярного осередку. Цей метод становить набір просторових операцій, у процесі виконання яких територія розбивається на регулярні осередки строго встановленого розміру і обчислюються статистичні значення просторових або атрибутивних даних об'єктів у цих осередках. Регулярний осередок є двомірним просторовим об'єктом, елементом розбиття земної

поверхні лініями регулярної мережі, тобто регулярно-комірчастого представлення просторових об'єктів, на відміну від пікселя (як елементу растрового представлення), що утворюється розбиттям лініями растру зображення (а не земної поверхні).

Аналіз видимості/невидимості – це одна з операцій обробки цифрових моделей рельєфу, яка забезпечує оцінку поверхні з точки зору видимості або невидимості окремих його частин шляхом виділення зон і побудови карт видимості/невидимості з деякої точки огляду або безлічі точок, заданих їх положенням у просторі (джерел або приймачів випромінювань).

Аналіз близькості – це просторово-аналітична операція, основана на пошуку двох найближчих точок серед заданої їх множини (пошук найкоротшої відстані) і використовується в різних алгоритмах просторового аналізу.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кохан С. С. Дистанційне зондування Землі : теоретичні основи : підручник / С. С. Кохан, А. Б. Востоков; передм. Д. О. Мельничука. – Київ : Вища шк., 2009. – 511 с.
2. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи : підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. . – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 316 с.
3. Рудий Р. М. Прикладна фотограмметрія : навч. посіб. / Р. М. Рудий. – Київ : НМК ВО, 1991. – 172 с.
4. Дорожинський О. Л. Фотограмметрія : підручник / О. Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів : Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 332с.
5. Пілічева М. О. Методи використання даних аерокосмічного знімання в задачах землеустрою: дис. ... канд. техн. наук ; 05.24.04 – кадастр та моніторинг земель / Марина Олегівна Пілічева. – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2016. – 153 с.
6. Геосистема [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://vingeo.com/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
7. Digital camera (airborne scanner) 3-DAS-1 Photogrammetric processing workflow [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.geosystema.net/Brochure/DASWorkflow.pdf>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
8. Тетеря А. М. Практичний досвід використання цифрової камери 3-DAS-1 / А. М. Тетеря // Вісник геодезії та картографії : наук.-вир. журн. – Київ : НДІГК, 2011. – № 6 (75). – С. 29–32.
9. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА / В. Галецький, В. Глотов, В. Колесніченко, О. Прохорчук, А. Церклевич // Геодезія, картографія та аерофотознімання : зб. наук. праць. – Львів : НУ «Львів. політех.», 2012. – № 76. – С. 85–93.
10. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів [Електронний ресурс] / В. Глотов,

А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. праць. – Електронні текстові дані. – Львів : НУ «Львів. політех.», 2014. – Вип. 2. – С. 65–70. – Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/sdgn_2014_2_17.pdf, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.

11. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, А. Церклевич, О. Збруцький, В. Колісніченко, О. Прохорчук, Р. Карнаушенко, В. Галецький // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів : НУ «Львів. політех.», 2014. – № I(27). – С. 131–136.

12. Розробка та дослідження БПЛА для аерознімання [Електронний ресурс] / В. М. Глотов, А. В. Гуніна, В. Б. Колесніченко, О. В. Прохорчук, М. І. Юрків. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/6__1.pdf, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.

13. Пілічева М. О. Технологія виконання геодезичних робіт при інвентаризації зелених насаджень території з використанням безпілотних літальних апаратів [Електронний ресурс] / М. О. Пілічева, Т. В. Анопрієнко, Л. О. Маслій // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Електронні текстові дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – Вип. 3 (170). – С. 263–270. – Серія «Технічні науки та архітектура». – Режим доступу: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5985/5901>, вільний (дата звернення: 18.08.2022). – Назва з екрана.

14. Hexagon geospatial [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.hexagongeospatial.com/products/producer-suite/erdas-imagine>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.

15. Exelis Visual Information Solutions [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: www.exelisvis.com/, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.

16. PCI Geomatics [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.pcigeomatics.com/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.

17. SupreSoft Inc [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.supresoft.com.cn/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
18. Clark Labs [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://clarklabs.org/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
19. Leica Geosystems [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.leica-geosystems.com/en>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
20. Pix4D [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://www.pix4d.com/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
21. Agisoft [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://www.agisoft.com/>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
22. Toutin T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *INT. J. Remote sensing*. – 2004. – Vol. 25. – No. 10. – P. 1893–1924.
23. WorldView-1 Imagery Products Guide [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.eurimage.com/products/docs/worldview-1.pdf>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
24. IKONOS Imagery Products Guide. [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.geoeye.com/CorpSite/products/products/satellite-imagery/Default.aspx>, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
25. QuickBird Imagery Products. Product Guide [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: http://glcf.umd.edu/library/guide/QuickBird_Product_Guide.pdf, вільний (дата звернення: 06.01.2023). – Назва з екрана.
26. Глотов В. Технологічні особливості наземного цифрового знімання гідротехнічних споруд. [Електронний ресурс] / В. Глотов, Ю. Голубінка, Т. Ільків. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1734/gka71200938.pdf>, вільний (дата звернення: 08.01.2023). – Назва з екрана.

27. Remondino F. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons / Fabio Remondino, Clive Fraser // IAPRS: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden 25-27 September 2006. – Volume XXXVI. – Part 5. – P. 266–272.

28. Пацетник О. Дослідження запропонованих способів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер / О. Пацетник // Геодезія, картографія та аерофотознімання : зб. наук. праць. – Львів : НУ «Львів. політех.», 2011. – № 75. – С. 93–99.

29. Тревого І. Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів / І. Тревого, А. Баландюк, А. Григораш // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. праць. – Львів : НУ «Львів. політех.», 2010. – Вип. 1 (19). – С. 170–176.

30. Leica Cyclone FIELD 360 [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360>, вільний (дата звернення: 10.01.2023). – Назва з екрана.

31. Revit Architecture [Електронний ресурс] : офіційний сайт. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/revit/architecture>, вільний (дата звернення: 10.01.2023). – Назва з екрана.

32. Кобилін О. А. Методи цифрової обробки зображень: навч. посіб. / О. А. Кобилін, І. С. Творошенко. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 124 с.

33. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.

34. Зацерковний В. І. Аналіз моделей інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища [Електронний ресурс] / В. І. Зацерковний // Математичні машини і системи : наук. журн. – Електронні текстові дані. – Київ : ІПММС НАНУ, 2014. – № 4. – С. 44–52. – Режим доступу: http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2014/2014_4/04_2014_Zatserkovnij.pdf, вільний (дата звернення: 13.01.2023). – Назва з екрана.

35. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посіб. / В. Д. Шипулін ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 313 с.

36. Донченко М. В. Геоінформаційні системи : навч. посіб. / М. В. Донченко, І. І. Коваленко. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. – 132 с.

Навчальне видання

ПІЛІЧЕВА Марина Олегівна

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАТИКИ,
ФОТОГРАММЕТРІЇ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *О. Є. Поморцева*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *М. О. Пілічева*

План 2022, поз. 203Л

Підп. до друку 23.01.2023. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 6,3.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.