

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко, Вікт.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва  
**СІНЕРГЕТИЧНА ОБРОБКА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ І ОПТИЧНИХ  
ДАНИХ**

*Анотація.* Проаналізовано можливості синергетичної обробки радіолокаційних і оптичних даних. Наведено алгоритм інтерферометричної обробки пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР, що використовується для подальшого злиття радіолокаційних і оптичних зображень.

*Ключові слова:* радіолокаційне зображення, злиття даних, геометрична корекція.

**Постановка проблеми**

Однією з тенденцій останнього десятиліття в зондуванні Землі з космосу став комплексний підхід до обробки даних: спільне використання даних різних інструментів, у тому числі, оптичних і радіолокаційних [1]. Оскільки кожний з названих методів спостереження Землі має як переваги, так і обмеження в застосуванні, які мають різну природу, об'єднання даних являє собою безперечний вигравш у порівнянні з роздільною обробкою за рахунок розширення об'єму одержуваної інформації завдяки як взаємодоповнюваності, так і взаємозамінності. Зображення в оптичному діапазоні містять інформацію про відбиту або перевідбиту енергії сонячного світла й інформацію про хімічний склад поверхневого шару, у той час як зображення, отримані в мікрохвильовому діапазоні, надають дані про геометричні та фізичні параметри поверхні. Для якісного сполучення таких даних необхідно залучати додаткову інформацію про орбітальні й інші геометричні параметри. В областях пересіченого рельєфу необхідно залучати також цифрові карти висот.

**Аналіз останніх досліджень**

У цей час існує цілий ряд космічних сенсорів високого розрізнення, на основі даних яких можна будувати досить деталізовані цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Застосування тривимірних моделей міського середовища диктується особливістю геометрії зображень, одержуваних при похилих трасах зондування

радіолокаційними станціями бічного огляду. При такому зондуванні на радіолокаційних зображеннях (РЛЗ) верхні точки будинків зміщуються стосовно нижніх у бік проекції орбіти супутника на земну поверхню (на РЛЗ спостерігається, так зване, «перекидання» будинків (рис. 1)). Наявність тривимірних моделей дозволяє спотворені радіолокаційні зображення перевести в ортофотоплани, що значно підвищить точність інтерпретації результатів. З іншого боку, застосування РЛЗ дозволяє перейти від статичних тривимірних моделей до динамічних, що враховують періодичні коливання висоти земної поверхні. У свою чергу, такі динамічні моделі відкривають можливість для кількісного прогнозування деформацій будинків і споруджень на основі методів математичного моделювання [2, 3].

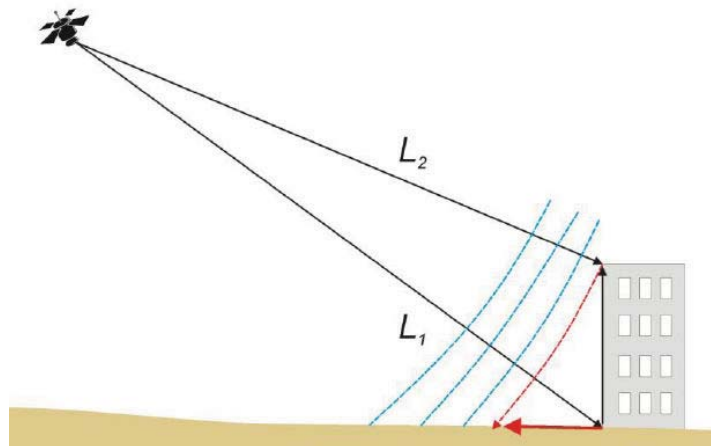


Рисунок 1 - Схема зондування радіолокаційної зйомки, що пояснює ефект «перекидання» будинків

#### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Ціль роботи полягає в аналітичному огляді можливостей синергетичної обробки радіолокаційних і оптичних даних та розробці алгоритму інтерферометричної обробки пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР, що використовується для подальшого злиття радіолокаційних і оптичних зображень.

#### **Основна частина**

Радіолокаційна зйомка Землі проводиться вже досить тривалий час. Її основні переваги — можливість одержання інформації незалежно від хмарності й освітленості та оперативність. Крім того, РЛЗ дозволяють визначати вертикальні зсуви з високою точністю (аж до декількох міліметрів), що є альтернативою дорогим і

працезатратним наземним вимірам. Останнім часом спостерігається сплеск інтересу до даного виду зйомок. Це пояснюється в першу чергу появою радіолокаційних знімків із суттєво більш високими споживчими властивостями. Серед них у першу чергу слід зазначити підвищення просторового розрізнення, комбінацію різних поляризацій сигналу і, що дуже важливо, можливість одержання інтерферометричних пар. Дешифрування радарних знімків має принципові відмінності від дешифрування знімків, отриманих в оптичному діапазоні. Вони обумовлені рядом специфічних особливостей, властивих радарній зйомці:

- зображення отримане в діапазоні електромагнітних хвиль, відбивна здатність яких принципово відрізняється від відбивної здатності оптичного діапазону;
- специфічна проекція зображень, тому що вихідна система координат це: похила дальність – азимут;
- великий кут нахилу зйомки (у випадку, наприклад, Terrasar-X від 20 до 60 градусів) ;
- наявність спекл-шуму;
- відсутність тіней у звичному розумінні та наявність радіолокаційної тіні.

Але придатними до використання РЛЗ стають тільки після їхнього переведення в картографічну проекцію, що виконується за допомогою точної геометричної моделі, опорних точок (GCP) і цифрової моделі місцевості. При цьому серйозну проблему представляє збір опорних точок. Сама процедура збору точок дуже дорога, зокрема для важкодоступних районів. Іноді це просто неможливо в силу конкретних обставин, наприклад, повеней або розливу нафти. По-друге, на РЛЗ, на відміну від знімків з оптичних супутників, дуже важко розпізнати опорні точки, а в районах з гористим рельєфом це стає ще складніше через ефект короткозорості (foreshortening) і накладення (layover). Саме через труднощі, пов'язані зі збором опорних точок, раніше було неможливе автоматично створювати високоточні радіолокаційні ортознімки.

Розглянемо деякі властивості РЛЗ на прикладі радіолокатора із синтезованою апертурою PALSAR, розташованого на супутнику ALOS. Оскільки в ALOS застосовуються новітні технології точного визначення координат і просторового положення супутника, те цю

інформацію можна використовувати для точного ортотрансформування знімків PALSAR у будь-яку картографічну проекцію GCP. Радіолокатор PALSAR є радіолокатором L-діапазону (довжина зондувальної хвилі – 23 см). Дані ALOS PALSAR придатні для побудови рельєфу та моніторингу зсувів інтерферометричним методом, для моніторингових завдань лісового й сільського господарства і т.д. L-діапазон дозволяє довше зберігати когерентність, і, до деякої міри, компенсувати її падіння, викликане впливом рослинності. Режим зйомки PLR (повна поляризація випромінювання) дозволяє додатково підвищити когерентність і оптимізувати інтерферограму за рахунок зйомки з повною поляризаційною матрицею. У свою чергу, дані ALOS PALSAR FBS (однополяризаційний режим зйомки) характеризуються високим просторовим розрізненням – 7 м.

Безпосередньо інтерферометрична обробка пари радіолокаційних зображень із метою одержання ЦМР у загальному випадку складається з декількох базових кроків:

1. Сполучення основного та допоміжного радіолокаційних зображень інтерферометричної пари (в автоматичному режимі або з ручним введенням контрольних точок).

2. Генерація інтерферограми, що є результатом комплексного поелементного перемножування основного зображення та зображення, комплексно сполученого з допоміжним.

3. Поділ компонентів фаз набігу за рахунок огляду топографії під двома різними кутами та набігу за рахунок зсуву поверхні в період між зйомками за рахунок синтезу фази рельєфу.

4. Фільтрація інтерферограми, що дозволяє деякою мірою зменшити фазовий шум за рахунок загрублення вихідної ЦМР.

5. Одержання файлу когерентності для області перекриття двох знімків, що становлять інтерферометричну пару, у значеннях від 0 до 1 для кожної пари відповідних один одному пікселів.

6. Розгорнення фази (процедура переходу від відносних значень фази до абсолютних).

7. Корекція базової лінії.

8. Перетворення абсолютних значень фази у відносні або абсолютні висотні оцінки в метрах, з одержанням на виході ЦМР.

Детальний огляд і підвищення ефективності кожного з наведених кроків є предметом окремої роботи.

З іншого боку, існує безліч аспектів, які необхідно прийняти в розгляд, перш ніж приступити до об'єднання радіолокаційного й оптичного зображень. Залежно від геометричних властивостей зображень, необхідно уточнити умови обробки, у їхньому числі:

- геометрична модель трансформації,
- контрольні точки (кількість, розподіл, точність),
- цифрова модель рельєфу,
- метод переоцифровки (передискретизації).

Методи злиття зображень відносять до синергетичних технологій, оскільки при спільному аналізі даних оптичних і радіолокаційних сенсорів (рис.2) отримана інформація є ні в якій мірі не надлишковою, а комплементарною. При злитті зображень часто доводиться залучати додаткові дані (топографічні карти, GCP-координати, геофізичну інформацію і т.д.). Основною метою спільної обробки даних радіолокаційного й оптичного походження є розширення кола завдань, розв'язуваних методами дистанційного зондування Землі, а також підвищення якості даних (наприклад, збільшення надійності, усунення або скорочення ступеня неоднозначності, оптимізація ступеня детальності, необхідної для класифікації, заповнення областей відсутності даних у випадку хмарності для оптичних зображень або областей тіні для радіолокаційних).

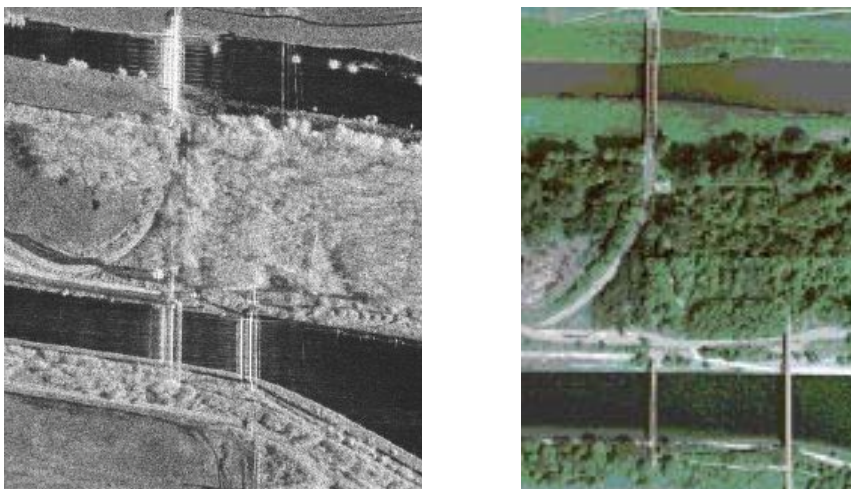


Рисунок 2 - Радіолокаційне (ліворуч) та оптичне (праворуч) зображення



Рисунок 3 - Побудована ЦМР (ліворуч) та результат злиття (праворуч) зображень, поданих на рис.2

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Приклад виконаної нами сумісної обробки оптичних і радіолокаційних зображень (рис.2) подано на рис.3. Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням злиття таких даних за допомогою перетворення RGB $\leftrightarrow$ HIS.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Гнатушенко В.В. Злиття космічних даних різного просторового розрізнення / В.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (31). – Дніпропетровськ, 2004. – С. 67–72.
2. Баранов Ю.Б. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR / Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, М.А. Болсуновский // Геоматика. – 2008. – №1. – С.37–45.
3. Никольский Д.Б. Уровни обработки радиолокационных данных / Д.Б. Никольский // Геоматика.- 2008.-№ 1.-С.25-36.
4. Lichtenegger J. Combining optical/infrared and SAR images for improved remote sensing interpretation / J.Lichtenegger // ESA Bulletin, 66, 1991. – P.119–121.

Отримано 30.04.2010р.