

І.Н. Прудіус, Л.В. Лазько, Т.С. Голотяк, С.О. Семенов
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

КОМПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ПАСИВНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ НА ОСНОВІ БАГАТОРІВНЕВОГО МЕТОДУ

© Прудіус І.Н., Лазько Л.В., Голотяк Т.С., Семенов С.О., 2006

Запропоновано новий метод комплексування даних у багатоканальних супутникових системах дистанційного зондування, властивості якого було перевірено на основі даних, отриманих за допомогою супутника Landsat 7 ETM+. Перевага запропонованого методу полягає у застосуванні багаторівневого підходу до комплексування інформації у різних спектральних діапазонах і була підтверджена порівнянням з системами без комплексування або з комплексуванням на рівні даних.

In this paper the new approach of data fusion in the multi channel satellite systems of remote sensing, which properties were test on the base of real Landsat 7 ETM+ satellite, data is oposed. The advantage of proposed method consists in the multilevel approach of data fusion application in different spectral diapasons and it was approved by comparing with systems without fusion or with fusion on the data level.

Сучасні системи спостереження, побудовані на основі сенсорів різного типу та відповідних підходів комплексування інформації, дають змогу розв'язувати різноманітні задачі дистанційного зондування, моніторингу навколишнього середовища, ідентифікації та супроводу об'єктів. Після відповідної обробки, отриману інформацію інтенсивно використовують в сільському господарстві, лісництві і земельному господарстві, картографії, геології, гідрології і моніторингу навколишнього простору. Використовуючи оптичний та інфрачервоний діапазони, за допомогою сучасних супутникових систем моніторингу, можна отримати зображення в широкому діапазоні роздільних здатностей.

Незважаючи на існування великої кількості методів комплексування інформації, отриманої у формі зображень, їх можна класифікувати за такими рівнями: на основі даних (пікселів), ознак та рішень. У запропонованому багаторівневому методі комплексування здійснюється сумісне застосування цих трьох рівнів комплексування.

Властивості запропонованого методу були досліджені на основі даних, отриманих за допомогою супутника Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) [1] з 7 каналами у видимому та інфрачервоному діапазонах.

Запропонований метод комплексування був перевірений на основі розв'язання гідрологічної задачі, а саме, визначенні границь водних об'єктів на основі 1–5-го спектральних каналів супутника Landsat 7 ETM+, після застосування першого етапу обробки [2], який включає корекції геометричних спотворень, калібрування та повторну дискретизацію даних. На основі отриманих даних була поставлена задача детекції водного об'єкта (річки).

Отримані результати показують, що запропонований багаторівневий метод забезпечує найменшу ймовірність похибки (ймовірність пропуску цілі та ймовірність хибної тривоги) порівняно з системами, що використовують окремі канали. Порівняння з системами, де було використано комплексування на рівні пікселів, показало, що при дещо гіршій ймовірності хибної тривоги було досягнуто значне покращання ймовірності пропуску цілі. Запропонований метод комплексування даних забезпечує приблизно однаковий рівень ймовірності хибної тривоги, але характеризується найкращою ймовірністю пропуску цілі серед усіх розглянутих методів комплексування інформації для детекції водних поверхонь.

Принципи комплексування інформації у системах формування зображень

Незважаючи на існування великої кількості методів комплексування інформації у системах формування зображень, більшість з них містять такі рівні комплексування: на основі даних, ознак та рішень [3]. Кожен з вказаних рівнів характеризується різними схемами обробки інформації та різним обсягом обчислювальних затрат на її проведення.

Комплексування на рівні даних

Комплексування на рівні даних (пікселів) (рис. 1) разом із високими обчислювальними витратами може забезпечити найкращі результати, оскільки використовує дані від усіх сенсорів. Розглядаючи умову відсутності втрат під час прийому, якість комплексування даних на цьому рівні визначається застосованими методами подальшої обробки. Одне з найважливіших завдань на цьому етапі полягає у забезпеченні спільної реєстрації даних, яка полягає у пошуку зв'язків між даними, отриманими різними сенсорами у різних каналах. Наприклад, у багатоспектральних системах, після відповідної обробки, відповідні пікселі у кожному спектральному каналі відповідають за ту саму просторову координату. Дані, отримані на основі сенсорів, що працюють на основі подібних фізичних принципів, переважно є співвимірними, тому масиви даних відповідних сенсорів можна використати безпосередньо. В іншому випадку (неспіврозмірні вимірювання), перед початком комплексування необхідно застосовувати повторну дискретизацію та компенсацію деформувань.

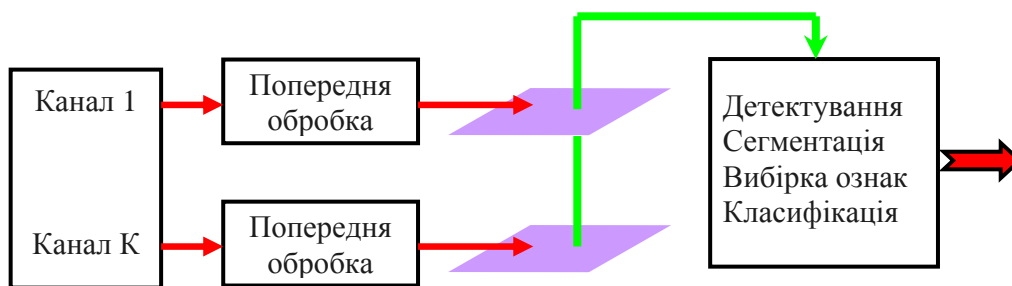


Рис. 1. Комплексування на рівні даних

Комплексування на рівні ознак

Комплексування на рівні ознак (рис. 2) полягає у поєднанні ознак, які були виділені незалежно у кожному каналі. Через відсутність спільного аналізу інформації з сенсорів різних каналів, цей рівень має менші обчислювальні витрати. Отримані ознаки разом із відповідною просторовою прив'язкою формують спільний простір ознак, що використовується для ідентифікації та супроводу об'єктів. Звичайно такий принцип базується на порівнянні виділених ознак з наперед створеним простором ознак, який містить ознаки, визначені на основі моделей всіх можливих об'єктів. Цей рівень комплексування широко використовується у багатосенсорних системах розпізнавання об'єктів, в яких поєднуються міліметровий, інфрачервоний та оптичний діапазони.



Рис. 2. Комплексування інформації на рівні ознак

Комплексування на рівні рішень

На цьому рівні (рис. 3) комплексування інформації проводиться на основі рішень, прийнятих окремо на підставі даних кожного каналу (сенсора). Для отримання остаточного рішення, залежно від важливості певних каналів, можна використовувати різні типи логічних операцій. Оскільки дані та рішення отримують у кожному каналі незалежно, цей метод є менш чутливим до якості проведення спільної реєстрації даних, однак для забезпечення кращої якості кінцевих зображень, точність обробки даних у кожному каналі має бути покращена. Цей рівень характеризується найменшими обчислювальними витратами.

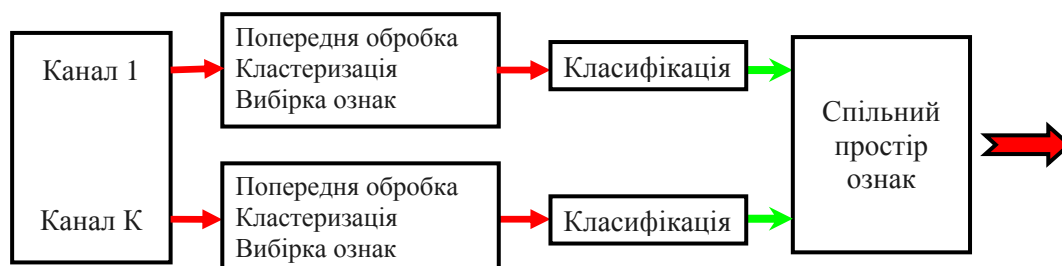


Рис. 3. Комплексування інформації на рівні рішень

Багаторівневий метод комплексування

Запропонований багаторівневий метод комплексування інформації передбачає сумісне застосування трьох вищевказаних рівнів комплексування. Властивості методу були протестовані на основі розв'язання гідрологічної задачі, а саме: визначенні границь водних об'єктів на основі 1–5-го (рис. 4) [1] спектральних каналів супутника Landsat 7 ETM+, після застосування першого етапу обробки, який включає корекції геометричних спотворень, калібрування та повторну дискретизацію даних. На основі отриманих даних було поставлено задачу детекції водного об'єкта, а саме: річки. Вибір цього набору каналів був зумовлений рекомендаціями LTAP (Long Term Acquisition Plan) [2] для супутника Landsat 7, в якому описані характеристики різних типів поверхонь у кожному з каналів і канали 1–5 запропоновано використовувати як основні через їх чутливість до об'єктів такого типу.

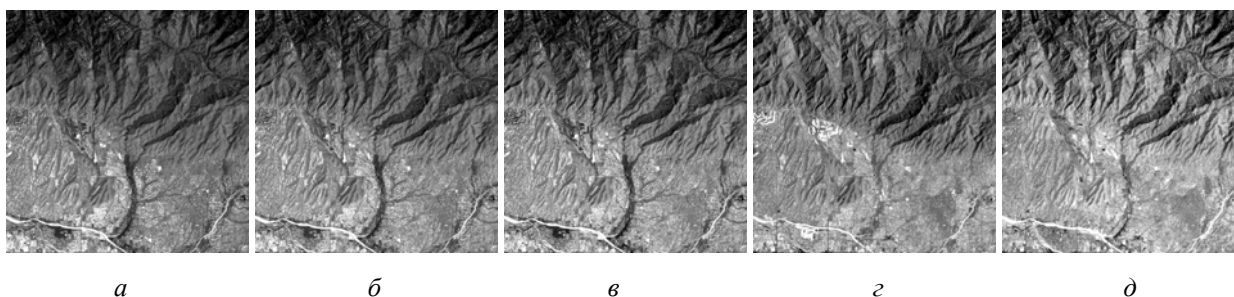


Рис. 4. Landsat 7 ETM+ канали: а) канал 1 (синій); б) канал 2 (зелений); в) канал 3 (червоний); г) канал 4 (ближній ІЧ); д) канал 5 (ІЧ)

Кожен з вказаних каналів характеризується такими властивостями [4]:

1) 0.45–0.53 мкм (синій) (рис. 1,а): завдяки короткій довжині хвилі, цей канал, має властивість проникнення у воду, що робить його корисним для вимірювання глибин озер, річок і прибережних вод; також він дає змогу здійснювати класифікацію рослинності і ґрунтів, різноманітних видів флори (рослинності, хвойних і листяних лісів);

2) 0.52–0.60 мкм (зелений) (рис. 1,б): споріднений з максимальним відбиттям від рослинності, даний канал, дає можливість оцінювання забрудненості води на основі вимірювання концентрації осаду;

3) 0.63–0.69 мкм (червоний) (рис. 1, в): найспорідненіший з властивістю поглинання хлорофілу, цей канал, дає можливість проводити класифікацію рослинності;

4) 0.76–0.90 мкм (ближній інфрачервоний) (рис. 1, г): цей канал широко використовується для характеристики покритих водою об'єктів і аналізу стану рослин;

5) 1.55–1.75 мкм (короткохвильовий інфрачервоний) (рис. 1, д): цей канал дає змогу проводити аналіз вологості поверхневого покриття.

Як бачимо, кожен тип каналу характеризується властивостями взаємодії з різними об'єктами, що забезпечує широкі можливості для обробки і подальшого аналізу зображень, отриманих з цих каналів.

Оцінювання результатів комплексуювання здійснюють порівнянням карти розташування шуканого об'єкта (річки) з результатами роботи методу, за допомогою розрахунку ймовірностей пропуску цілі і хибної тривоги [5], як основних критеріїв відповідності отриманого зображення оригіналу. У випадку, коли піксель реального зображення не є наявним у отриманому зображенні, говоримо про поняття пропуску цілі; в оберненому випадку, коли піксель отриманого зображення не є наявним в реальному зображенні, говоримо про поняття хибної тривоги. Важливість ймовірностей пропуску цілі і хибної тривоги в різних системах є різною: в одних системах ставка робиться на максимальне зменшення значення однієї з ймовірностей, у той час як значення іншої не є критичним і не потребує додаткових витрат щодо його зменшення. Прикладом систем, де критичним є значення ймовірності пропуску цілі, є системи сигналізації, де пропуск цілі є абсолютно неприпустимим, в той час коли витрати у разі хибного спрацювання системи обійдуться значно дешевше, аніж втрати внаслідок її неспрацювання. Ситуація є оберненою у пропускних системах, де ймовірність хибної тривоги повинна бути якомога меншою, а значення ймовірності пропуску цілі не є критичним. Під час розробки досліджуваного багаторівневого методу комплексуювання в основу було використано критерій Неймана-Пірсона [5], в якому основну увагу було зосереджено на зменшенні значень ймовірності пропуску цілі при забезпеченні відповідного рівня ймовірності хибної тривоги.

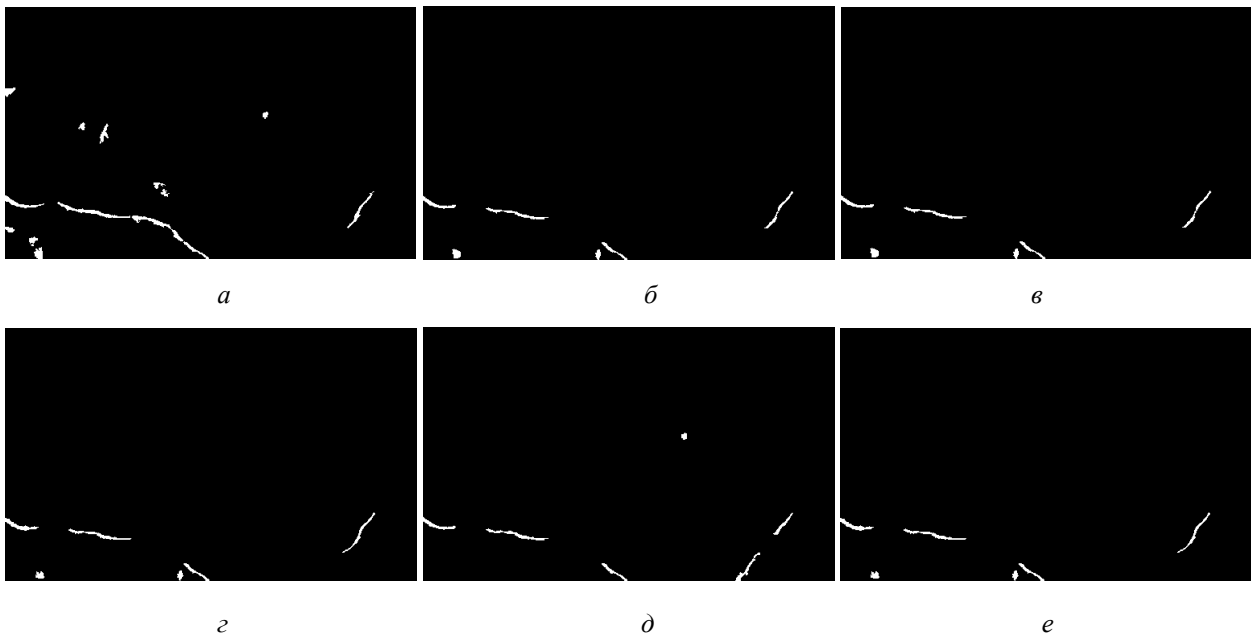


Рис. 5. Детекція річки на основі даних, отриманих після комплексуювання на піксельному рівні:
 P_{123} (а); P_{124} (б); P_{345} (в); P_{1234} (г); P_{2345} (д); P_{12345} (е)

Як було відзначено вище, суть методу багаторівневого комплексуювання полягає в сумісному застосуванні всіх трьох рівнів комплексуювання даних. Спочатку зображення, отримані з різних спектральних каналів, піддаються піксельному комплексуюванню (1) [5],

$$I = \bigcup_i w_i I_i, \quad (1)$$

де I_i – інтенсивність зображення i -го каналу; w_i – ваговий коефіцієнт відповідного каналу; після чого кожне з отриманих комплексованих зображень проходить стадію кластеризації [6],[7] (виділення пікселів шуканого об'єкта (річки) (2) (рис. 5).

$$D_i = \text{Cluster}(P_i), \quad (2)$$

де P_i – множина пікселів в i -му каналі; D_i – множина рішень, зроблених на основі P_i .

Числові результати піксельного рівня комплексування, після експериментального встановлення найкращих співвідношень вагових коефіцієнтів, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількісна оцінка результатів піксельного рівня комплексування

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тревоги
P_1	0.4117	0.0039
P_2	0.2568	0.0046
P_3	0.1933	0.0052
P_4	0.4682	0.0070
P_5	0.1040	0.0042
Піксельне комплексування P_{123}	0.2826	0.0028
Піксельне комплексування P_{124}	0.5792	0.0007
Піксельне комплексування P_{135}	0.4557	0.0005
Піксельне комплексування P_{345}	0.5792	0.0007
Піксельне комплексування P_{1234}	0.5890	0.0007
Піксельне комплексування P_{2345}	0.4236	0.0009
Піксельне комплексування P_{12345}	0.4836	0.0007

Далі із зображення, отриманого з окремого каналу (в нашому випадку – каналу 4, який був вибраний згідно з рекомендаціями LTAP, оскільки характеризується найкращою чутливістю до виділення водних об'єктів), проводиться виділення ознак (детекція контурів) усіх об'єктів, наявних у зображенні (3) [8].

$$F_4 = \text{Edge}(P_4), \quad (3)$$

де F_4 – множина ознак, виділених з P_4 .

У наступному кроці проводимо зважене комплексування рішень (4) про шукану карту річки, на основі рішень, прийнятих в окремих каналах та каналах, отриманих з використанням комплексування на піксельному рівні,

$$D_{all} = \bigcup_i w_i D_i, \quad (4)$$

де w_i позначає вагові коефіцієнти відповідних каналів: $P_1, \dots, P_5, P_{123}, P_{124}, P_{135}, P_{345}, P_{1234}, P_{2345}, P_{12345}$.

На основі даних комплексування, разом із ознаками, виділеними з 4-го каналу, приймаємо рішення про детекцію контурів річки (5) та її карту (6) (рис.6).

$$D_f = (D_{all} \cap F_4), \quad (5)$$

$$D_{gen} = (D_{all} \cap F_4) \cup D_{all}. \quad (6)$$

Аналіз отриманого зображення (рис. 6), вказує на наявність досить великої кількості хибних об'єктів, для усунення яких здійснюємо таку операцію (7):

$$D_{final} = D_{gen} \cap D_{1234} \cap D_{2345} \quad (7)$$

і отримуємо остаточний результат детектування карти річки (рис. 7,а), який порівнюємо з її реальною картою (рис. 7, б).



Рис. 6. Виділення карти річки на основі детектування в окремих каналах та з врахуванням ознак, виділених у 4-му каналі

Таблиця 2

Кількісна оцінка результатів дослідження впливу каналу, на основі якого відбувається виділення ознак, на остаточний результат детекції карти річки

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тривоги
P_1	0.0642	0.0022
P_2	0.0649	0.0022
P_3	0.0663	0.0022
P_4	0.0642	0.0022
P_5	0.1012	0.0021
Комплексування на рівні ознак P_{123}	0.0642	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{124}	0.0628	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{135}	0.0663	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{345}	0.0628	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{1234}	0.0642	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{2345}	0.0663	0.0022
Комплексування на рівні ознак P_{12345}	0.0663	0.0022



a



б

Рис. 7. Остаточний результат детекції карти річки (а) та її реальна карта (б)

Таблиця 3

Кількісна оцінка багаторівневого методу комплексування даних

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тривоги
Багаторівневе комплексування	0.0642	0.0022

Висновки

Отримані результати показують, що запропонований багаторівневий метод забезпечує найменшу ймовірність похибки (ймовірність пропуску цілі – 0,0642 проти 0,1040, та ймовірність хибної тривоги – 0,0022 проти 0,0039) порівняно з системами, що використовують окремі канали. Порівняння з системами, де було використано комплексування на рівні пікселів, показало, що при дещо гіршій ймовірності хибної тривоги (0,0022 – як результат роботи методу, проти 0,0005 – у випадку піксельного комплексування даних 1-го, 3-го та 5-го каналів) було досягнуто значне покращання ймовірності пропуску цілі (0,0642 – як результат роботи методу, проти 0,2826 – у випадку піксельного комплексування даних 1-го, 2-го та 3-го каналів).

1. <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. 2. <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov>. 3. Hall D. (ed) and Llinas J. (ed.), *Handbook of Multisensor Data Fusion*, CRC Press LLC, 2001. 3. <http://www.infoterra-global.com>. 4. Гмурман В.Е., *Теория вероятностей и математическая статистика*, М.: ВШ, 2000. 5. A.K. Jain and R.C. Dubes. *Algorithms for Clustering Data*, Prentice Hall, 1988. 6. P. Felzenszwalb, D. Huttenlocher, *Image Segmentation Using Local Variation*, Proc. IEEE, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 98–104, 1998. 7. MathWorks MatLab release 14 software operation manual. 8. I. Prudyus, T. Holotyak, L. Lazko, *Multilevel data fusion in multichannel imaging systems*, Proc. SPIE, *Photonics applications in astronomy, communications, industry and high-energy physics experiments IV*, volume 6159, pp. 61594C-1–61594C-5, Wilga, Poland, 2005.

УДК 621.396.67.01

М.І. Андрійчук, О.Ф. Заморська

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України

ОПТИМІЗАЦІЯ АМПЛІТУДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПРОМІНЮВАННЯ ХВИЛЕВОДНИХ АНТЕН У ЧАСТОТНОМУ ДІАПАЗОНІ

© Андрійчук М.І., Заморська О.Ф., 2006

Розглянуто задачі синтезу за заданими амплітудними характеристиками у частотному діапазоні. Варіаційна постановка задач дає змогу враховувати вимоги до амплітудної діаграми напрямленості і коефіцієнта напрямленої дії як у робочому діапазоні частот, так і поза цим діапазоном. Для розв'язування отриманих нелінійних інтегральних рівнянь використовують методи послідовних наближень. Наведено результати числового моделювання.

The synthesis problems according to the prescribed amplitude radiation characteristics in the frequency range are considered. The variational statement of problems allows to take into account the requirements to the amplitude radiation pattern and front-to-rear factor in the operating frequency range, as well as outside of this range. The methods of successive approximations are used for solving the received nonlinear integral equations. The results of numerical modeling are presented.

Вступ

У зв'язку зі зростанням на сучасному етапі кількості радіоінженерних пристроїв, які працюють на близьких частотах, актуальною є проблема їхньої електромагнітної сумісності. Цю проблему широко розглядають у науковій літературі протягом двох останніх десятиріч і її вирішення втілено у низці наукових публікацій як вітчизняних, так і зарубіжних авторів [1–6]. Тому