

ПІКСЕЛЬНЕ КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

© Прудіус І.Н., Лазько Л.В., Семенов С.О., 2007

Здійснено аналіз можливості застосування локальної кореляції на піксельному рівні комплексування даних з метою підвищення ефективності роботи методу комплексування інформації на піксельному рівні.

In present paper there was done analysis of possibility to use local correlation at pixel level data fusion in order to increase effectiveness of information fusion method.

Комплексування на рівні даних. Численні методи комплексування інформації у системах формування зображень, незважаючи на свою різноманітність, містять такі характерні рівні комплексування: на основі даних, ознак та рішень. Кожен з цих рівнів характеризується різними схемами обробки та різним обсягом обчислювальних затрат на її проведення.

Комплексування на рівні даних (пікселів) характеризується найвищими обчислювальними витратами, оскільки використовує дані від усіх сенсорів, що дає змогу забезпечити найкращі результати. Розглядаючи умову відсутності втрат у процесі прийому, якість комплексування даних на цьому рівні істотно залежить від застосовуваних методів подальшої обробки. Одне з найбільш важливих завдань на цьому етапі полягає у забезпеченні спільної реєстрації даних, у пошуку зв'язків між даними, отриманими різними сенсорами у різних каналах. Наприклад, у багатоспектральних системах після обробки відповідні пікселі у кожному спектральному каналі відповідають за ту саму просторову координату. Дані, отримані на основі сенсорів, що працюють на подібних фізичних принципах, переважно є співвимірними, тому масиви даних відповідних сенсорів можуть бути використані безпосередньо. У разі неспіврозмірних вимірювань перед початком комплексування необхідно застосовувати повторну дискретизацію та компенсацію деформувань.

Для одержання задовільних результатів комплексування існуючі методи вимагають втручання оператора з метою підбору параметрів, які забезпечують найкращий результат.

Критерії оцінки якості детектування шуканого об'єкта. Оцінка результатів детекції проводиться порівнянням карти розташування шуканого об'єкта (річки) з результатами роботи методу шляхом розрахунку ймовірностей пропуску цілі і хибної тривоги як основних критеріїв відповідності отриманого зображення оригіналу. У випадку, коли піксел реального зображення не є наявним в отриманому зображенні, говоримо про поняття пропуску цілі; в іншому випадку, коли піксел 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, в 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. У розглянутому методі комплексування в основу було покладено

критерій Неймана–Пірсона, в якому основну увагу було зосереджено на зменшенні значень ймовірності пропуску цілі при забезпеченні відповідного рівня ймовірності хибної тривоги:

$$P_{tm} = \bigcup P_{river_det} / \bigcup P_{river_real} ;$$

$$P_{fa} = \bigcup P_{non-river_det} / \bigcup P_{non-river_real} ,$$

де P_{tm} , P_{fa} – ймовірності пропуску цілі та хибної тривоги відповідно; $\bigcup P_{river_det}$ – сукупність пікселів, що належать шуканому об’єкту (річці) у продетектованому зображенні; $\bigcup P_{river_real}$ – сукупність пікселів, що належать шуканому об’єкту у реальному зображенні; $\bigcup P_{non-river_det}$ – сукупність пікселів, що не належать шуканому об’єкту у продетектованому зображенні; $\bigcup P_{non-river_real}$ – сукупність пікселів, що не належать шуканому об’єкту у реальному зображенні.

Застосування локальної кореляції на піксельному рівні комплексування.

Комплексування на піксельному рівні є одним зі складових етапів запропонованого багаторівневого методу комплексування інформації і чинить вагомий вплив на кінцевий результат детекції шуканого об’єкта. З метою підвищення ефективності обробки даних на піксельному рівні та роботи методу загалом було здійснено аналіз піксельного комплексування груп зображень окремих каналів на основі застосування їх локальної взаємкореляції. Як вхідні зображення для обробки були використані зображення 1–5 спектральних каналів супутника Landsat 7 ETM+ після застосування першого етапу обробки, який включає корегування геометричних спотворень, калібрування та повторну дискретизацію даних.

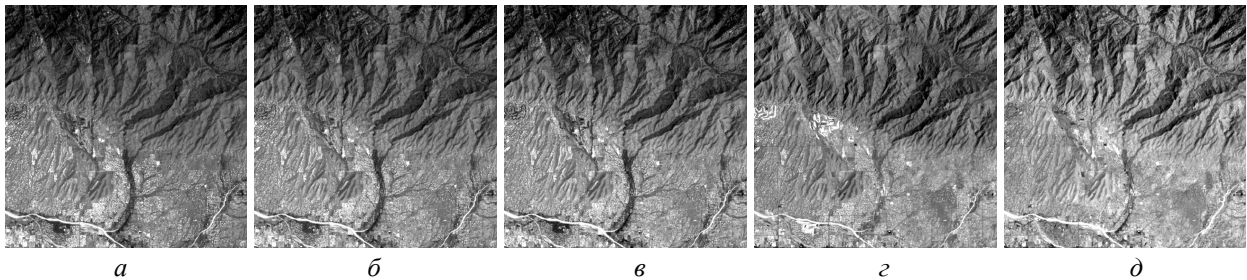


Рис. 1. Lansat 7 ETM+ канали: а – канал 1 (синій); б – канал 2 (зелений); в – канал 3 (червоний); г – канал 4 (ближній ІЧ); д – канал 5 (ІЧ)

Піксельне комплексування зображень окремих спектральних каналів здійснюємо в такий спосіб:

$$I(x, y) = \bigcup_i a_i(x, y) \cdot I_i(x, y),$$

де $I_i(x, y)$ – інтенсивність пікселя зображення i -го каналу залежно від просторових координат; $a_i(x, y)$ – ваговий коефіцієнт для інтенсивності пікселя зображення відповідного каналу; $I(x, y)$ – результат комплексування.

Визначення вагових коефіцієнтів здійснюється визначенням локальної взаємкореляції пар зображень окремих каналів як критерію їх подібності, формуючи матрицю коефіцієнтів взаємкореляції із розмірами, що відповідають розмірам окремого зображення, забезпечуючи просторову відповідність отриманих коефіцієнтів окремим пікселям зображень, що комплексуються:

$$R(x', y') = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I_1(x, y) I_2(x + x', y + y') dx y,$$

де I_1 , I_2 – зображення 1-го та 2-го каналів.

Оскільки взаємкореляцію зображень здійснюватимемо на основі їх локальних особливостей, рухаючись “вікном” постійного розміру по кожному із зображень, межі інтеграла заміняємо в такий спосіб:

$$-\infty; \infty \rightarrow -w_x / 2; w_x / 2;$$

$$-\infty; \infty \rightarrow -w_y/2; w_y/2,$$

де w_x, w_y – розміри вікна; $-w_x/2, w_x/2$ та $-w_y/2, w_y/2$ – значення, що описують крайні положення центра «вікна», в межах зображення по горизонталі та по вертикалі відповідно.

Коефіцієнт кореляції набирає такого вигляду:

$$R(x', y') = \int_{-w_x}^{w_x} \int_{-w_y}^{w_y} I_1(x, y) I_2(x + x', y + y') dx dy.$$

Рух «вікна» в межах зображення виглядає так, як це показано на рис. 2.

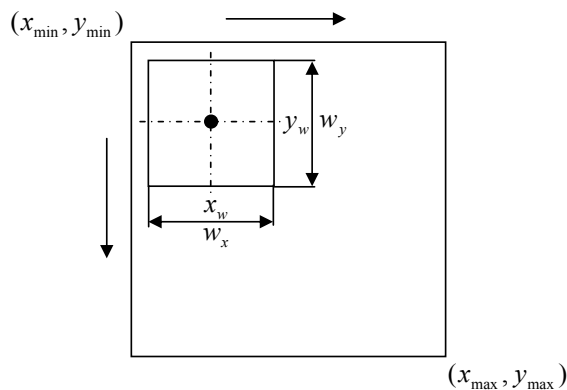


Рис. 2. Рух «вікна» кореляції в межах зображення

Координати центра вікна подамо величинами x_w та y_w . З врахуванням цього залежність коефіцієнта кореляції змінюється в такий спосіб:

$$R(x', y') \Rightarrow R(x', y', x_w, y_w);$$

$$R(x', y', x_w, y_w) = \int_{-w_x}^{w_x} \int_{-w_y}^{w_y} I_1(x_w, y_w) I_2(x_w + x', y_w + y') dx dy.$$

При цьому

$$x_w \in [x_{\min}, x_{\max}];$$

$$y_w \in [y_{\min}, y_{\max}].$$

Внаслідок цього ваговий коефіцієнт для комплексовання пари каналів залежно від просторової координати окремого пікселя визначатиметься на основі максимуму коефіцієнта взаємної кореляції пари зображень в межах «вікна» із центром в точці, що відповідає просторовим координатам відповідних комплексованих пікселів зображень окремих каналів:

$$A(x_w, y_w) = \max_{x', y'} R(x', y', x_w, y_w).$$

Варто зазначити, що в межах конкретної пари зображень, що комплексуються, кожна пара відповідних пікселів комплексованих зображень матиме свій ваговий коефіцієнт, залежний від просторової координати, внаслідок чого набір вагових коефіцієнтів для комплексовання окремої пари зображень матиме вигляд двовимірного масиву із розмірами, ідентичними до розмірів окремого зображення.

На цьому етапі виникає проблема обчислювальної складності коефіцієнта взаємкореляції, яка визначається необхідною кількістю математичних операцій для його обчислення:

$$n^2 \cdot m^4,$$

де n^2 – кількість пікселів у зображенні; m^2 – кількість пікселів у «вікні».

З метою зменшення обчислювальної складності, а відповідно і часу, потрібного для обчислення взаємкореляції, здійснюємо інтегрування в межах вікна, приймаючи зміщення стосовно його центра (x', y') таким, що дорівнює нулю, і вважаючи, що максимум коефіцієнта кореляції знаходиться у центрі «вікна»:

$$\max_{x', y'} R(x', y', x_w, y_w) \Big|_{\substack{x'=0 \\ y'=0}} \rightarrow R(x_w, y_w) = A(x_w, y_w).$$

При цьому кількість операцій, необхідна для обчислення кореляції, буде такою:

$$n^2 \cdot m^2.$$

При комплексванні груп зображень із трьох і більше каналів для обрахунку вагових коефіцієнтів зображення окремого каналу один з каналів приймаємо як базовий для розрахунку взаємореляції, при цьому ваговим коефіцієнтом базового каналу є коефіцієнт автокореляції цього ж каналу.

Відмітимо, що перед початком комплексування кожне із наявних зображень підлягає процедурі нормування з метою забезпечення співвимірного рівня енергії в кожному із каналів.

Після проведення процедури комплексування кожне із комплексованих зображень проходить стадію кластеризації (виділення пікселів шуканого об'єкта (річки):

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

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

Під час аналізування роботи піксельного рівня комплексування даних було розглянуто і порівняно такі варіанти комплексування зображень окремих спектральних каналів:

1) вагові коефіцієнти комплексування каналів підбиралися на основі такого критерію:

$$w_i = \frac{1}{N},$$

де w_i – ваговий коефіцієнт i -го каналу; N – кількість зображень, що комплексуються;

2) вагові коефіцієнти підбиралися ручним перебором варіантів і знаходження найкращого;

3) вагові коефіцієнти підбиралися на основі локальної взаємореляції пар окремих каналів.

Результати кожного з варіантів наведемо у вигляді табл. 1–3.

Таблиця 1

Кількісна оцінка результатів піксельного рівня комплексування (значення вагових коефіцієнтів для кожного з каналів однакові і обернено пропорційні до кількості каналів у комплексованій групі)

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тривоги
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}	0.3405	0.0030
Піксельне комплексування P_{124}	0.6092	0.0009
Піксельне комплексування P_{135}	0.5569	0.0006
Піксельне комплексування P_{1234}	0.5932	0.0009
Піксельне комплексування P_{2345}	0.4578	0.0011
Піксельне комплексування P_{12345}	0.5785	0.0008

Таблиця 2

Кількісна оцінка результатів піксельного рівня комплексування (значення вагових коефіцієнтів для кожного з каналів, підібрані вручну)

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тривоги
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_{1234}	0.5890	0.0007
Піксельне комплексування P_{2345}	0.4236	0.0009
Піксельне комплексування P_{12345}	0.4836	0.0007

Кількісна оцінка результатів піксельного рівня комплексування (значення вагових коефіцієнтів для кожного з каналів, підібрані на основі локальної взаємкореляції зображень окремих каналів)

	Імовірність пропуску цілі	Імовірність хибної тривоги
Піксельне комплексування P_{123}	0.2359	0.0036
Піксельне комплексування P_{124}	0.3678	0.0011
Піксельне комплексування P_{135}	0.3287	0.0022
Піксельне комплексування P_{1234}	0.3699	0.0013
Піксельне комплексування P_{2345}	0.4117	0.0012
Піксельне комплексування P_{12345}	0.4006	0.0011

Графічні результати детекції на піксельному рівні комплексування показано на рис. 3 і 4.

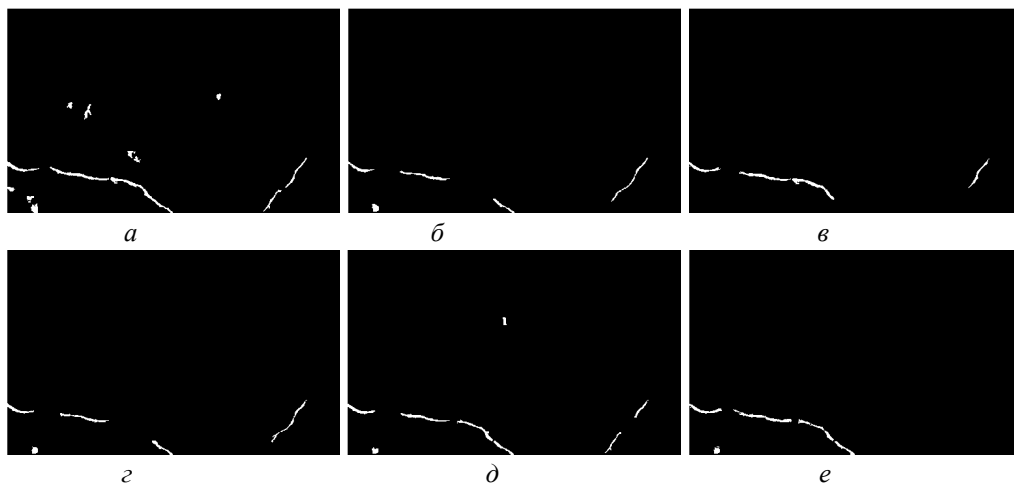


Рис. 3. Графічні результати детекції карти річки з використанням піксельного комплексування каналів та ручним підбором вагових коефіцієнтів: P_{123} (а); P_{124} (б); P_{135} (в); P_{1234} (г); P_{2345} (д); P_{12345} (е)

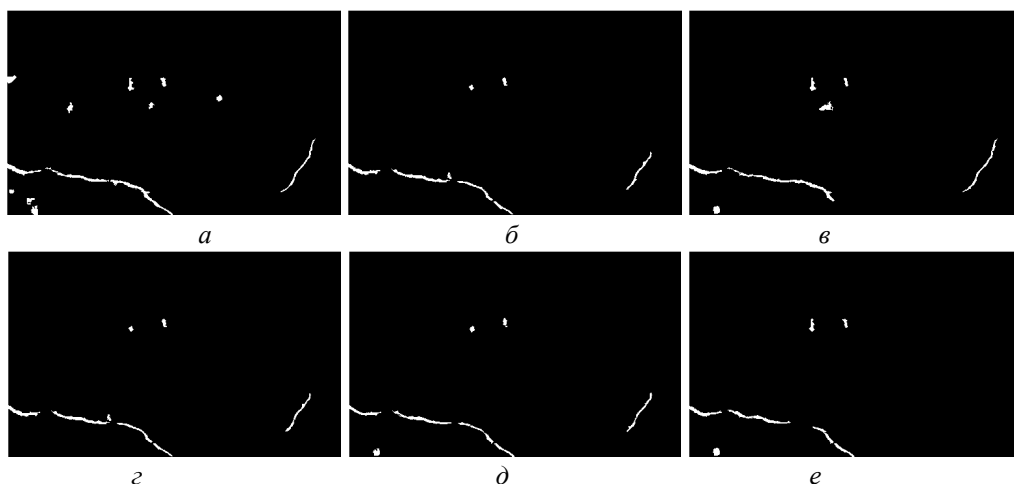


Рис. 4. Графічні результати детекції карти річки з використанням піксельного комплексування каналів та підбором вагових коефіцієнтів на основі локальної взаємкореляції каналів: P_{123} (а); P_{124} (б); P_{135} (в); P_{1234} (г); P_{2345} (д); P_{12345} (е)

Висновки. Порівняння зображень, сформованих різними каналами, на основі локальної кореляції дало змогу виявляти відмінності між зображеннями, характерними для окремих каналів та на їх основі формувати вагові коефіцієнти для кожного пікселя окремо. Це дало можливість побудувати адаптивний алгоритм комплексування зображень на піксельному рівні. Як бачимо з результатів числового моделювання, ґрунтуючись на відмінностях між зображеннями, 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 за дещо гіршої 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. Hall D. (ed) and Llinas J. (ed.), *Handbook of Multisensor Data Fusion*, CRC Press LLC, 2001.
2. Прудіус І.Н., Лазько Л.В., Семенов С.О., Голотяк Т.С. Детекція водних поверхонь на основі багаторівневого методу комплексування інформації у пасивних ширококутових супутникових системах дистанційного зондування // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. *Радіоелектроніка та телекомунікації*” – 2006. – № 557. – С. 114 – 121.
3. Прудіус І.Н., Лазько О.В., Лазько Л.В., Семенов С.А. Комплексирование изображений в широкополосных спутниковых системах мониторинга на основе многоуровневого метода: *Материалы 14-й Международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” КрыМиКо-2006*. – Севастополь, 11–15 сентября, 2006. – С. 29.

М.Д. Матвійків

Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

ВПЛИВ ВНУТРІШНІХ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ВЛАСТИВОСТІ АКУСТОЕЛЕКТРОННИХ ФІЛЬТРІВ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

© Матвійків М.Д., 2007

Досліджено вплив внутрішніх механічних напружень (ВМН) на частоту фільтрації та її часову стабільність в акустоелектронних фільтрах на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Показано, що ВМН змінюють частоту фільтрації і знижують її часову стабільність. Запропоновано методи послаблення цих деформаційних ефектів.

In the article analyzed influence of internal mechanical tensions (IMT) on filtration frequency and its time stability in acoustoelectronic filters on surface acoustic waves (SAW). It is shown, that IMT changes filtration frequency and reduces its time stability. Slackening of deformation effects methods are offered.

Вступ. Сьогодні акустоелектронні фільтри на ПАХ широко використовують в різноманітних електронних апаратах [1], оскільки вони мають ряд переваг як перед їх електричними аналогами (більшу добротність, менші вагогабаритні показники, вищу надійність), так і перед аналогічними елементами на об’ємних акустичних хвилях (вищі робочі частоти, конструктивну та технологічну сумісність з інтегрованими мікросхемами). Разом з тим виготовлення прецизійних акустоелектронних фільтрів на ПАХ наштовхується на труднощі як конструктивного, так і технологічного характеру.