

С. Станкевич

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
ІГН НАН України (м. Київ)

МЕТОДОЛОГІЯ СТАТИСТИЧНОГО ПРОСТОРОВО- ЧАСТОТНОГО ОБРОБЛЕННЯ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

© Станкевич С., 2007

На основе пространственно-информационного критерия предложена общая методология статистической пространственно-частотной обработки гиперспектральных аэрокосмических изображений. Использование этой методологии позволяет избежать информационной избыточности гиперспектральных аэрокосмических изображений и адаптировать к ним классический пространственно-частотный анализ. В рамках методологии возможна реализация многих унифицированных методов статистического пространственно-частотного оценивания, классификации и визуализации гиперспектральных аэрокосмических изображений для решения разнообразных тематических задач дистанционного зондирования Земли.

On spatial-information criteria basis the general methodology for statistical spatial-frequency processing of hyperspectral aerospace imagery is offered. Such methodology allows to shrink information redundancy of hyperspectral aerospace imagery and to adapt for the classical spatial-frequency analysis for this one. Within the framework of methodology the realization of many unified methods for statistical spatial-frequency estimation, classification and visualization of hyperspectral aerospace imagery is possible for Earth remote sensing different thematic tasks solving.

Вступ

Використання гіперспектральних аерокосмічних зображень потенційно забезпечує дуже широкі можливості щодо виявлення і класифікації об'єктів та явищ на земній поверхні, уточнення їх фізичних властивостей та просторового розподілу. Реєстрація тонких структур спектрів об'єктів спостереження дозволяє покращити якість їх вивчення та більш точно оцінити поточний стан (Dell'Acqua et al., 2004). На жаль, "сирі" гіперспектральні дані майже завжди є інформаційно надмірними при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що обов'язково призводить до "розчинення" корисної інформації серед надлишкової, збільшення шумів, затушовування об'єктів, виникнення хибних артефактів, тощо. Більш того, поширені алгоритми оброблення даних ДЗЗ вкрай погано масштабуються до великої кількості вимірів, що притаманна саме гіперспектральним аерокосмічним зображенням, а потрібні для їх оброблення обчислювальні витрати часто сягають неприйнятних величин (Boggs and Gomez, 2001).

Основними задачами оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень є відокремлення природних і штучних об'єктів від фонів, класифікація просторових сегментів ландшафту, виявлення статистичних просторово-спектральних аномалій, витягування розпізнавальних ознак зображень тих чи інших об'єктів, ефективно перетворення для візуалізації людиною, злиття різнорідних зображень та інших просторово-регуляризованих даних (van der Meer and de Jong, eds., 2004). Зазвичай очікується підвищення точності класифікації площадних об'єктів ландшафту із збільшенням числа спектральних каналів в гіперспектральному аерокосмічному зображенні. Але це не є справедливим для аналізу, що ґрунтується на певних

класифікаційних моделях. Надмірність вхідних даних може призводити до нестабільності моделей, а шуми та варіації надлишкових даних розповсюджуються крізь модель на результати класифікації (Groves and Bajcsy, 2004).

Отже, стає очевидною проблема зниження розмірності “сирих” гіперспектральних даних в процесі оброблення, яка не може розв’язуватися без оцінювання їх інформативності та забезпечення її збереження та адекватного підвищення. В цієї роботі пропонується загальна методологія створення відповідних засобів оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень на основі поширення статистичної парадигми на відомий просторово-частотний аналіз одновимірних аерокосмічних зображень.

Проблема

Просторово-частотний аналіз є потужним, зручним та широко розповсюдженим інструментом оцінювання та оброблення одновимірних (одноканальних – наприклад фотографічних, панхроматичних, зональних) аерокосмічних зображень, якій практично застосовується кілька останніх десятиліть (Фризер, 1978). Суть його полягає в перетворенні як власне оптичних сигналів $E(x, y)$, так й передавальних функцій $h(x, y)$ ланок тракту їх проходження і реєстрації, до їх просторово-частотних спектрів – $\mathcal{E}(\mu, \nu)$ та $\mathcal{H}(\mu, \nu)$ відповідно, а також в здійсненні всіх операції оброблення не в просторовій $\langle x, y \rangle$, а в просторово-частотній області $\langle \mu, \nu \rangle$. Просторово-частотні спектри просторових розподілів оптичних сигналів і передавальних функцій одержуються їх прямим двовимірним перетворенням Фур’є:

$$\mathcal{E}(\mu, \nu) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y) \cdot \exp(-2i\pi \cdot \mu \cdot \nu \cdot x \cdot y) dx dy . \quad (1)$$

Оскільки розподіл оптичного сигналу в зображенні $E(x, y)$ описується інтегральною згорткою вхідного оптичного сигналу $E_0(x, y)$ з імпульсною передавальною функцією $h(x, y)$,

$$E(x, y) = E_0(x, y) \otimes h(x, y) , \quad (2)$$

то просторово-частотний спектр зображення (2) знаходиться як добуток просторово-частотного спектру вхідного оптичного сигналу $\mathcal{E}_0(\mu, \nu)$ і оптичної передавальної функції (ОПФ) системи $\mathcal{H}(\mu, \nu)$:

$$\mathcal{E}(\mu, \nu) = \mathcal{E}_0(\mu, \nu) \cdot \mathcal{H}(\mu, \nu) , \quad (3)$$

що суттєво полегшує аналітичний опис і оцінювання передавальних властивостей іконічних систем та їх зображень.

Просторово-частотний аналіз виконується в області просторових частот, що є зворотними до періодів просторових гармонік в зображенні. Для скінчених дискретних оптичних сигналів $E(x, y) = \{ E_{jk} \} , j = 1 .. n, k = 1 .. r$, інтеграл (1) переходить до скінченої суми частотних відліків – дискретного перетворення Фур’є (ДПФ):

$$\mathcal{E}(j \cdot \Delta\mu, k \cdot \Delta\nu) = \frac{1}{n \cdot r} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{r-1} E_{jk} \cdot \exp\left(-\frac{2i\pi}{n} \cdot j^2 \cdot \mu \cdot \frac{2i\pi}{r} \cdot k^2 \cdot \nu\right) , \quad (5)$$

де $\Delta\mu, \Delta\nu$ – інтервали дискретизації спектра. На практиці для просторово-частотного аналізу цифрових аерокосмічних зображень сучасних систем ДЗЗ застосовується саме ДПФ, яке реалізується за допомогою алгоритмів швидкого перетворення Фур’є (ШПФ), що дозволяє на декілька порядків зменшити загальний час обчислень (Станкевич, 1995).

Але класичний просторово-частотний аналіз не пристосовано до оцінювання гіперспектральних, тобто багатовимірних аерокосмічних зображень. Застосування багатовимірного перетворення Фур’є не розв’язує проблеми, тому що не зводить кількісну оцінку до загальноприйнятого зрозумілого універсального показника, а просто переводить проблему багатовимірності в просторово-частотну область. Таким універсальним показником тривалого часу була просторова розрізненність, але її залучення до багатовимірних зображень зараз зазнає певних труднощів (Станкевич, 2002). Роздільне оцінювання ОПФ кожного окремого спектрального каналу неефективно, оскільки не враховує синергії повного гіперспектрального

аерокосмічного зображення. Крім того, для визначення просторової розрізненості окрім ОПФ додатково потрібна модель шумів в іконічній системі, яка описується функцією порогового контрасту. Причому визначення моделі шумів знов-такі натикається на проблему багатовимірності (Станкевич, 2005). Особливо це заважає експериментальному кількісному оцінюванню реальних цифрових гіперспектральних аерокосмічних зображень. Загальною рисою всіх вказаних ефектів є статистичний характер процесів, що відбуваються в багатовимірних іконічних системах.

Методологія

Розв'язання викладеної проблеми полягає в переході від багатовимірного гіперкубу даних, яким описується гіперспектральне аерокосмічне зображення, до плоского – еквівалентного вхідному в певному розумінні – зображення, що забезпечує вирішення поставленої тематичної задачі ДЗЗ. До цього, власне, зводиться все різноманіття методів оброблення матеріалів аерокосмічного знімання – створення кінцевого інформаційного продукту, як правило, у вигляді тематичної просторової карти об'єктів (класів) дослідження й є саме перехід до такого плоского еквівалентного зображення. Але зараз невідомо загальних алгоритмів вирішення довільної тематичної задачі ДЗЗ і одержання кінцевого інформаційного продукту залишається свого роду мистецтвом.

В даній роботі не ставиться за мету розкриття рецепту “філософського каменю ДЗЗ” – це було б схоластикою – а пропонується загальна методологія оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень на основі двох базових постулатів:

- просторовий розподіл об'єктів дистанційного дослідження є первинним для сприйняття фахівцем і саме він підлягає прикінцевій візуалізації;
- виявлення і класифікація об'єктів на гіперспектральних зображеннях підкоряються статистичним закономірностям і мають описуватися статистичними моделями.

Коротко, методологія статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень передбачає статистичне згортання багатовимірних радіометричних полів вхідного зображення до одновимірної статистичної величини, яка є показником вирішення даної тематичної задачі, перехід від просторового розподілу цієї величини до просторово-частотного розподілу за (5), проведення в просторово-частотній області потрібного оброблення, звернення до первинної просторової області в разі необхідності.

Ключовою ланкою статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень слід вважати оцінювання інформативності, яке явно чи приховано визначає порядок проведення конкретних операцій. Під інформативністю слід розуміти кількісну оцінку можливості гіперспектрального аерокосмічного зображення (або його підмножини – довільної комбінації спектральних зображень) надавати інформацію, корисну для вирішення певної тематичної задачі (Станкевич, 2006с). Тому інформативність не може бути оцінена абстрактно у відриві від вказаної тематичної задачі, на відміну, наприклад від повної кількості інформації, що міститься в гіперспектральному зображенні.

Порядок застосування описаної методології для організації статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень пояснюється схемою рис. 1.

В межах цієї загальної методології можливо обирати конкретні статистичні показники інформативності, форми просторово-частотних моделей, застосовувати довільні процедури прикінцевого статистичного аналізу, тобто створювати велике різноманіття уніфікованих методів оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень, що робить її досить гнучкою та універсальною. Зокрема, прикладом реалізації даної методології є оцінювання інформативності та оптимізація гіперспектральних аерокосмічних зображень на основі еквівалентної просторової розрізненості (Станкевич, 2006b).

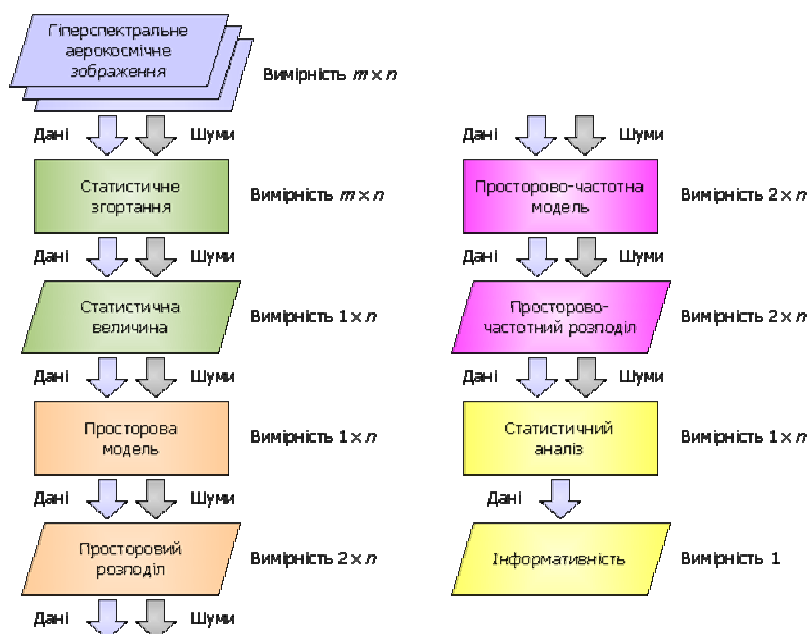


Рис. 1. Загальна методологія статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень

Реалізація

В цьому разі статистичне просторово частотне оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень проводиться на основі статистичного просторово-інформаційного критерію C_m вигляду

$$C_m = \sum_j \sum_k \frac{D_{jk}}{4 r_{jk}^2} \cdot \log_2(1 + \psi_{jk}) \quad , \quad (6)$$

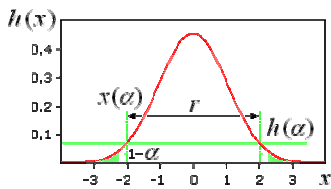
де D_{jk} – інформація про розділимість спектральних характеристик об’єктів j -го та k -го класів у формі дивергенції Кульбака-Лейблера,

$$D_{jk} = \int f_j(\lambda) \cdot \log_2 \frac{f_j(\lambda)}{f_k(\lambda)} d\lambda \quad , \quad (7)$$

$f_j(\lambda)$ – густина імовірності спектрального розподілу оптичного сигналу об’єктів j -го класу, r_{jk} – еквівалентна просторова розрізненність гіперспектрального аерокосмічного зображення відносно об’єктів j -го та k -го класів, ψ_{jk} – еквівалентне відношення “сигнал-шум” для об’єктів j -го та k -го класів (Станкевич, 2006с).

Критерій C_m є узагальненням відомого інформаційного критерію Кононова на випадок m -вимірних гіперспектральних аерокосмічних зображень (Кононов и Станкевич, 2004). При цьому основою їх статистичного згортання до одновимірного показника інформативності обрано імовірність правильного розділення багатовимірних радіометричних полів, що відповідають різним об’єктам (класам) на гіперспектральних аерокосмічних зображеннях.

Еквівалентна просторова розрізненність гіперспектральних аерокосмічних зображень визначається порогом розділимість багатовимірних оптичних сигналів за їх радіометричними характеристиками. Тому оцінку еквівалентної просторової розрізненності можливо одержати за виявленими на гіперспектральному зображенні границями статистично однорідних радіометричних полів, причому ширина такої границі має бути зіставимою з розмірами елемента дискретизації фотоприймального растра (Станкевич, 2005). Еквівалентна просторова розрізненність обчислюється за умовою забезпечення заданого порогу імовірності (рівня значимості) α відокремлення просторово суміжних еквівалентних передавальних функцій $h_{jk}(x, y)$ гіперспектрального зображення:



$$r_{jk} = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} : \int_{x(a)}^{x(a)+r_x} \int_{y(a)}^{y(a)+r_y} h_{jk}(x, y) dx dy \equiv \alpha, \quad (8)$$

Еквівалентна передавальна функція визначається як модуль ДПФ від дискретної похідної усередненої імовірнісної перехідної функції множини багатовимірних перехідних характеристик гіперспектрального зображення (Popov and Stankevich, 2005). Імовірнісна перехідна функція знаходиться за допомогою імовірнісного перетворення, яке обчислює для кожної точки $\langle x, y \rangle$ фрагменту гіперспектрального дискретного зображення імовірність $P_{jk}(x, y, \theta)$ безпомилкового розділення багатовимірних радіометричних полів вздовж обраного напрямку θ :

$$P_{jk}(x, y, \theta) = 1 - P_{0j} \cdot \varepsilon_j(x, y, \theta) - P_{0k} \cdot \varepsilon_k(x, y, \theta), \quad (9)$$

де $\varepsilon_j(\cdot)$ – умовна імовірність помилки класифікації, P_{0j} – апіорна імовірність j -го класу.

Очевидно, що чим вище ця імовірність, тим краще якість даної реалізації імовірнісної перехідної функції, оскільки вона за визначенням, відображає ідеальний детермінований стрибок сигналу (Rakesh, Chaudhuri and Murthy, 2004). Крім того, імовірнісне перетворення в неявній формі враховує вплив на якість гіперспектрального зображення привнесених шумів. Й, нарешті, головною перевагою імовірнісного перетворення є осмисленість вихідних величин (імовірностей), що знімає проблему вибору порога при виділенні значущих перепадів: вони відбираються виходячи з необхідного рівня значимості (Станкевич та Шкляр, 2005).

Еквівалентне відношення “сигнал-шум” також може бути оцінено при наявності значення імовірності P_{jk} як (Сивяков, 1998)

$$\psi_{jk} \cong \text{erf}^{-1}(2P_{jk} - 1). \quad (10)$$

Відтепер стає можливим обчислити за (6) плоский просторовий розподіл інформативності $S_m(x, y)$ m -вимірному гіперспектральному аерокосмічному зображенню, що ілюструється рис. 2.

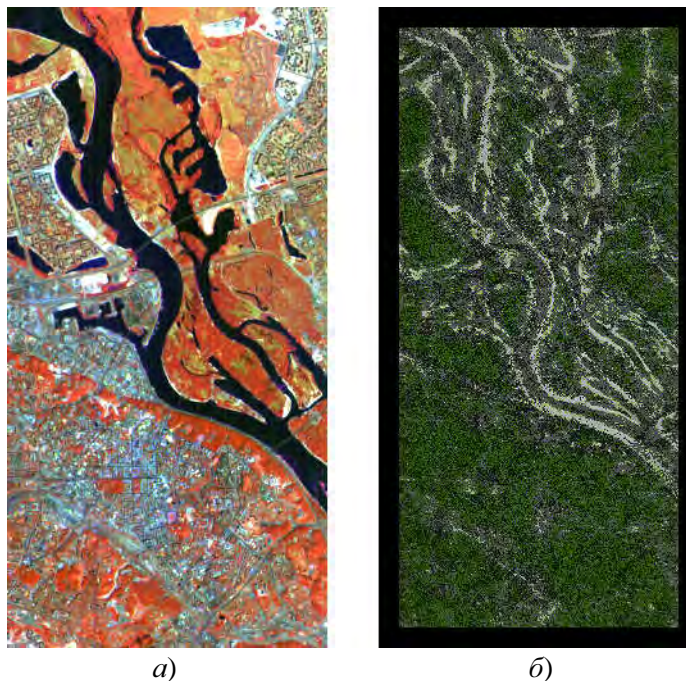


Рис. 2. Статистичне згортання гіперспектрального зображення:

- a – фрагмент гіперспектрального космічного знімка EO1/Hyperion (Київ, 01.09.2002), спектральні канали 102 (1164,68 нм), 198 (2133,24 нм), 23 (579,45 нм), розмір пікселя ~ 30 м;
- b – просторовий розподіл інформативності вхідного знімка (a)

Отже, на основі принципу еквівалентності реалізовано новий метод статистичного просторово-частотного оцінювання і оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень, в якому еквівалентність забезпечується саме в розумінні первинної мети всякого оброблення – виявлення і класифікації об'єктів на гіперспектральному аерокосмічному зображенні.

Перевірка

Реалізація розвинутої методології дозволяє практично впровадити статистичне просторово-частотне оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень для вирішення типових тематичних задач ДЗЗ. Принцип статистичної еквівалентності дозволяє згортувати гіперспектральні аерокосмічні зображення без втрати інформативності і далі використовувати всі відомі методи просторово-частотного аналізу – обчислення еквівалентних ОПФ, оцінювання просторової розрізненості, синтез передавальних ланок іконічних систем, інверсне фільтрування, злиття аерокосмічних зображень різної просторової розрізненості, тощо (Станкевич, 2006d).

Найбільш поширеними тематичними задачами гіперспектрального знімання є класифікація покриттів ландшафту (Moble et al., 2005) та тісно пов'язана з нею оптимізація складу спектральних каналів гіперспектральних аерокосмічних зображень (Arzuaga-Cruz, Jimenez-Rodriguez and Vélez-Reyes, 2003). Зараз відомо величезну кількість різноманітних методів та алгоритмів класифікації і всіх їх може бути реалізовано в рамках описаної методології. В даній роботі використовувалися оригінальний алгоритм статистичної класифікації за спектрально-топологічними характеристиками об'єктів (Станкевич, 2006а), а також алгоритм оптимізації складу спектральних каналів за критерієм (6) на основі псевдоградієнтного пошуку на регулярній решітці в просторі бінарних векторів-селекторів із багаторазовим стартом (Станкевич, 2007).

Вибір оптимальної комбінації спектральних каналів гіперспектрального аерокосмічного зображення забезпечує скорочення обчислювальних витрат обробки на порядки з одночасним підвищенням інформативності в рази. Так, при вирішенні задачі статистичної класифікації гіперспектрального зображення рис. 2 хід оптимізації описується діаграмою рис. 3, де показано зростання інформативності (вісь ординат) на ітераціях (вісь абсцис) оптимізації.

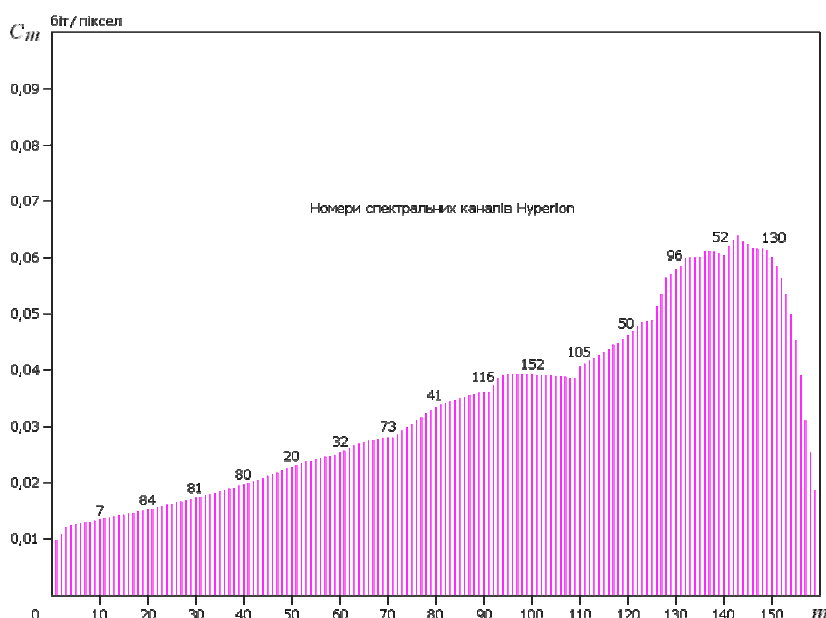


Рис. 3. Інформативність комбінацій спектральних каналів гіперспектрального сенсора Hyperion при класифікації зображення рис. 2а

Проведена оптимізація дозволяє скоротити склад спектральних каналів гіперспектрального космічного знімка EO1/Hyperion рис. 2а із 160 до 17. До оптимальної комбінації залучено спектральні канали 46 (813,48 нм), 54 (872,10 нм), 133 (1477,43 нм), 134 (1487,53 нм), 162 (1769,99 нм), 187 (2022,25 нм), 188 (2032,35 нм), 189 (2042,45 нм), 191 (2062,55 нм), 192 (2072,65 нм), 197 (2123,14 нм), 200 (2153,34 нм), 205 (2203,83 нм), 206 (2213,93 нм), 207 (2224,03 нм), 210 (2254,22 нм), 217 (2324,91 нм), середня інформативність при цьому збільшилась з 0,0084 до 0,0637 біт/піксел. Результати класифікації показано на рис. 4.

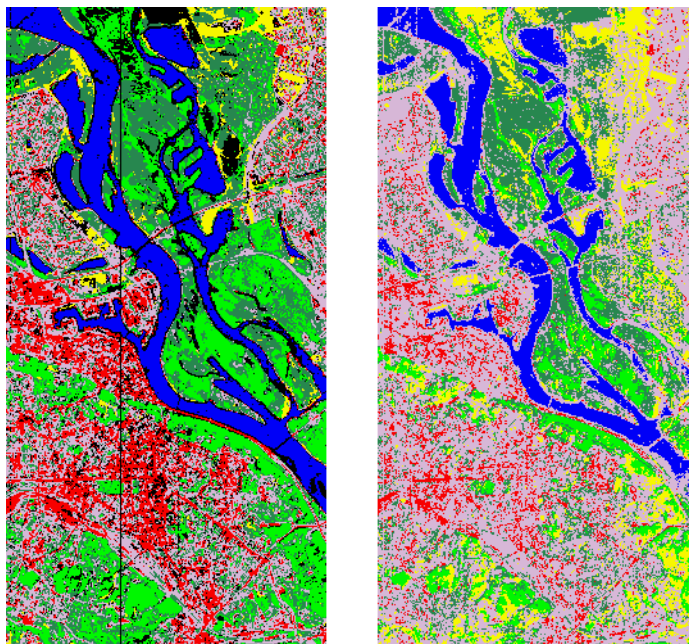


Рис. 4. Результати класифікації покриттів ландшафту на гіперспектральному зображенні рис. 2а
а – з використанням повного набору спектральних каналів;
б – з використанням оптимального складу спектральних каналів

Оптимізація складу спектральних каналів забезпечує підвищення середньої точності класифікації гіперспектрального аерокосмічного зображення на 7–23 %.

Перспективи

Викладена методологія статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень дозволяє не тільки підвищити якість і оперативність вирішення конкретних тематичних задач ДЗЗ, але й відкриває значні перспективи щодо створення нових ефективних методів оброблення матеріалів гіперспектрального знімання на єдиній уніфікованій науковій платформі.

Наприклад, оцінювання інформативності та виконання оптимізації безпосередньо в процесі оброблення приводять до нового сімейства методів адаптивної класифікації гіперспектральних аерокосмічних зображень, коли оптимальна комбінація спектральних каналів визначається індивідуально для кожної пари сегментів зображення, що може привести до подальшого скорочення кількості обраних спектральних каналів в оптимальній комбінації (Станкевич, 2007).

Перехід до розділення сумішей спектральних компонент в межах піксела створює потенційні можливості підвищення еквівалентної просторової розрізненості гіперспектральних аерокосмічних зображень до субпіксельного рівня (Станкевич и Шкляр, 2006).

Розв'язання оберненої задачі статистичного просторово-частотного оцінювання інформативності аерокосмічних зображень надає можливості науково обґрунтувати вимоги до параметрів іконічної знімальної апаратури (Станкевич та Шкляр, 2005а).

До сфери запропонованої методології цілком включаються не тільки гіперспектральні

аерокосмічні зображення, а й взагалі будь-які багатовимірні просторові дані різної фізичної природи – геологічної, біологічної, техногенної, тощо, що створює умови для їх ефективного статистично-просторового інтегрування при вирішенні відповідних тематичних задач (Понов, Станкевич та Козлова, 2006; Станкевич та Козлова, 2007).

Досить функціональною та перспективною здається сучасна концепція просторово-адаптивного масштабування гіперспектральних аерокосмічних зображень (Scale-Space Concept), що базується на диференційних рівняннях Перони-Маліка вигляду

$$\frac{\partial E(x, y, s)}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial x} \left(G(\nabla E) \frac{\partial E}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(G(\nabla E) \frac{\partial E}{\partial y} \right), \quad (11)$$

де s – потрібний масштаб в точці $\langle x, y \rangle$, $G(\cdot)$ – коефіцієнт дифузії нерівномірності багатовимірного зображення в точці, обирається як (Duarte, Vélez-Reyes and Castillo, 2006)

$$G(\nabla E) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } (\nabla E)^2 = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{K}{(\nabla E)^2}\right) & \text{якщо } (\nabla E)^2 > 0 \end{cases}, \quad (12)$$

де

$$(\nabla E)^2 = \sum_{\lambda=1}^m (\nabla E_{\lambda})^2 - \quad (13)$$

простіша метрика нерівномірності. Адекватний підбір локального масштабу забезпечує широкі можливості підвищення точності сегментації та відновлення гіперспектральних аерокосмічних зображень.

Але використання замість примітивного диференційного оператора (13) просторового розподілу еквівалентної просторової розрізненності (8) – див. рис. 2б – здається більш обґрунтованим та перспективним при вирішенні тематичних задач ДЗЗ.

Висновки

Таким чином, запропонована методологія є ефективним інструментом створення уніфікованих методів оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень на основі єдиної статистичної просторово-частотної парадигми. Реалізація цієї методології дозволить уникнути проблеми інформаційної надмірності гіперспектральних аерокосмічних зображень, підвищити якість вирішення тематичних задач ДЗЗ з використанням гіперспектральних знімків, позбавитися зайвих обчислювальних витрат, отримати доступ до застосування всього спектру апробованих, математично строгих, корисних і надійних методів класичного просторово-частотного аналізу для оцінювання та оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень. Отже, поставлену проблему теоретично вирішено.

Подяки

Дане дослідження проведено в ході виконання міжнародного проекту “**The Model and Automated Technology for LandCover Classification (TLLC)**” за фінансовою підтримкою The International Association for the Promotion of Cooperation with Scientists from the New Independent States (NIS) of the Former Soviet Union (INTAS), Centre National d’Etudes Spatiales (CNES) і Національного космічного агентства України (НКАУ) – грант INTAS-CNES-NSAU Ref. Nr 06-1000024-9100.

Автор дуже вдячний О.І. Сахачькому та Є.І. Бушуєву за корисне обговорення і конструктивні зауваження при підготовці цієї публікації.

1. Arzuaga-Cruz E., Jimenez-Rodriguez L.O., and Vélez-Reyes M. Unsupervised Feature Extraction and Band Subset Selection Techniques Based on Relative Entropy Criteria for

- Hyperspectral Data Analysis // Proceedings of SPIE, 2003.- Vol.5093.- P.462-473. 2. Boggs T., Gomez R.B. Fast Hyperspectral Data Processing Methods // Proceedings of SPIE, 2001.- Vol.4383.- P.74-78. 3. Dell'Acqua F., Gamba P., Ferrari A., Palmason J.A., Benediktsson J.A., Arnason K. Exploiting Spectral and Spatial Information in Hyperspectral Urban Data with High Resolution // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2004.- Vol.1.- No.4.- P.322-326. 4. Duarte J.M., Vélez-Reyes M., Castillo P. Scale-Space in Hyperspectral Image Analysis // Proceedings of SPIE, 2006.- Vol.6233.- P.334-345. 5. Groves P., Bajcsy P. Methodology for Hyperspectral Band and Classification Model Selection // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing journal, 2004.- Vol.70.- No.7.- P.793-802. 6. Mobley C.D., Sundman L.K., Davis C.O., Bowles J.H., Downes T.V., Leathers R.A., Montes M.J., Bissett W.P., Kohler D.D.R., Reid R.P., Louchard E.M., Gleason A. Interpretation of Hyperspectral Remote-Sensing Imagery by Spectrum Matching and Look-Up Tables // Applied Optics, 2005.- Vol.44.- Iss.17.- P.3576-3592. 7. Popov M.A., Stankevich S.A. About Restoration of the Scanning Images Received Onboard a Sich-IM Space Vehicle by Inverse Filtering Method // Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment.- Saint Petersburg: ISPRS, 2005.- P.488-490. 8. Rakesh R.R., Chaudhuri P., Murthy C.A. Thresholding in Edge Detection: A Statistical Approach // IEEE Transactions on Image Processing, 2004.- Vol.13.- No.7.- P.927-936. 9. Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain / Ed. by F.D. van der Meer, S.M. de Jong.- Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.- 360 p. 10. Кононов В.И., Станкевич С.А. Сравнительная оценка информативности цифровых аэрокосмических изображений высокого и низкого разрешения // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2004.- Т.17.- № 2.- С.88-95. 11. Попов М.О., Станкевич С.А., Козлова А.О. Удосконалена процедура класифікування багатоспектральних аерокосмічних зображень при оцінюванні біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України // Збірник наукових праць Морського гідрофізичного інституту.- Вип.14.- Севастополь: МГІ, 2006.- С.406-410. 12. Сивяков И.Н. Расчет разрешения оптико-электронных систем // Оптический журнал, 1998.- Т.65.- № 2.- С.60-63. 13. Станкевич С.А. Алгоритм статистичної класифікації об'єктів дистанційного спостереження за їх спектрально-топологічними характеристиками // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2006а.- № 7.- С.38-40. 14. Станкевич С.А. Імовірнісно-частотна оцінка еквівалентної просторової розрізненності багатоспектральних аерокосмічних знімків // Космічна наука і технологія, 2006б.- Т.12.- № 2/3.- С.79-82. 15. Станкевич С.А. К оценке линейного разрешения цифровых аэрокосмических снимков // Космічна наука і технологія, 2002.- Т.8.- № 2/3.- С.103-106. 16. Станкевич С.А. Кількісне оцінювання інформативності гіперспектральних аерокосмічних знімків при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі // Доповіді НАН України, 2006с.- № 10.- С.136-139. 17. Станкевич С.А. Оптимизация состава спектральных каналов гиперспектральных аэрокосмических изображений при решении тематических задач дистанционного зондирования Земли // Космическая наука и технология, 2007.- Т.13.- № 2.- С.25-28. 18. Станкевич С.А. Оценка качества синтезированных цифровых изображений // Информационные технологии в дешифрировании изображений: Классификация и оценка эффективности.- Киев: МО Украины, 1995.- С.36-51. 19. Станкевич С.А. Оценка оптических передаточных функций и восстановление цифровых аэрокосмических изображений методом инверсной фильтрации // Проблемы управления и информатики, 2006д.- № 3.- С.116-123. 20. Станкевич С.А. Статистичний підхід до визначення порогової модуляції цифрових аерокосмічних зображень // Космічна наука і технологія, 2005.- Т.11.- № 3/4.- С.81-84. 21. Станкевич С.А. Статистичні аспекти визначення функцій передавання модуляції аерокосмічних іконічних систем з дискретними фотоприймачами // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.- Зб. наук. пр.- Вип.ІІ.- Л.: Львівська Політехніка, 2005.- С.142-147. 22. Станкевич С.А., Козлова А.О. Оцінювання і картографування біорізноманіття Північно-Причорноморського регіону України на основі*

багатоспектральних космознімків і геоінформаційних технологій // Космічна наука і технологія, 2007.- Т.13.- № 2.- С.18-24. 23. Станкевич С.А., Шкляр С.В. Класифікація покритий ландшафтов на гиперспектральних аерокосмічних зображеннях на основе разделения смесей спектральных компонент // Проблемы управления и информатики, 2006.- № 6.- С.106-115. 24. Станкевич С.А., Шкляр С.В. Оптимізація параметрів видової аерознімальної апаратури за умовою максимуму середньої імовірності виявлення об'єктів на зображенні // Праці Державного науково-дослідного інституту авіації.- Вип.8.- Київ: ДНДІА, 2005а.- С.133-136. 25. Станкевич С.А., Шкляр С.В. Удосконалений алгоритм визначення перехідної функції на цифровому аерокосмічному зображенні // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2005б.- Т.18.- № 2.- С.97-102. 26. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации: Пер с нем.- М.: Мир, 1978.- 670 с.

B. Jankowicz

Agricultural University of Cracow

LOW-ALTITUDE IMAGES APPLICATION FROM CREWLESS AIR VEHICLES FOR QUICK GEOINFORMATION UPDATING

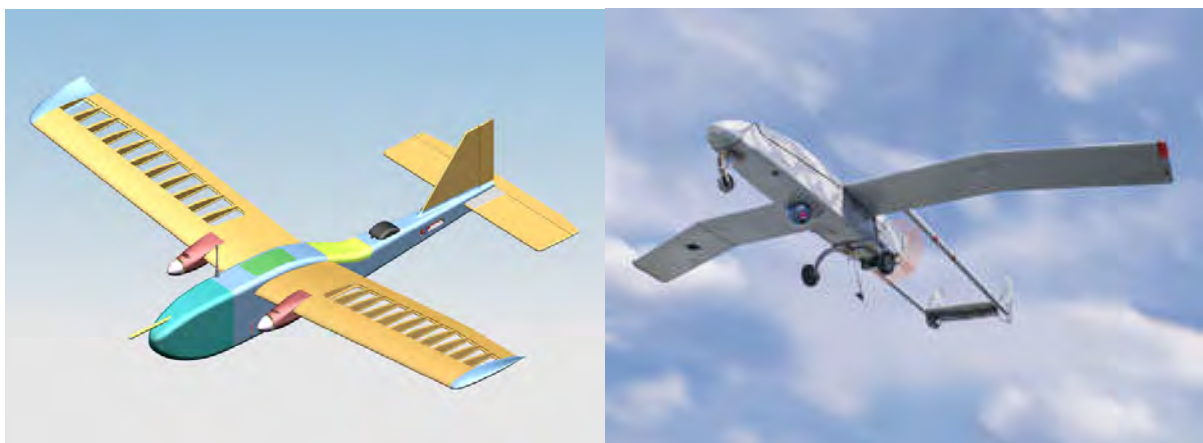
© Jankowicz B., 2007

Development of air-technology, data communications and remote sensing involves the interest in applications of small Crewless Air Vehicles (CAV) in different subjects of economy. Hence the idea of the application of low-altitude images (taken from heights below 200 m) from crewless air vehicles for quick geoinformation update of local (small) areas by photogrammetric methods.

Project and research.

Photogrammetric low-altitude flights realized by small Crewless Air Vehicles - CAV (like small airplane tested in our Photogrammetry and Remote Sensing Institute, at the Agricultural University – Pic.2.) are an interesting alternative for traditional collecting of geoinformation data, particularly in local, small areas (1).

We are searching for various CAV for photogrammetry application (Pic.1.) .



Pic.1. Various CAV seeking for photogrammetry: left- polish CAV, made by Air Force Institute of Technology "Hob-bit" (span:1.7 m), double electric motors 2x350 W; right- american SHADOW 600 with camera, span: 5.8 m.