

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ДАНИХ В ЧАСТИНІ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Розглянуті основні сучасні методи обробки двовимірних цифрових даних. Проаналізовані особливості існуючих методів обробки стосовно їх застосування до цифрових багатоспектральних фотограмметричних зображень в частині підвищення їх інформаційної значущості. Обґрунтована важливість створення геометричних моделей інформаційного подання багатотонних фотограмметричних зображень, інваріантних відносно факторів формування за рахунок розробки вдосконалених методів попередньої обробки.

Ключові слова: цифрові дані, фотограмметричне зображення, геометрична форма, інформаційна значущість.

О.В. СПИРИНЦЕВА, В.В. СПИРИНЦЕВ
Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В ЧАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены основные современные методы обработки двумерных цифровых данных. Проанализированы особенности существующих методов обработки относительно их применения к цифровым многоспектральным фотограмметрическим изображениям в части повышения их информационной значимости. Обоснована важность создания геометрических моделей информационного представления многотонных фотограмметрических изображений, инвариантных относительно факторов формирования за счет разработки усовершенствованных методов предварительной обработки.

Ключевые слова: цифровые данные, фотограмметрическое изображение, геометрическая форма, информационная значимость.

O.V. SPIRINTSEVA, V.V. SPIRINTSEV
Dnepropetrovsk National University named after Oles Honchar

THE ANALYSIS OF DIGITAL DATA PROCESSING METHODS IN ORDER TO RISE THE PHOTOGRAMMETRIC IMAGES INFORMATION VALUE

The basic modern 2D digital data pre-processing methods are considered. The peculiarities of existing processing methods regarding their application to digital photogrammetric multispectral images in order to rise their information value are analyzed. The importance of geometric models creation of multi-tone photogrammetric image representation invariant under forming factors at the expense of the improved pre-processing methods development is substantiated.

Key-words: digital data, photogrammetric image, geometric form, information value.

Постановка проблеми

Фотограмметричні зображення, отримані видовими засобами дистанційного зондування у низці спектральних діапазонів електромагнітного випромінювання, забезпечують подання фізичного стану матеріальних об'єктів, інформативність якого тим більша, чим більша кількість спектральних інтервалів фіксації цього випромінювання [1]. Серед численних кількісних характеристик фізичного стану об'єктів зондування, суттєвих для їхнього розпізнавання (ідентифікації), найбільшу значущість має геометрична форма (ГФ) [2].

Існуючі на даний час методи ідентифікації зображень базуються на статистичному описі факторів, що визначають форму об'єктів. Між тим, статистичні характеристики параметрів формування відомі лише у виняткових ситуаціях [3, 4].

Тому особливу значущість набуває проблема створення геометричних моделей інформаційного подання таких зображень, які інваріантні відносно факторів формування з урахуванням їхньої часткової визначеності, і розробки на цій основі методів класифікації (ідентифікації) об'єктів, візуалізованих на зображеннях.

Аналіз останніх досліджень

Актуальним завданням у рамках задачі покращення ефективності ідентифікації ГФ об'єктів є обробка багатоспектральних растрових зображень, що забезпечує збільшення їх інформаційної значущості. За ГФ та розподілом яскравості фотограмметричні зображення суттєво відрізняються внаслідок різних випромінювальних характеристик об'єкту у різних спектральних діапазонах.

Сучасний рівень вимог до достовірності ідентифікації ГФ об'єктів фотограмметричних зображень, одержаних засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зумовлює необхідність використання методів збільшення інформаційної значущості таких зображень, зокрема, шляхом суміщення в єдиному графічному об'єкті високих показників просторової (геометричної) та спектральної розрізненості. Умова, якій мають відповідати зазначені методи, полягає в збереженості лінійності між утвореними та первинними даними, що зумовлено проблематикою предметної області. У ряді досліджень за тематикою попередньої обробки багатотонних растрових зображень першочергова увага приділяється покращенню їхньої візуальної якості без урахування фізичних механізмів фіксації видової інформації, зокрема міжканальної кореляції, що унеможливує визначення інформаційної значущості зображень з позицій аналізу та інтерпретації (метод колірної нормалізації "Brovey"). Інші дослідження присвячені розв'язанню даної задачі на основі обчислення статистичних параметрів цифрових зображень (метод аналізу головних компонент), визначення яких ускладнено на великих обсягах первинних даних. Питання щодо декореляції первинних видових даних вирішується у ряді досліджень, заснованих на переході до кольорово-різницевої метрики (кольорово-метричні методи обробки), але за таких методів враховується лише внесок спектральної інформації, що міститься в первинних багатотонних зображеннях.

Формулювання цілей статті

Метою статті є аналіз теоретичної бази розпізнавання ГФ матеріальних об'єктів на основі багатоспектральних зображень (БСЗ), одержуваних іконічними засобами в оптичному та інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектру із забезпеченням інваріантності щодо позиційних умов формування.

Основна частина

Розглянемо ряд поширених сучасних та класичних методів і підходів до обробки двовимірних цифрових даних з метою подальшого застосування їх до підвищення інформаційної значущості багатоспектральних фотограмметричних зображень.

Пірамідальні методи об'єднання зображень

Сучасний розвиток і поширення геоінформаційних систем забезпечує виняткові можливості для отримання результатів об'єднання на базі проєкційних даних, одержаних з носіїв різних типів та класів. Методи об'єднання зображень дозволяють одержати зображення на базі певної сукупності первинних даних, які відносяться до однієї області інтересів [5]. БСЗ, отримані засобами ДЗЗ, містять спектральну інформацію, яка важлива при розпізнаванні колірних відтінків та дозволяє дешифрувати на знімках малі, але часто важливі деталі зображень. У той же час панхромні зображення (ПнЗ) спектральної інформації не несуть, але мають просторову розрізненість вищу, ніж БСЗ. За допомогою об'єднання можна отримати зображення, які, окрім високої просторової розрізненості та спектральної складової, міститимуть інформацію, відсутню у первинних даних (при використанні зображень, отриманих за допомогою мікрохвильової зйомки та активної локації). Це свідчить про необхідність розробки методів автоматичної обробки видової інформації шляхом об'єднання в одному растровому зображенні високих показників просторової та спектральної розрізненості.

Метод головних компонент, метод "Brovey", кольорово-метричні та пірамідальні методи набули широкого застосування при об'єднанні зображень. Пірамідальні методи виявляються найбільш ефективними при підвищенні характеристик інформативності растрових зображень (інформаційна та сигнальна ентропія, індекс структурної схожості).

Буртом та Адельсоном [6] було запропоновано один з перших пірамідальних методів представлення сигналів, в основу якого покладено каскадне включення гауссовських низькочастотних фільтрів (НЧФ). Метод було названо пірамідою Лапласа. Первинний сигнал пропускається через НЧФ $A(\omega)$ з подальшим проріджуванням. В результаті отримуємо низькочастотну складову. Високочастотна складова формується за рахунок операції інтерполяції, згортки з інтерполюючим фільтром $H(\omega)$ та відніманням результату від первинного сигналу. Така процедура може проводитись до задалегідь обумовленого рівня розкладу (декомпозиції). Реконструкція реалізується шляхом інтерполяції низькочастотної складової, згортки з фільтром $H(\omega)$ та додаванням до високочастотної складової. Повна піраміда будується за рекурентною формою.

В загальному випадку усі пірамідальні методи базуються на розкладі первинного сигналу по певній системі базисів:

$$X = \sum_{n=0}^N c_n \psi_n, \quad (1)$$

де ψ_n – базис розкладу, c_n – коефіцієнти розкладу, N – максимальний рівень декомпозиції. В піраміді Лапласа у якості базисної функції ψ_n виступає функція Гаусса. Взагалі, в пірамідальних методах розкладу для формування базису ψ_n , окрім певної функції, також можуть використовуватися набори функцій.

Шукане зображення формується в результаті оберненого пірамідального перетворення на базі високочастотної (ВЧ) складової первинного БСЗ та утвореної за певним правилом низькочастотної складової (НЧ).

Одним з пірамідальних розкладів, який в останній час набув широкого застосування в обробці зображень, є вейвлет-розклад.

Вейвлет-технології оброблення багатоспектральних растрових зображень

Пряме вейвлет-перетворення означає розкладання довільного вхідного цифрового сигналу за принципово новим базисом у вигляді сукупності пакетів – вейвлетів. За рахунок зміни масштабів вейвлети здатні виявити розходження в характеристиках на різних шкалах, а шляхом зрушення проаналізувати властивості цифрового сигналу в різних точках на всьому досліджуваному інтервалі [7].

В основі вейвлет-перетворення покладено використання двох інтегрованих по усій осі t функцій:

– вейвлет-функції $\psi(t)$, які визначають деталі сигналу та породжують сукупність деталізуючих коефіцієнтів;

– масштабуюча (скейлінг) функція $\phi(t)$, яка визначає грубе наближення (апроксимацію) сигналу та породжує коефіцієнти апроксимації. Слід зазначити, що функції $\phi(t)$ існує лише для ортогональних вейвлетів.

Для дискретизованого інформаційного сигналу, а саме з такою формою сигналу вейвлет-базис, на основі якого планується здійснювати його обробку, може бути сформований шляхом відповідної дискретизації параметрів зсуву та масштабування [8]:

$$\begin{cases} a = a_0^m \\ b = nb_0 a_0^m \end{cases}, \quad (2)$$

де $a_0 > 1$, $b_0 > 0$ – фіксовані параметри, значення m відповідають різній ширині вейвлета, $n \in Z$. Таким чином дискретна форма вейвлет-базису має вигляд:

$$\psi_{m,n} = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m}t - nb_0), \quad (3)$$

а дискретна форма вейвлет-перетворення набуває вигляду

$$f(t) = C_\psi \sum_{m \in Z} \sum_{n \in Z} \psi_{m,n} a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m}t - nb_0). \quad (4)$$

При певному виборі ψ , a_0 , b_0 функції $\psi_{m,n}$ утворюють ортонормовані базиси. Так при $a_0 = 2$, $b_0 = 1$ отримаємо вейвлет-базис

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}t - n), \quad (5)$$

відомий як базис Хаара, який є єдиним базисом для якого можливе аналітичне подання:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2}, \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1, \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (6)$$

Для інших вейвлетів, більш високих порядків, вказані залежності формуються внаслідок ітераційного обчислювального процесу і мають вигляд сплесків, що пояснює термін "wavelet".

Існує механізм розкладу дискретного сигналу, позбавлений надмірності у кількості коефіцієнтів розкладу, який базується на використанні принципів кратномасштабного аналізу [8], за якого кожний первинний сигнал $f(r)$ можливо представити за допомогою двох складових: апроксимуючої та деталізуючої, – з наступним їх дробленням з метою зміни рівня розкладу:

$$f(r) = App_n(r) + \sum_{i=1}^n Det_i(r), \quad (7)$$

де n – максимальний рівень декомпозиції, тобто сигнал $f(r)$ на $(j-1)$ -ому рівні декомпозиції можна представити у вигляді [8]:

$$f(r)^{j-1} = \sum_k c_k^j \varphi_{j,k} + \sum_k d_k^j \psi_{j,k}, \quad (8)$$

де $\{c_k^j\}$ та $\{d_k^j\}$ множини апроксимуючих та деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів j -ого рівня декомпозиції, обчислення яких можливе без безпосереднього використання функцій $\varphi_{j,k}$ та $\psi_{j,k}$ – за допомогою ітераційного подання [7]:

$$\begin{aligned} c_k^j &= 2^{1/2} \sum_m c_m^{j-1} h_{m+2k}, \\ d_k^j &= 2^{1/2} \sum_m d_m^{j-1} g_{m+2k}, \end{aligned} \quad (9)$$

де $\{h_{m+2k}; g_{m+2k}\}$ – множина коефіцієнтів, яка утворює двохсмуговий блок фільтрів.

Максимальний рівень розкладу визначається згідно з наступним виразом:

$$n = \left\lceil \log_2 \left(\frac{L_S}{L_W - 1} \right) \right\rceil, \quad (10)$$

де L_S – довжина сигналу, L_W – максимальна довжина вейвлет-фільтру. Обернені квадратні дужки означають нехтування дробовою частиною.

Декореляція просторових розподілів яскравості

Основою методів збільшення інформативності зображень, одержаних засобами дистанційного зондування, є декореляція ("руйнування" статистичного зв'язку) між розподілами яскравості зображень, одночасно отриманих у різних спектральних діапазонах електромагнітного проміння – носія видової інформації [9]. З геометричної точки зору таке "руйнування" означає ортогоналізацію багатовимірних векторів, які подають розподіли яскравості зображень, отримані у різних спектральних діапазонах – складових БСЗ.

Методи декореляції просторових розподілів яскравості багатоспектральних растрових зображень, які є основними методами підвищення інформаційної значущості БСЗ, включають метод головних компонент та методи ортогоналізації зображень спектральних каналів БСЗ.

Метод головних компонент

Перетворення головних компонент є оптимальним в сенсі мінімізації середньоквадратичної похибки між вектором та його наближенням. Назва цього перетворення пов'язана з вибором власних векторів з найбільшими (головними) власними значеннями коваріаційної матриці.

Таким чином, основними властивостями методу головних компонент є

- декореляція компонентів векторних даних;
- мінімізація накопичуваної під час проєкціювання похибки.

Існуючі на даний час методи декореляції базуються, в основному, на розглянутому методі головних компонент [10], заснованому на перетворенні Карунена-Лоева, але цей метод не гарантує повної ортогоналізації.

Ортогоналізація просторових розподілів яскравості

Поширеним способом ортогоналізації просторових розподілів яскравості є ортогоналізація на основі процесу Грама-Шмідта чи QR -розкладання даної матриці A [11]. Класичним методом побудови QR -розкладання є процес ортогоналізації Грама-Шмідта, спрямований на отримання ортонормованого базису q_1, \dots, q_n (сукупність векторів-стовбців відповідає матриці Q) підпростору, натягнутого на вектори-стовбці a_1, \dots, a_n (сукупність векторів-стовбців відповідає матриці A).

Метод відображень Хаусхолдера є одним з розповсюджених методів пошуку QR -розкладання, при цьому квадратна матриця S (саме відображення Хаусхолдера) є симетричною та ортогональною [12]. Геометрична інтерпретація множення матриці S на вектор x полягає в тому, що вектор S^*x отримуємо відображенням вектора x відносно гіперплощини, ортогональної вектору $\rho = \chi \pm \|\chi\|_2 e_1$, який має назву вектора Хаусхолдера, при цьому e_1 – відповідний вектор одиничної матриці.

Алгоритм QR -розкладання на основі обертань Гівенса є аналогічним алгоритму, який використовує відображення Хаусхолдера, але метод обертань вважається більш повільним у порівнянні з методом відображень.

Висновки

Розглянуто основні поширені сучасні методи та підходи до обробки двовимірних цифрових даних та підвищення інформаційної значущості багатоспектральних фотограмметричних зображень. Зокрема:

- метод колірної нормалізації, дозволяє покращувати візуальну якість БСЗ, але без урахування фізичних механізмів фіксації видової інформації (міжканальної кореляції); виявлено, що цей недолік заважає визначенню інформаційної значущості зображень щодо їх інтерпретації;
- пірамідальні методи об'єднання зображень є найбільш ефективними при підвищенні характеристик інформативності растрових зображень, але потребують значних обчислювальних ресурсів (при цьому виникають труднощі при використанні всього наявного обсягу первинних видових даних); вони розвинені для зображень, отриманих обмеженою кількістю сенсорів видової інформації;
- кратно-масштабний аналіз БСЗ на основі вейвлет-технологій виявляє найбільшу ефективність при одночасній обробці багатоспектрального та панхромного зображень. У роботі встановлено, що вейвлет-аналіз дозволяє отримувати кращі результати обробки при використанні оптимізації за певним критерієм інформативності, що унеможливує універсальне його використання;
- методи декореляції просторових розподілів яскравості, що засновані на обчисленні статистичних параметрів цифрових зображень, визначення яких утруднено при великих обсягах первинних даних. Також за таких методів враховується лише внесок спектральної інформації, що міститься в первинних багатотонових зображеннях.

Аналіз наведених методів попередньої обробки багатоспектральних растрових зображень дозволяє встановити недоліки цих методів відносно підвищення інформаційної значущості зображень та ідентифікації ГФ об'єктів на них з урахуванням нечіткості статистичних характеристик параметрів формування таких зображень.

Перспективи досліджень

Сучасний рівень вимог до достовірності ідентифікації ГФ об'єктів багатотонових фотограмметричних зображень, одержаних засобами ДЗЗ, зумовлює необхідність розробки прикладних методів ідентифікації таких зображень, інваріантних відносно факторів формування з урахуванням їхньої часткової визначеності. Розробка таких методів можлива при використанні вдосконалених методів попередньої обробки.

Список використаної літератури

1. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес: пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 412 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Соифера.– 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Д. Даджион, Р. Мерсеро: пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
4. Очин Е. Ф. Вычислительные системы обработки изображений / Е.Ф. Очин – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 136 с.
5. Mahler R. Optimal robust distributed data fusion: a unified approach / R. Mahler // Proceedings of SPIE. – 2000. – Vol. 4052: Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition. – № 4. – P. 128–138.
6. Burt P.J. The laplacian pyramid as a compact image code / P.J. Burt, E.H. Adelson // IEEE Trans. on Comm. – 1983. – Vol. 31. – № 4. – P. 532–540.
7. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – С.-Петербург: ВУС, 1999. – 204 с.
8. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 464 с.
9. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. – 1998. – Vol. 19. – № 5. – P. 823–854.
10. Gonsales R.C. Digital Image Processing / R.C. Gonsales, R.E. Woods, S.L. Eddins. – N.-Y.: Prentice Hall, 2004. – 616 p.
11. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры / Д.В. Беклемишев. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.
12. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.