

УДК 621.396

А. А. АНДРЕЄВ

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОСОБЛИВОСТІ РОЗМЕЖУВАННЯ НИЗЬКОКОНТРАСТНИХ ПРИРОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

Розглянуто багатовимірні інформаційну та статистичну просторово-частотні моделі гіперспектрального зображення, на основі яких створено метод оцінювання інформативності, а також розроблено програмне забезпечення, що реалізує зазначений метод. Проведено тестування на контрольному прикладі, який демонструє розмежування низькоконтрастних природних середовищ.

Ключові слова: гіперспектральні зображення; ДЗЗ; оцінювання інформативності.

Вступ

Нині за допомогою космічної інформації, отримуваної з використанням космічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), успішно виконуються такі завдання, як пошук корисних копалин і енергоносіїв, оцінювання сільськогосподарського та лісового потенціалу регіонів і країн, моніторинг надзвичайних ситуацій тощо.

До головних положень нової космічної програми України включено подальший розвиток державної системи спостереження Землі з космосу в інтересах розв'язання актуальних народногосподарських завдань. Гіперспектральна аерокосмічна зйомка дозволяє суттєво підвищити можливості розв'язання близько половини типових тематичних задач у відповідних галузях [1].

З огляду на те, що деякі середовища на поверхні Землі є низькоконтрастними, постає питання про їх розмежування у процесі спостереження. Одним зі способів підвищення контрастності таких середовищ є оцінювання інформативності каналів гіперспектрального зображення та подальший відбір найбільш інформативної комбінації зазначених каналів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розгляд методів, алгоритмів та відповідних програмних засобів оброблення гіперспектральних зображень засвідчив перевагу такого підходу, коли здійснюється відбір порівняно невеликої кількості спектральних каналів, які забезпечують максимум або наперед заданий рівень вибраного критерію інформативності [2; 3].

Найбільш досконалим показником інформативності дискретних аерокосмічних зображень визнано частотно-інформаційний критерій. Згідно із запропонованою методологією [4] здійснюється статистичне згортання багатовимірного вхідного аерокосмічного зображення до одновимірного. Останнє являє собою тематичне зображення, яке виступає показником інформативності відповідної тематичної задачі. У межах загальної методології можна брати різні статистичні показники інфор-

мативності, варіювати форми просторово-частотних моделей, застосовувати довільні процедури прикінцевого статистичного аналізу, створюючи нові ефективні методи оброблення гіперспектральних аерокосмічних зображень на єдиній уніфікованій науковій платформі.

Основна частина

Як статистичний просторово-частотний критерій інформативності [5] m -вимірних гіперспектральних зображень узято C_m . Складається він з інформаційної дивергенції D_m , еквівалентної просторової розрізнюваності r_m еквівалентного відношення сигнал/шум ψ_m :

$$C_m = \frac{D_m}{4r_m^2} \log_2(1 + \psi_m). \quad (1)$$

Поняття інформативності гіперспектрального аерокосмічного зображення розглядається як кількість інформації, корисної для правильного розрізнення об'єктів і фонів, характерних для даної конкретної тематичної задачі. *Інформативність* — це частка від повного обсягу інформації, яка міститься в *HSI* (інформаційної ємності за Шенноном) і вимірюється в бітах. Інформативність гіперспектрального аерокосмічного зображення не може бути оцінена абстрактно, у відриві від конкретної тематичної задачі [5].

Інформаційна модель гіперспектрального зображення описує ймовірність P_{12} правильного розрізнення першого E_1 і другого E_2 сегментів m -вимірного оптичного сигналу через дивергенцію D_{12} Кульбака—Лейблера таким співвідношенням:

$$P_{12} = 1 - 2^{-mD_{12}}. \quad (2)$$

Тут

$$D_{12} = \int p_1(\lambda) \log_2 \frac{p_1(\lambda)}{p_2(\lambda)} d\lambda, \quad (3)$$

де $p_1(\lambda)$, $p_2(\lambda)$ — густина ймовірності розподілу спектральної інтенсивності багатовимірного оптичного сигналу відповідно $E_1(\lambda)$ і $E_2(\lambda)$.

В інформаційній моделі багатовимірні оптичні сигнали розглядаються як випадкові послідовності

відліків радіометричної інтенсивності залежно від довжини хвилі λ оптичного випромінювання.

Еквівалентне відношення сигнал/шум ψ_{12} у каналі реєстрації обчислюється через імовірність (2):

$$\psi_{12} = \text{erf}^{-1}(2P_{12} - 1), \quad (4)$$

де $\text{erf}(\cdot)$ — табульована інтегральна функція похибок.

Розглянемо два розрізи багатовимірних оптичних полів $E_1(x)$ і $E_2(x)$ уздовж напрямку x , позначивши в кожній точці розрізу умовну ймовірність кожного з вхідних сигналів $E_1(x)$ і $E_2(x)$ відповідно як $P_1(x)$ і $P_2(x)$. Тоді апостеріорний розподіл імовірності $P(x)$ згідно з правилом Баєса набере вигляду

$$P(x) = \frac{P_2(x)}{P_1(x) + P_2(x)}. \quad (5)$$

Просторова похідна $p(x)$ функції $P(x)$ за напрямком x являє собою розподіл густини ймовірності (5) уздовж розрізу x :

$$p(x) = \frac{\partial P(x)}{\partial x}. \quad (6)$$

Поняття *еквівалентної просторової розрізюваності* є ключовим при оцінюванні повної інформативності гіперспектральних аерокосмічних зображень. Отримання еквівалентної просторової розрізюваності дозволяє достатньо повно та обґрунтовано оцінювати передатні властивості гіперспектральних іконічних систем при забезпеченні відповідності існуючим міжнародним стандартам [4].

Еквівалентну просторову розрізюваність r гіперспектрального аерокосмічного зображення відносно багатовимірних оптичних сигналів $E_1(x)$ і $E_2(x)$ знаходимо, задавшись максимально припустимою ймовірністю помилки ε :

$$r : \int_{x(\varepsilon)}^{x(\varepsilon)+r} p(x) dx \equiv 1 - \varepsilon. \quad (7)$$

Повна інформативність гіперспектрального зображення відносно конкретної тематичної задачі ДЗЗ визначається кількістю інформації, яка може бути корисною для правильного розрізнення об'єктів і фонів, характерних для цієї задачі. Якщо об'єктів і фонів кілька, така інформація має додаватися по всіх парах об'єкт—фон та об'єкт—об'єкт.

Нехай актуальна тематична задача описується набором s об'єктів і u фонів, кожний з яких задано m -вимірною спектральною сигнатурою. Принципової різниці між об'єктами та фонами немає, але об'єкти мають бути розрізнювані один від одного та від фонів, а фоні — ні. Повна інформативність C_m відносно конкретної тематичної задачі визначається виразом

$$C_m = \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^{s+u} C_{jk} = \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^{s+u} \frac{D_{jk}}{4r_{jk}^2} \log_2(1 + \psi_{jk}). \quad (8)$$

Вибрано підхід до оптимізації гіперспектральних аерокосмічних зображень за критерієм інформативності (8) шляхом селекції більш інформативних спектральних каналів у разі суттєвої інформаційної надмірності HSI при розв'язанні типових тематичних задач. Для m -вимірного вектора W вибору спектральних каналів, елементи якого дорівнюють одиниці, якщо відповідний спектральний канал вибрано, або нулю в іншому разі, повна інформативність (8) набору вибраних спектральних каналів залежатиме від вектора W .

Оптимізація складу спектральних каналів HSI полягає у відшуванні такого вектора W^* , який забезпечує максимум цільової функції:

$$W^* = \text{argmax} C_m(W). \quad (9)$$

Цей метод оптимізації HSI розроблено на основі механізму псевдоградієнтного пошуку на регулярній решітці в просторі можливих комбінацій спектральних каналів із багатьма стартапами. При цьому використовується ітераційна процедура такого вигляду:

$$\begin{cases} W_0 = \{1\}^T \\ W_i = W_{i-1} + \Delta W \text{grad} C(W_{i-1}) \\ \text{grad} C(W^*) \leq 0, \end{cases} \quad (10)$$

де $\text{grad} C(W)$ — точкова оцінка градієнта цільової функції $C(W)$; ΔW — швидкість зміни координат у вибраному напрямі.

Практична реалізація

Як контрольний приклад було взято гіперспектральний знімок міста Іванків за 15 вересня 2016 року (див. рисунок).

За допомогою ПЗ Scilab було реалізовано побудований метод оцінювання інформативності гіперспектрального зображення.

Вхідні дані: канали гіперспектрального зображення та сегменти типових класів — Region of Interest (ROI), що їх було отримано за допомогою програмного комплексу ENVI.

Вихідні дані: оцінка інформативності даного зображення, що, у свою чергу, дозволить отримати найбільш інформативний набір каналів для підвищення точності подальшої класифікації гіперспектрального зображення, про яке йдеться.

Чорним прямокутником позначено однакову область на обох зображеннях. Як бачимо, на зображенні ліворуч переважають ріки, позначені цифрою 1. На зображенні праворуч було розмежовано ріки та болотисту місцевість, позначену цифрою 2.

Висновки

Пропонована методологія статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних зображень дозволила виконати статистичне згортання багатовимірних радіометричних полів



Класифікація з навчанням методом найменшої відстані перед відбором найбільш інформативних каналів (зображення ліворуч) та після відбору зазначених каналів (зображення праворуч)

вхідного зображення до одновимірного тематичного зображення.

Практична реалізація цієї методології забезпечила класифікацію з навчанням даного зображення після відбору найбільш інформативної комбінації каналів, уможлививши розмежування таких низькоконтрастних середовищ, як болотиста місцевість та інші водойми.

Список використаної літератури

1. Станкевич С. А., Васько А. В. Комплексна обробка багатоспектральних аерокосмічних зображень для виявлення сільськогосподарських угідь // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2011. Вип. 2(22). С. 171–175.

2. Попов М. А., Станкевич С. А. Методы оптимизации числа спектральных каналов в задачах обработки и анализа данных дистанционного

зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 1, вып. 3. С. 106–112.

3. Станкевич С. А. Оптимизация состава спектральных каналов гиперспектральных аэрокосмических изображений при решении тематических задач дистанционного зондирования Земли // Космична наука і технологія. 2007. Т. 13, № 2. С. 25–28.

4. Станкевич С. А. Імовірно-частотна оцінка просторової еквівалентної розрізняюваності гіперспектральних аерокосмічних знімків // Космична наука і технологія. 2006. Т. 12, № 2-3. С. 79–82.

5. Станкевич С. А. Кількісне оцінювання інформативності гіперспектральних аерокосмічних знімків при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі // Доповіді НАН України. 2006. № 8. С. 53–58.

Рецензент: доктор техн. наук, професор С. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

А. А. Андреев

ОСОБЕННОСТИ РАЗГРАНИЧЕНИЯ НИЗКОКОНТРАСТНЫХ ПРИРОДНЫХ СРЕД

Рассмотрены многомерные информационная и статистическая пространственно-частотные модели гиперспектральных изображений, на основе которых создан метод оценки информативности. Разработано программное обеспечение, реализующее указанный метод. Проведено тестирование на контрольном примере, который демонстрирует разграничение низкоконтрастных природных сред.

Ключевые слова: гиперспектральные изображения; ДЗЗ; оценка информативности.

A. A. Andreiev

THE FEATURES OF DELIMITATION OF LOW-CONTRAST NATURAL ENVIRONMENTS

The multidimensional informational and statistical space-frequency models of the hyperspectral image are considered and on the basis of them — the method of informative estimation. The software, implementing the chosen method, is developed, testing is performed on the control example which shows the delimitation of low-contrast natural environments.

Keywords: hyperspectral images; Remote sensing; evaluation of information.