

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: гіперспектральний збір даних; ДЗЗ; оцінювання інформативності.

Вступ

Нині з допомогою космічної інформації, отриманої з використанням космічних зондів Землі (ДЗЗ), успішно виконуються такі завдання, як пошук корисних копалин і енергоносіїв, оцінювання сільськогосподарського та лісового потенціалу регіонів і країн, моніторинг індичних ситуацій тощо.

До головних положень нової космічної програми України включено подальший розвиток державної системи спостереження Землі з космосу в інтересі розв'язання ключових і родногосподарських завдань. Гіперспектральна ерокосмічна зйомка дозволяє суттєво підвищити можливості розв'язання близько половини типових тематичних завдань 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 тематичних середовищ є оцінювання інформативності каналів гіперспектрального зображення та подальший відбір найбільш інформативної комбінації значених каналів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розгляд методів, алгоритмів та відповідних програмних засобів оброблення гіперспектральних зображень з свідчив перевагу того підходу, коли здійснюється відбір порівняно невеликої кількості спектральних каналів, які забезпечують максимум інформації перед заданим рівнем вибраного критерію інформативності [2; 3].

Найбільш досконалим поки зником інформативності дискретних ерокосмічних зображень визначено частотно-інформативний критерій. Згідно із запропонованою методологією [4] здійснюється статистичне згортання багатовимірного входного ерокосмічного зображення до одновимірного. Останнє являє собою тематичне зображення, яке виступає зником інформативності відповідної тематичної задачі. У межах заданої методології можна брати різні статистичні показники інфор-

мативності, в різних формах просторово-частотних моделей, з стосовують довільні процедури прикінцевого статистичного лізу, створюючи нові ефективні методи оброблення гіперспектральних ерокосмічних зображень в єдиній уніфікованій формі.

Основна частина

Як статистичний просторово-частотний критерій інформативності [5] m -вимірних гіперспектральних зображень взято C_m . Складеться він з інформативної дивергенції D_m , еквівалентної просторової розрізності 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 ерокосмічного 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* (інформативності з Шенноном) і вимірюється в бітах. Інформативність гіперспектрального ерокосмічного зображення не може бути оцінено окремо, у відриві від конкретної тематичної задачі [5].

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

В інформативній моделі багатовимірні оптичні сигнали розглядаються як випадкові послідовності

відліків p діаметричної інтенсивності з лежно від довжини хвилі λ оптичного випромінювання.

Еквівалентне відношення сигнал/шум Ψ_{12} у каналі реєстру цієї обчислюється через імовірність (2):

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

де $\operatorname{erf}(\cdot)$ — т.бульована інтегральна функція похибок.

Розглянемо дві розрізи бivariate товимірних оптичних полів $E_1(x)$ і $E_2(x)$ уздовж прямої 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 постеріорний розподіл імовірності $P(x)$ згідно з принципом Бейеса набуває вигляду

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

Просторовий похідний $p(x)$ функції $P(x)$ з прямої 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 ерокоосмічних зображень. Отримання еквівалентної просторової розрізюваності дозволяє достатньо повно обґрунтовано оцінювати передствитливості гіперспектральних іконічних систем при забезпеченні відповідності існуючим міжнародним стандартам [4].

Еквівалентну просторову розрізюваність r гіперспектрального ерокоосмічного зображення відносно бivariate товимірних оптичних сигналів $E_1(x)$ і $E_2(x)$ знаходимо, зважаючи на мінімуми 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 з ді ДЗЗ визначається кількістю інформації, яка може бути корисною для правильного розрізнення об'єктів і фонів, характерних для цієї з ді. Якщо об'єктів і фонів кілька, то інформація є додана в тисячі разів по всіх параметрах об'єкт-фон і об'єкт-об'єкт.

Нехай s — кількість тематичних з ді описується набором s об'єктів і u фонів, кожний з яких з ді по m -вимірною спектральною сигнатурою. Принципової різниці між об'єктами та фонами немає, але об'єкти мають бути розрізнені один від одного та від фонів, фонів — ні. Повна інформативність C_m відносно конкретної тематичної з ді 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 цієї гіперспектральних ерокоосмічних зображень з критерієм інформативності (8) шляхом селекції більш інформативних спектральних каналів у разі суттєвої інформаційної вимірності HSI при розв'язанні типових тематичних з ді. 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) набуває вигляду вибраних спектральних каналів з лежачим від вектора W .

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

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

Цей метод оптимізації HSI розроблено на основі механізму псевдоградієнтного пошуку на регулярній решітці в просторі можливих комбінацій спектральних каналів із бivariate товимірними параметрами. При цьому використовується ітеративна процедура такого вигляду:

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

де $\operatorname{grad} C(W)$ — точковий оцінювач градієнта цільової функції $C(W)$; ΔW — швидкість зміни координат у вибраному напрямі.

Практична реалізація

Як контрольний приклад було взято гіперспектральний знімок міст Івано-Франківська з 15 вересня 2016 року (див. рисунок).

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

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

Вихідні дані: оцінювач 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 однукову область обох зображень. Як бачимо, на зображенні ліворуч переважають ріки, позначені цифрою 1. На зображенні праворуч було розмежовано ріку та болотисту місцевість, позначену цифрою 2.

Висновки

Пропонована методологія статистичного просторово-частотного оброблення гіперспектральних зображень дозволила виконати статистичне згортання бivariate товимірних діаметричних 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.

Прокладення ліній цієї методології з безпечил класифікацію з використанням даного зображення після відбору найбільш інформативної комбінації каналів, уможлививши розмежування тих низькоконтрастних середовищ, як болотистість 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. Методи оптимізації числа спектральних каналів в задачах обробки та аналізу даних дистанційного

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 розрізнюваності 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 информационно-статистические 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 процесс выделение низкоконтрастных природных сред.

Ключевые слова: гиперспектральные изображения; ДЗЗ; оценка информативности.

А. А. 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.