

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА СПЕКТРАЛЬНОГО УГЛА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ

Труханов Сергей Викторович,
г. Рязань, Россия, serge_tsv@mail.ru

Аннотация. Постановка проблемы: в настоящее время остро стоит задача создания технологий обработки гиперспектральной информации в интересах решения ряда важных задач для различных отраслей народного хозяйства. Сам процесс обработки данных гиперспектральной съемки является весьма сложным и многоэтапным. Обычно вначале решаются вопросы предварительной обработки, в результате чего гиперспектральные данные приобретают свойства измерительной информации, по которым становится возможным оценивать с требуемой точностью спектральные характеристики объектов, привязанные к координатам земной поверхности. Далее решается задача кластеризации (сегментации) гиперспектральных изображений, т. е. их разделение на области с примерно одинаковыми свойствами. Наконец, осуществляется идентификация объектов наблюдаемой сцены. В статье рассматривается подход к решению задачи идентификации по данным гиперспектральной съемки от космических комплексов, базирующийся на сравнении гиперспектральных характеристик исследуемых объектов с набором эталонных сигнатур. Предлагается к рассмотрению оригинальный модифицированный алгоритм спектрального угла, выполняющий идентификацию гиперспектральной характеристики с помощью комплексирования различных решений по идентификации. В алгоритме объединяются решения на основе меры подобия евклидова расстояния, угловой меры подобия, а также нечетких мер подобия. Приводятся результаты экспериментальных исследований предлагаемого алгоритма на основе реальных данных гиперспектральной съемки (с космических аппаратов «Ресурс-П» №1 и №2) в объеме 15 снимков. Показаны результаты, подтверждающие повышение надежности идентификационного решения с помощью рассматриваемого алгоритма на 10 % по сравнению с классическим алгоритмом спектрального угла.

Ключевые слова: гиперспектральная характеристика, гиперспектральная съемка, идентификация объектов, нечеткая линейная регрессия, сигнатура.

Сведения об авторе: Труханов С.В., заместитель начальника отдела разработки и внедрения информационного и программного обеспечения Филиала Акционерного Общества «Ракетно-Космический Центр «Прогресс» - Особое Конструкторское Бюро «Спектр»,

На сегодняшний день в сферах хозяйственной деятельности и обороноспособности страны большую роль играют космические технологии, связанные с дистанционным зондированием Земли. Одним из приоритетных направлений является обработка данных гиперспектральной съемки [1–4]. Гиперспектральные снимки позволяют формировать для каждой точки земной поверхности спектральную характеристику, характеризующую физико-химические свойства объектов наблюдаемой сцены, что позволяет применять оригинальные подходы при решении трудно формализуемой задачи идентификации объектов земной поверхности.

Признанными лидерами в решении задач обработки гиперспектральных изображений являются зарубежные фирмы ITT VIS и Intergraph Corporation (США). Ими создан ряд программных изделий, таких как: ENVI, ERDAS IMAGINE, которые получают широкое коммерческое распространение в мире.

В нашей стране активные исследования в данной области ведут: Самарский Ракетно-космический центр «Прогресс» и его филиал в Рязани ОКБ «Спектр», Красногорский завод им. С.А. Зверева, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Научный центр оперативного мониторинга Земли

корпорации «Российские космические системы», Рязанский государственный радиотехнический университет, НПО им. С.А. Лавочкина, ЦНИИмаш, Центр Келдыша, НТЦ уникального приборостроения РАН, МГТУ им. Баумана, НИИ «АЭРОКОСМОС», Институт систем обработки изображений РАН (г. Самара), Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева и др.

По сравнению с известными методами распознавания объектов, основанными на теории решений (дискриминантные функции, корреляционное сопоставление, статистически оптимальные классификаторы, нейронные сети) и структурных методах распознавания (лингвистические методы) [5], весьма перспективным выглядит подход применения банка опорных сигнатур. Данный подход позволяет идентифицировать гиперспектральные характеристики объектов посредством сравнения их с набором эталонных характеристик (сигнатур) алгоритмами на основе мер подобия [6].

К рассмотрению предлагается алгоритм идентификации гиперспектральных характеристик объектов на основе модифицированного алгоритма спектрального угла.

В основу модификации алгоритма положена идея применения рейтинговых оценок результатов, полученных алгоритмами, основанными на различных подходах к идентификации. Данный алгоритм по сравнению с классическим алгоритмом спектрального угла [7] комплексирован в себе результаты решений по идентификации объектов гиперспектральных изображений, получаемых с помощью алгоритмов на основе меры подобия евклидова расстояния, угловой меры подобия, а также нечетких мер подобия посредством применения формулы:

$$\bar{R}^k = \frac{1}{4} (R_E^k + R_\alpha^k + R_{F_1}^k + R_{F_2}^k). \quad (1)$$

Здесь R_E^k , R_α^k , $R_{F_1}^k$ и $R_{F_2}^k$ – рейтинговые оценки k -й эталонной характеристики при использовании алгоритмов идентификации на основе меры подобия евклидова расстояния E , угловой меры подобия α , нечетких мер подобия F_1 и F_2 ($k = \overline{1, K}$; K – количество эталонных спектральных характеристик).

Составными частями модифицированного спектрального угла являются алгоритмы идентификации на основе меры подобия евклидова расстояния, угловой меры подобия и нечетких мер подобия.

Алгоритм идентификации на основе меры подобия евклидова расстояния использует в своей работе формулу:

$$E = \sqrt{\sum_{j=1}^J (y_j^A - y_j^S)^2}, \quad (2)$$

где y_j^A – значение коэффициента спектрального отражения анализируемой спектральной характеристики для j -го канала гиперспектрометра; y_j^S – значение коэффициента спектрального отражения эталонной характеристики для j -го канала гиперспектрометра; $j = \overline{1, J}$.

Алгоритм идентификации на основе угловой меры подобия использует в своей работе формулу:

$$\alpha = \arccos \frac{\sum_{j=1}^J g_j \cdot g'_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^J g_j^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^J (g'_j)^2}}, \quad (3)$$

где g_j и g'_j – значения коэффициента спектрального отражения анализируемой и эталонной характеристик для значения длины волны λ_j ($j = \overline{1, J}$).

Алгоритмы идентификации на основе нечетких мер подобия в качестве математической основы используют аппарат нечеткой линейной регрессии [8] с применением несимметричных треугольных нечетких чисел. Данный подход, использовавшийся ранее при решении задач аппроксимации [9] и оценки уникальности фрагментов электронной карты [10], впервые применяется для идентификации гиперспектральных характеристик.

Такой выбор основан на том, что нечеткая линейная регрессия позволяет провести идентификацию в условиях неоднозначности. Теоретическую основу для решения этого вопроса составляют труды известных ученых, таких как Л. Заде, Б. Коско, Э. Мамдани, С.Д. Штовба, Н. Lee, Н. Tanaka и др.

Процесс идентификации описывается уравнением:

$$Y(x) = A_1 x + A_0, \quad (4)$$

где $A_1 = \langle a_1, c_1, d_1 \rangle$ и $A_0 = \langle a_0, c_0, d_0 \rangle$ – треугольные нечеткие числа, соответствующие параметрам k и b уравнения классической линейной регрессии:

$$y = kx + b. \quad (5)$$

Алгоритм характеризуется следующей последовательностью действий.

На первом шаге находятся оптимальные значения параметров $a_0, c_0, d_0, a_1, c_1, d_1$ для исследуемой и каждой эталонной характеристик, для чего решается задача квадратичного программирования, подробно описанная в [6, 8, 11].

На втором шаге по полученным результатам для каждой спектральной характеристики строится регрессионный коридор с разделением точек на верхнюю (UP) и нижнюю (LOW) части относительно уравнения классической линейной регрессии.

На третьем шаге для групп точек UP и LOW находятся значения нечетких мер подобия F^{UP} и F^{LOW} по одной из двух формул [12]:

$$f_1 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^J |u_A(\lambda_j, g'_j) - u_S(\lambda_j, g''_j)|}{\sum_{j=1}^J (u_A(\lambda_j, g'_j) + u_S(\lambda_j, g''_j))}, \quad (6)$$

$$f_2 = \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J \frac{\min(u_A(\lambda_j, g'_j), u_S(\lambda_j, g''_j))}{\max(u_A(\lambda_j, g'_j), u_S(\lambda_j, g''_j))}, \quad (7)$$

где $u_A(\lambda_j, g'_j)$ – значение функции принадлежности точек анализируемой спектральной характеристики уравнению НЛР этой характеристики; $u_S(\lambda_j, g''_j)$ – значение функции принадлежности точек эталонной спектральной характеристики уравнению НЛР этой характеристики, определяемые оптимальными значениями параметров $a_0, c_0, d_0, a_1, c_1, d_1$ [6, 8, 11].

На четвертом шаге для анализируемой и каждой эталонной характеристик вычисляются значения результирующей нечеткой меры подобия:

$$F = \min(F^{UP}, F^{LOW}) \quad (8)$$

В качестве искомой выбирается эталонная характеристика, имеющая максимальное значение (8).

Были выполнены экспериментальные исследования модифицированного алгоритма спектрального угла на реальных данных гиперспектральной съемки (с космических аппаратов «Ресурс-П» №1 и №2) в объеме 15 снимков. Анализируемая выборка составила 245 гиперспектральных характеристик объектов двух типов: 115 характеристик растительности и 130 характеристик искусственных сооружений. Установлено, что алгоритм идентификации на основе классического метода спектрального угла (угловой меры подобия (3)) верно идентифицирует 75-77% характеристик от общей выборки, в то время как модифицированный алгоритм спектрального угла – 85-87%. Таким образом, применение разработанного алгоритма позволило повысить надежность идентификационного решения на 10%.

Предложенный алгоритм реализован в виде программного обеспечения обработки гиперспектральной информации от космических аппаратов серии «Ресурс-П», внедренного в Научном центре оперативного мониторинга Земли Корпорации «Российские космические системы».

Литература

1. Антонушкина С.В., Еремеев В.В., Макаренков А.А., Москвитин А.Э., Юдаков А.А. Новые возможности анализа объектов земной поверхности на основе гиперспектральной съемки // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара: СамНЦ РАН. 2011. С. 26-27.
 2. Ахметов Р.Н., Везенов В.И., Еремеев В.В., Стратилатов Н.Р., Юдаков А.А. Основные направления исследований по созданию технологий обработки данных гиперспектральной съемки Земли // Тез. докл. всерос. науч.-техн. конф. «Гиперспектральные приборы и технологии». Красногорск, 2013. С. 23-25.
 3. Ахметов Р.Н., Стратилатов Н.Р., Юдаков А.А., Везенов В.И., Еремеев В.В. Некоторые примеры обработки данных гиперспектральной съемки // Исследование Земли из космоса. 2013. №3. С. 35-39.
 4. Юдаков А.А. Новые направления работ по анализу космических гиперспектральных снимков поверхности Земли // Тез. докл. XVI всерос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в научных исследованиях». Рязань: РГРТУ, 2011. С. 237-238.
 5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, Москва: Техносфера, 2005 г. 1072 С.
 6. Труханов С.В. Алгоритмы идентификации объектов по данным гиперспектральной съемки Земли с использованием нечеткой линейной регрессии // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» («IV Козловские чтения»), Самара, АО «РКЦ «Прогресс», 2015. Том 1. – С.282-288.
 7. Yang C., Everitt J H., Bradford J.M. Yield estimation from hyper-spectral imagery using spectral angle mapper (SAM). – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 51(2): 729-737.
 8. Труханов С.В. Применение нечеткой линейной регрессии при идентификации гиперспектральных характеристик объектов // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 2014 г. – С. 401-406.
 9. Naekwan Lee, Hideo Tanaka Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis. Osaka prefecture University. Journal of the Operations Research Society of Japan. Vol.42, №. 1, March 1999. P. 98-112.
 10. Демидова Л.А., Мятлов Г.Н. Методика оценки уникальности фрагментов электронной карты с использованием нечеткой линейной регрессии // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. №4 (40). С. 14-26.
 11. Demidova L., Trukhanov S. Objects Hyperspectral Features Identification on the Base of Fuzzy Linear Regression and Fuzzy Similarity Measures // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, no. 19, 885 – 900.
 12. Van der Weken D., Nachtegaal M., Kerre E.E. An overview of similarity measures for images // Proceedings of ICASSP 2002 (IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing). – Orlando, USA. – 2002. – pp. 3317-3320.
-

THE HYPERSPECTRAL OBJECTS FEATURE DETERMINATION BY MEANS ON MODIFIED SPECTRAL ANGLE MAPPER ALGORITHM BASED ON COMPLEX ASSOCIATION DIFFERENT DECISIONS FOR IDENTIFICATION

Trukhanov Sergey Victorovich,

Ryazan, Russian, serge_tsv@mail.ru

Abstract. Statement problem – in present time the creation processing hyperspectral information technology for resolving important tasks in different branches public facilities is very actual. The process hyperspectral data removal processing is more difficult and multistage. Usually in beginning resolve the preprocessing questions with the result measuring properties on hyperspectral data, where this properties can help to make estimation spectral objects characteristics with givened accuracy in accordance with determined Earth coordinates. After make the resolving hyperspectral data removal segmentation problem – e. t. their division on areas with approximately identical properties. Finally, identification object observed scene is realized. The article consider approach to resolve identification problem from hyperspectral data removal from space complexes, based on comparison hyperspectral features studies objects with spectral standard reference collection. Offered to consideration original modified spectral angle mapper algorithm, make hyperspectral feature identification with use complex association different decision for identification. Algorithm unit decisions based on evklid distance measure resemblance, angle measure resemblance, as well as fuzzy measure resemblance. They are shown experimental studies results proposed algorithm based on real data hyperspectral removal (from "Resupsr-P" №1 and №2 space devices) in volume 15 images. They are shown results, confirming increasing to reliability of the identification decision by means of considered algorithm on 10 % in contrast with classical spectral corner algorithm.

Key words: hyperspectral feature, hyperspectral removal, objects identification, fuzzy linear regression, signature.

References

1. Antonushkina S.V., Ereemeev V.V., Makarenkov A.A., Moskvitin A.E., Yudakov A.A. The new possibilities of the analysis object terrestrial surface based on hyperspectral removals // Thes. rep. All-rus. sc.-tehn. conf. "Actual problems space-rocket technology". Samara: SamNC RAS. 2011. P. 26-27.
2. Ahmetov R.N., Vezenov V.I., Ereemeev V.V., Stratilatov N.R., Yudakov A.A. The Main trends of the studies on creation technology data processing hyperspectral removals of the Earth // Thes. rep. All-rus. sc.-tehn. conf. "Hyperspectral instruments and technologies". Krasnogorsk, 2013. P. 23-25.
3. Ahmetov R.N., Stratilatov N.R., Yudakov A.A., Vezenov V.I., Ereemeev V.V. Some examples data processing hyperspectral removal // Earth study from space. 2013. № 3. P. 35-39.
4. Yudakov A.A. The new work directions by space hyperspectral Earth images analysis // Thes. rep. XVI All-rus. sc.-tehn. conf. "New information technologies in scientific study". Ryazan: RGRTU, 2011. P. 237-238.
5. Gonzalez Rafael C., Woods Richard E. Digital Image Processing, Moscow: Tehnosfera, 2005. P. 1072.
6. Trukhanov S.V. The objects identification algorithms from hyperspectral Earth removal data using by fuzzy linear regression // IV All-russian research conference "Actual problems space rocket technology" ("IV Kozlovskiye chteniya"), Samara, AO "RKC "Progress", 2015. T.1. – P.282-288.
7. Yang C., Everitt J H., Bradford J.M. Yield estimation from hyper-spectral imagery using spectral angle mapper (SAM). – American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 51(2): 729-737.
8. Trukhanov S.V. Using fuzzy linear regression in hyperspectral objects feature identifications // Collection of the works to All-russian research conference "Theoretical and applied problems of the development and improvements automated military managerial system". Voenno-kosmicheskaya akademiya imeni A.F. Mozhayskogo, Sankt-Peterburg, 2014 - P. 401-406.
9. Haekwan Lee, Hideo Tanaka Fuzzy approximations with non-symmetric fuzzy parameters in fuzzy regression analysis. Osaka prefecture University. Journal of the Operations Research Society of Japan. Vol.42, №. 1, March 1999. P. 98-112.
10. Demidova L.A., Myatov G.N. The Methods of the estimation unique fragments of the electronic card with use the fuzzy linear regression // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Tehnicheskie nauki. 2013. № 4 (40). P. 14-26.
11. Demidova L., Trukhanov S. Objects Hyperspectral Features Identification on the Base of Fuzzy Linear Regression and Fuzzy Similarity Measures // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, no. 19, 885 – 900.

12. Van der Weken D., Nachtegaele M., Kerre E.E. An overview of similarity measures for images // Proceedings of ICASSP 2002 (IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing). Orlando, USA. – 2002. – pp. 3317-3320.

13. Information about author:

Trukhanov Sergey Viktorovich, a deputy of the chief department, branch of the joint stock company «Rocket-Space Centre «Progress» – a Special Design Agency «Spectrum», Ryazan, Russian Federation. E-mail: serge_tsv@mail.ru. The Area of scientific interest: the study of the questions, in accordance with objects identification from hyperspectral images got from space systems; the thematic processing hyperspectral information software development.

Information about author:

Trukhanov S.V., Deputy Head of the development and implementation of information and software of the branch of JSC "Rocket and Space Center "Progress "- Special Design Bureau "Spectrum".