

М. А. Сквазников^{1}, В. В. Лобовко¹*

Концепция объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли в интересах решения социально-экономических задач

¹ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
* e-mail: vka@mil.ru

Аннотация. Увеличение объема аэрокосмической информации, обрабатываемой в целях решения социально-экономических задач, обуславливает необходимость автоматизации процесса интерпретации данных дистанционного зондирования Земли. Основная проблема автоматизации основных этапов объектно-ориентированной интерпретации изображений заключается в использовании семантических признаков объектов наблюдения, описанных на естественном языке. Целью проведенного исследования является разработка концепции объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования на основе комплексного использования разнородных признаков наблюдаемых объектов. В ходе исследования проведен анализ исходных данных, используемых при распознавании объектов искусственного происхождения, результатом которого явилась классификация используемых признаков на признаки первого и второго рода (низкого и высокого уровня абстракции соответственно). Приведен пример использования разработанной концепции объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования при проведении контроля санитарно-защитной зоны промышленных предприятий. Подтверждена необходимость комбинированного использования статистических методов обработки результатов наблюдений, методов экспертной оценки и элементов теории возможности при распознавании объектов искусственного происхождения.

Ключевые слова: объектно-ориентированная интерпретация, данные дистанционного зондирования Земли, семантические признаки, комбинированная система распознавания, санитарно-защитная зона

М. А. Skvaznikov^{1}, V. V. Lobovko¹*

The concept of object-oriented interpretation of Earth remote sensing data in the interests of solving social and economic tasks

¹ Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russian Federation
* e-mail: vka@mil.ru

Abstract. An increase in the volume of aerospace information processed in order to solve socio-economic problems necessitates the automation of the process of interpreting Earth remote sensing data. The main problem of automating the main stages of object-oriented interpretation of images is the use of semantic features of objects of observation described in natural language. The purpose of the study is to develop the concept of object-oriented interpretation of remote sensing data based on the complex use of heterogeneous features of the observed objects. In the course of the study, an analysis of the initial data used in the recognition of objects of artificial origin was carried out, which resulted in the classification of the features used into features of the first and second kind (low and high levels of abstraction, respectively). An example of using the developed concept of object-ori-

ented interpretation of remote sensing data in monitoring the sanitary protection zone of industrial enterprises is given. The necessity of the combined use of statistical methods for processing the results of observations, methods of expert evaluation and elements of the theory of possibility in recognizing objects of artificial origin is confirmed.

Keywords: object-oriented interpretation, Earth remote sensing data, semantic features, combined recognition system, sanitary protection zone

Введение

Информационное обеспечение широкого спектра социально-экономических задач в настоящее время не предполагается возможным без использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Интерпретация данных ДЗЗ представляет собой совокупность организационно связанных технологических операций, в ходе которых осуществляется обработка информации, необходимой для решения прикладных задач и доведение ее до заинтересованных потребителей.

Многokратное увеличение объема обрабатываемой информации диктует необходимость автоматизации процесса интерпретации данных ДЗЗ, основным содержательным этапом которого является распознавание объектов наблюдения.

Методы автоматизированного анализа площадных объектов достаточно широко представлены в научной литературе и реализованы в современных геоинформационных системах. Основная трудность объектно-ориентированной интерпретации компактных объектов искусственного происхождения заключается в использовании семантических признаков, описанных на естественном языке.

Целью проведенного исследования является разработка концепции объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования на основе комплексного использования разнородных признаков наблюдаемых объектов и комбинированной системы распознавания объектов наблюдений.

Материалы и методы

Автоматизация процесса интерпретации данных ДЗЗ заключается в разработке стандартных алгоритмов принятия решения о принадлежности распознаваемого объекта к одному из заданных классов на основе некоторых исходных данных. Перечень требуемых исходных данных определяется выбранным критерием принятия решения. В минимальном объеме исходные данные должны содержать кардинальные свойства (признаки) распознаваемых объектов.

Человек при распознавании использует как признаки, значения которых принимают числовые значения и легко переводятся на «машинный» язык (признаки низкого уровня абстракции), так и семантические признаки высокого уровня абстракции, описываемые на естественном языке.

К признакам первого рода относятся размеры самого объекта и отдельных его элементов, а также логические признаки, характеризующие наличие либо отсутствие у объекта определенных свойств или элементов.

К признакам второго рода относятся форма, цвет (тон), текстура объекта (его изображения). Примерами семантических признаков являются извилистость

(прямолинейность) границы объекта, вытянутость, геометрическая правильность формы, зернистость текстуры (мелкозернистая, полосчатая, сетчатая, струйчатая и др.).

Комплексное использование всех признаков при автоматизированной интерпретации данных ДЗЗ требует разработки методов формализации семантических признаков.

Одним из методов автоматизированной интерпретации данных ДЗЗ является использование в качестве отличительных особенностей (признаков) классифицируемых объектов – статистических характеристик их изображений – как правило, средних значений и дисперсий яркости отдельных пикселей [1].

Особенности отражательной способности объектов в различных диапазонах спектра электромагнитного излучения позволяют создавать библиотеки спектральных кривых для различных классов [2]. Однако данные методы применимы только для площадных объектов (водной поверхности, территорий со снежными покровами, различных типов растительности и т.д.)

Для текстурных областей используются значения энергии, контраста, корреляции, однородности [3].

Принятие решений осуществляется с использованием методов деревьев решений, опорных векторов, искусственных нейронных сетей и др. [4-7].

Появление в арсенале средств ДЗЗ спутников высокого и сверхвысокого разрешения привело к разработке методов объектно-ориентированного анализа данных космической съемки [8-13]. Однако предлагаемые алгоритмы классификации объектов требуют специальной подготовки операторов либо не предоставляют возможности управления процессом распознавания [14].

Разработанная концепция объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли включает: а) комплексный словарь количественных и качественных (в том числе, семантических) признаков наблюдаемых объектов; б) комбинированную систему распознавания объектов (на основе использования логических, вероятностных и нечетких методов распознавания); в) совокупность статистических методов обработки результатов наблюдений и методов экспертной оценки [15-21].

Результаты и обсуждение результатов

Контроль размещения объектов селитебной и промышленных зон городской застройки является одной из важнейших социально-экономических задач федерального и регионального уровней.

Промышленные предприятия в зависимости от типа производства оказывают различное влияние на экологию региона. Размеры санитарно-защитной зоны зависят от вредности производства для здоровья человека и составляют от 50 до 1000 м. Площадь данной зоны определяется периметром технической территории промышленного предприятия и классом в соответствии с санитарной классификацией [22]. Так например, для нефтеперерабатывающего завода Кириши площадь санитарно-защитной зоны (СЗЗ) составляет около 25 кв. км.

В соответствии с режимом территории в санитарно-защитной зоне не допускается размещать жилую застройку, зоны отдыха, курорты, санатории, дома отдыха, садоводства, коттеджи, дачи, садово-огородные участки, спортивные сооружения, образовательные и оздоровительные учреждения.

Из данного перечня наиболее часто нарушителями ССЗ являются собственники индивидуальных дачных и садово-огородных участков, а также индивидуальных коттеджей.

Контроль нарушений СЗЗ осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Наиболее эффективными средствами контроля нарушений режима ССЗ являются космические средства ДЗЗ.

Основной проблемой автоматизации процесса обнаружения нарушителей ССЗ по данным ДЗЗ является невозможность использования статистических характеристик изображений объектов-нарушителей ССЗ в процессе распознавания по причине их близости.

В то же время использование методов объектно-ориентированной интерпретации влечет необходимость использования семантически неопределенных признаков распознаваемых объектов.

Предлагается подход к решению данной проблемы, основанный на комбинированном применении статистических методов обработки результатов наблюдений, методов экспертной оценки, а также элементов теории возможностей.

В табл. 1 представлено комплексное описание одного из классов контролируемых объектов санитарно-защитной зоны промышленных предприятий – объектов коттеджной застройки.

Для описания рассматриваемого класса используются следующие разнородные признаки.

К признакам первого рода (низкого уровня абстракции) относятся:

а) площади коттеджа и земельного участка (числовые значения признаков характеризуются средними значениями и дисперсией выборки);

б) конструкционные логические признаки, характеризующие наличие либо отсутствие у объекта определенных элементов. Данные признаки принимают только два значения истинности высказывания – «да» и «нет», для описания которых на «машинном» языке могут использоваться числовые значения «1» и «0» соответственно.

К признакам второго рода (высокого уровня абстракции) относятся форма коттеджа в плане; его вытянутость и геометрическая правильность; тон, контрастность, зернистость текстуры изображения коттеджа на снимке. Каждый из семантических признаков имеет свой набор лингвистических значений, для математического описания степеней принадлежности которых использовался аппарат теории возможностей и методы экспертной оценки [15]. Альтернативным способом определения числовых значений семантических признаков является использование эмпирических математических выражений [8,23]. В табл. 1 такие значения получены для признаков: «вытянутость», «контрастность», «зернистость».

Описание класса объектов ССЗ «Коттеджная застройка»

Класс признаков	Признаки	Числовое значение признаков (ср. зн./дисп.)	Лингвистическое значение, степень принадлежности
Геометрические	Форма в плане	–	Прямоугольная (0,21) Многоугольная (0,71)
	Вытянутость	0,0189/7,2E-06	Невытянутый (0,96) Вытянутый (0,03)
	Геометрическая правильность	–	Высокая (0,83) Средняя (0,14)
	Площадь коттеджа, м ²	255/3417	–
	Площадь земельного участка, м ²	1520/59169	–
Яркостные	Тон	–	Почти черный (0,28) Темно-серый (0,46) Серый (0,22)
	Контрастность	0,7033/0,002780952 0,5193/0,003349524	Выше среднего (0,76) Средняя (0,18)
Текстурные	Зернистость	0,2193/0,005535238 0,5322/0,019268314 0,1593/0,000792381	Крупнозернистая (0,35) Зернистая (0,45) Мелкозернистая (0,2)
Конструкционные	Ограждения	1	–
	Дымоходные трубы	1	–
	Вентиляционные трубы	0	–
	Придомовая территория	1	–
	Зона отдыха	1	–
	Подиум	1	–
	Парковочная площадка	1	–
	Бассейн	1	–
	Навес в зоне отдыха	1	–

Числовые значения признаков определялись по выборке из 1000 коттеджей, расположенных в Ленинградской области.

Заключение

В результате исследований разработана концепция объектно-ориентированной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли, включающая комбинированную систему распознавания и словарь разнородных признаков наблюдаемых объектов, а также совокупность статистических методов обработки результатов наблюдений и методов экспертной оценки и нечеткой логики.

Показана возможность использования разработанной концепции в интересах решения социально-экономических задач на примере распознавания объектов искусственного происхождения, находящихся в пределах санитарно-защитной зоны промышленных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sonka, M. Image processing, analysis and machine vision / M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle. — Boston : Cengage Learning, 2015. — 920 p.

2. USGS digital spectral library [Electronic resource] / U.S. Geological Survey. — Electronic data. — [USA], 2007. — Mode of access: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>.
3. Zucker, S. W. Finding structure in co-occurrence matrices for texture analysis / S. W. Zucker, D. Terzopoulos // *Computer Graphics and Image Processing*. — 1980. — Vol. 12, Issue 3. — P. 286-308.
4. Савиных В.П., Кучко А.С., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. — М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2001. — 228 с.
5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. / Р.А. Шовенгердт. — М.: Техносфера, 2010. — 560 с.
6. Lee D.S. Class-guided building extraction from Ikonos imagery / D.S.Lee, J.Shen, J.S.Bethel // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. — 2003. — Vol. 69, No.2. — pp. 143-150.
7. Wang, W.N. Image Emotional Semantic Query Based on Color Semantic Description / W.N.Wang, Y.L.Yu // *Proc. Of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol.7. — Guangzhou, 2005. — pp. 4571-4576.
8. Соловьева А.Н. Многоуровневое описание космических снимков в задаче автоматизированного дешифрирования / А.В. Кучуганов, А.Н. Соловьева // *Интеллектуальные системы в производстве*. — 2014. №2 (24). С. 164-166.
9. Blaschke, T. Object based image analysis for remote sensing / T.Blaschke// *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — 2010. — Vol.65, Issue 1. — pp. 2-16.
10. Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications / T.Blaschke, S.Lang, G.J.Hay (eds.). — Berlin: Springer, 2008. — 817 p. — (Lecture notes in geoinformation and cartography).
11. Huang, L. Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy / L.Huang, L.Ni // *Proc. of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. — Shanghai, 2008. — P.211–218.
12. Du, F. L., 2004. Object-oriented Image Classification Analysis and Evaluation, remote sensing technology and application, Vol.19, No.1, pp. 20-23.
13. Lee, J.Y., 2004. Image classification with a region based approach in high spatial resolution imagery, ISPRS, Istanbul, 2004. ACK.
14. GEOBIA state of the art, science or technology [Electronic resource] / P. Aplin. — Electronic data (1 file: 2431 Kbytes). — Thessaloniki, 2014. — Mode of access: <http://geobia2014.web.auth.gr/geobia14/sites/default/files/pictures/aplin.pdf>.
15. Сквазников М.А., Колыгин Д.Л., Торшина И.П. Применение математического аппарата теории возможностей для семантического описания признаков объектов дистанционного зондирования Земли // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2022. Т. 66. № 2. С. 6-19. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-2-6-19.
16. Leiss I. A. Use of Expert Knowledge and Possibility Theory in Land Use Classification / vo A. Leiss, Stefan Sandmeier, Klaus I. Itten, and Tobias W. Kellenberger. 1996. P. 133–137.
17. S.Dasiopouiou, I.Kompatsiaris, M.G.Strintzis. Applying Fuzzy DLs in the Extraction of Image Semantics. *Journal on Data Semantics XIV/ Lecture Notes in the Computer Science*. Vol.5880. — 2009. — pp.105-132.
18. Roux, L. & J. Desachy 1994. Satellite Classification Based on Multi-Source Information-Fusion With Possibility Theory. *Proc. Of IGARRS'94, Pasadena, CA*: 885-887.
19. Roux L. Multisources Approach for Satellite Image Interpretation SPIE, 1994. pp. 172–181.
20. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. Под ред. Р.Р. Ягера. — М.: Радио и связь, 1986. — 408 с.
21. Ostergaard, J. Fuzzy Logic Control of a Heat Exchanger Process. In M.Cupta, G.Sardis, and B.Gaines (Eds.). *Fuzzy Automata and Decision Processes?* North-Holland Publishing Co., New York, 1977.

22. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. N 74 "О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (с изменениями и дополнениями), 2008.

23. Кучуганов А. В., Осколков П. П. Автоматизация обработки и семантическое кодирование цифровых изображений // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2013. - № 1. - С. 41-44.

© М. А. Сквизников, В. В. Лобовко, 2023