

Методика логического анализа космических изображений и ее применение в задаче космического мониторинга объектов захоронения отходов

Logical analysis technique of space images and its application in the field of space monitoring of waste disposal facilities

Казарян / Kazaryan M.

Маретта Леоновна

(marettak@bk.ru)

кандидат физико-математических наук, доцент, профессор Российской академии естествознания. ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России, доцент кафедры химии и физики. г. Владикавказ

Шахраманиян / Shakhramanyan M.

Михаил Андраникович

(7283763@mail.ru)

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почетный строитель РФ, изобретатель СССР, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, академик Российской академии естественных наук, Международной академии информатизации, Международной академии наук Евразии, Всемирной академии комплексной безопасности. ФГБНУ «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», заместитель директора по науке. г. Москва

Рихтер / Richter A.

Андрей Алексеевич

(7283763@mail.ru)

кандидат технических наук. ФГБНУ «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», программист. г. Москва

Мурынин / Murynin A.

Александр Борисович

(AMurynin@bk.ru)

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», старший научный сотрудник. г. Москва

Ключевые слова: космическое изображение – space image; логический анализ – logical analysis; дедуктивный анализ – deductive analysis; объекты захоронения отходов – waste disposal facilities; полигоны твердых бытовых отходов – solid waste landfills; свалки – dumps; рассуждение – reasoning; интерпретация – interpretation; объект – object; класс – class; событие – event.

В работе предлагается идея введения методики дедуктивного (логического) анализа дистанционных изображений, позволяющая дать интерпретацию событий, происходящих на заданной территории поверхности Земли, по одному, двум или более изображениям. Приведены основные понятия дедуктивного анализа дистанционных изображений (информация, источник информации, рассуждения, состояние, события, пространственная и временная связь и др.), ее достоинства, область применения и границы применимости. Показаны основные виды информации, извлекаемые с изображений, и выделена скрытая информация, которая может быть получена только проведением логического анализа. Проведены исследование участка поверхности Земли методикой логического анализа и схематизация результатов анализа.

The research article offers the idea of introducing a technique of the deductive (logical) analysis of remote images, which makes it possible to give an interpretation of events occurring on a given trajectory of the ground surface according to one, two or more images. The basic concepts of the deductive analysis of remote images (information, source of information, reasoning, state, events, spatial and temporal relationship, etc.), its advantages, scope and applicability. The main types of information extracted from images are shown, and the hidden information that can be received only by means of the logical analysis is highlighted. Researches of the surface area of the ground using a technique of the logical analysis and the schematization of the analysis results are carried out.

Введение

Большинство, если не все, методы и алгоритмы обработки изображений решают весьма ограниченный круг задач космического мониторинга. В частности, в задачах детектирования областей некоторый разработанный алгоритм выделяет по исходному изображению объекты заданного типа, расположенные на ограниченной территории в ограниченный период времени. К тому же большинство автоматизированных и автоматических алгоритмов, использующих системы понимания изображений [1–4], компьютерное зрение [5, 6], бинарный [7] и синдромный [8] анализ, ассоциируются, в основном, с обнаружением, выделением, маркировкой и картографированием участков поверхности земли и не дают комплексный анализ информации на этих изображениях. Т.к. видов природных и антропогенных объектов огромное количество, для каждого из них разрабатываются свои алгоритмы, которые нагружаются на космические изображения или их ряды, и при этом полноценного и завершенного анализа космического изображения и заданной области наблюдения не происходит.

Постановка задачи

Достоинством классических алгоритмов космического мониторинга является автоматизация обработки изображения, т.е. масштабное обследование области наблюдения с использованием космических изображений. Но обратной стороной этой «монеты» является главный их недостаток – ограниченные возможности обследования области. Основная часть информации не извлекается с изображения.

Для решения данной проблемы предлагается методика дедуктивного анализа космических изображений, использующая принципы визуального детектирования [9–13] и логических рассуждений изображений [14–16]. Дедуктивный (логический) анализ – получение максимального количества информации по космическому изображению без использования алгоритмов обработки изображений.

К достоинствам методики дедуктивного анализа космических изображений относятся: 1) для реализации методики не требуется знаний программирования, теории и практики обработки изображений; 2) добыча информации, которую нельзя получить современными методами обработки изображений; 3) нет привязки к типу изображений, т.к. методы дедукции одинаковы для изображений любых видов.

К недостаткам методики относятся: 1) индивидуальная работа с каждым изображением, невозможность частичной или полной автоматизации на сегодняшний день; 2) необходимость ручного и детального просмотра изображения; 3) невозможность получить распределение параметров состояния поверхности, что достигается обработкой изображений.

Цель дедуктивного анализа: 1) восстановление истории изображения; 2) восстановления информации о текущем снимке; 3) прогнозирование будущих процессов на поверхности земли, исходя из заданного изображения; 4) восстановление промежуточной информации (между соседними датами съемки). Иначе, цель – некоторое расширение пространственно-временных границ изображения.

Описание методики

На рис. 1 показаны основные виды информации, извлекаемые с изображения, и их взаимосвязь (а): 1 – видимая информация, 2 – невидимая информация, 3 – информация, полученная обработкой изображений, 4 – информация, полученная дедуктивным анализом, 5 – общая информация, полученная обработкой изображений и дедуктивным анализом; 6 – восстанавливаемая информация, 7 – невозстанавливаемая информация, 8 – вся информация изображения. С точки зрения логического анализа, космическое изображение является информационным полем, на котором в той или иной степени отражена информация 1–8 (б).

Для рассуждений, составляющих основу методики, характерно следующее: 1) предлагаются варианты объяснения того или иного факта (детали на изображении).

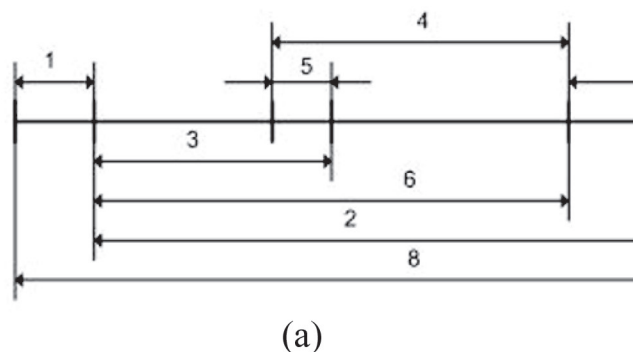


Рис. 1. а) виды информации на изображении; б) хозяйственная зона полигона ТБО Тимохово, Ногинский район, Московского региона

жении); 2) при рассуждении интерпретируется та или иная область изображения; 3) рассуждения имеют вероятностный и статистический характер; 4) одна деталь и одно рассуждение ведет к другой детали и другому рассуждению и т.д., образуя цепочку логических связей; 5) в процессе рассуждений происходит перемещение по изображению, т.е. логическая связь формируется между пространственно взаимосвязанными объектами изображения; 6) рассуждения можно провести по определенным алгоритмам, позволяющим восстановить скрытую информацию, и систематизировать в некоторую форму.

Общая схема проведения логического анализа изображения: 1) выделение источников информации – наиболее интерпретируемых и распознаваемых объектов изображений; 2) разметка объектов в окрестности источников и определение пространственных взаимосвязей между ними; 3) установление логической связи между объектами в виде гипотез, образующих множество альтернативных событий, произошедших за некоторый промежуток времени над этими объектами; 4) систематизация обнаруженных объектов и событий.

С точки зрения изображений поверхности земли событие – изменение состояния поверхности с a до b одной территории Π за промежуток времени $[t_1, t_2]$, причем состояние a характеризуется изображением I_1 , снятым в момент времени t_1 , а состояние b – изображением I_2 , снятым в момент $t_2 > t_1$ (рис. 2).

Для возможности проведения логического анализа проводится визуальное детектирование объектов, т.е. различение объекта от фона и причисление его к некоторому физическому классу. Визуальное детектирование [17, 18] событий осуществляется при определении пространственно-временной связи между объектами A и B , причем временную связь можно вывести из пространственной – см. рис. 3 на примере расположения объектов захоронения отходов (ОЗО) A относительно различных объектов B .

Информация логического анализа схематизируется различными формами (рис. 4), к которым относятся, например: 1) логические цепочки (а), отображающие последовательность состояний $A, B, C, \dots$, и событий x , приводящих из одного состояния в другое; 2) таблицы хронологических пар (б), в которых выводится информация, исходя из прямого и обратного временного порядка появления объектов A и B ; 3) вероятностные схемы объектов и событий (в), в которых задаются вероятности предположения об идентификации объекта A (события a); 4) соотношение между объектами (событиями над объектами) во времени (г) с заданием интервалов времени t , за которые возникли объекты $A, B, \dots$ (произошли события $a, b, \dots$); 5) дерево наиболее вероятностных событий (д), в которых отражается временная последовательность событий $a, b, \dots$ (состояний $A, B, \dots$), и соответствующие изображения I_i .

Логический анализ и его систематизация позволяет привести в движение «мгновения», отображаемые на изображениях, в частности, выявить информацию о том, что происходило между «мгновениями» (анализ по паре изображений), выйти за временные рамки «мгновения» в направлении прошлого или будущего (анализ по одному изображению).

Результаты работы алгоритма

Рассмотрим небольшой участок окрестности полигона ТБО Тимохово, Ногинский район Московского региона – рис. 5.

Дадим оценку того, как возникли те или иные детали на изображении (в частности, 1–8) и в какой последовательности с применением визуального детектирования [19, 20].

Растительные объекты являются индикаторами многих событий, произошедших на поверхности земли. В таблице 1 приведены гипотезы для хронологической пары (1, 2).

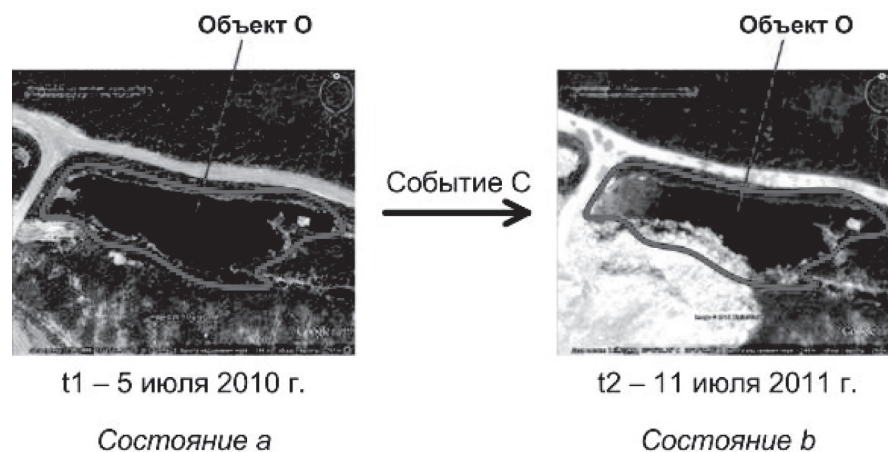


Рис. 2. Структура события по данным космических изображений (окрестность полигона ТБО Тимохово)

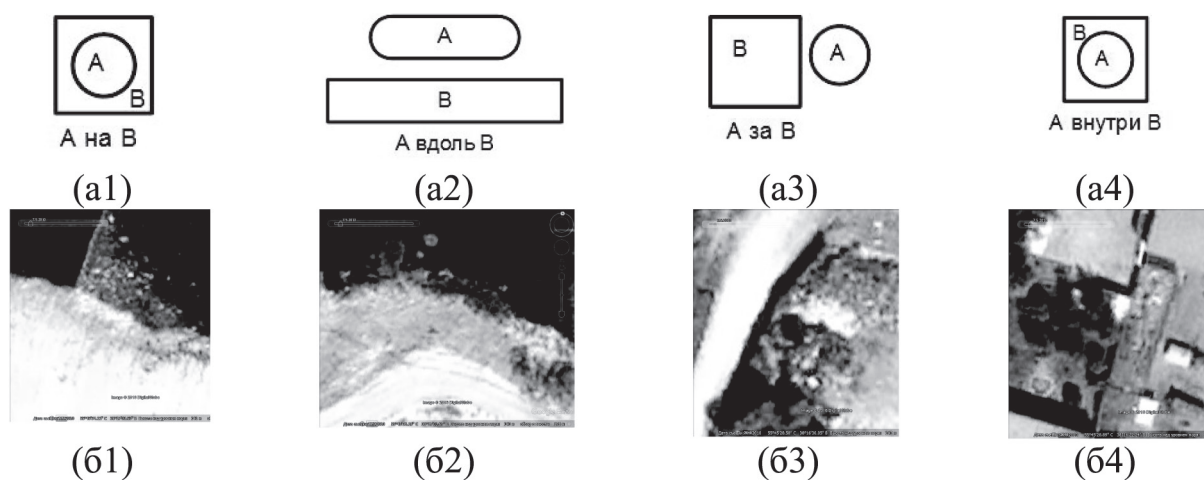


Рис. 3. Примеры пространственных связей объектов: 1) схема относительного расположения; 2) изображения поверхности земли (июль, 2010 г.). А – ОЗО; В – водоем (а), дорога, водоем (б), заграждение, дерево (в), ограждение, здание (г)

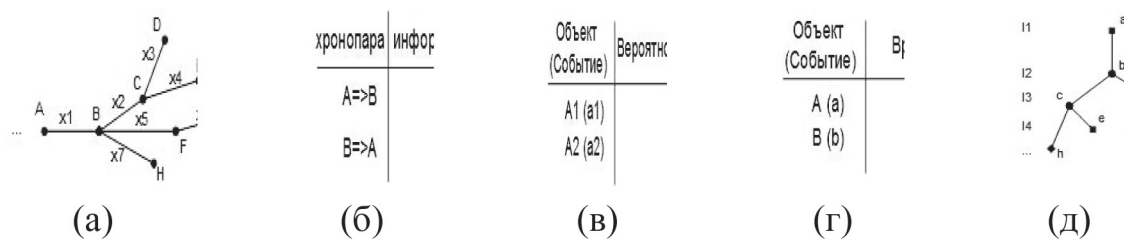


Рис. 4. Некоторые формы систематизации логического анализа изображений



Рис. 5. Участок визуального детектирования

Таблица 1

Хронологическая пара (1, 2)

Прямой порядок (1 => 2)
Деревья не являются элементами проектирования дороги, т.к. имеют неправильную (естественную) форму разрастания. До проектирования дороги деревья занимали большую площадь, чем к моменту съемки, но часть их была вырублена. Однако со временем они разрастаются вне области покрытия дороги, причем на склоне их возраст и скорость роста ниже, чем на ровной местности, т.к. на склоне они начали расти после его формирования, тогда как у основания полигона технологических операций не было, и деревья росли параллельно с формированием свалки. К тому же скорость роста деревьев на склоне в среднем ниже, чем на ровной местности (ввиду различия в условиях освещенности, свойствах структуры почвы и ее рельефности).
Обратный порядок (2 => 1)
Деревья являются элементами проектирования дороги, выполняя роль защитных экранов, также как водоем является сопутствующим элементом проектирования, принимая правильную форму. Скорость их разрастания у основания ниже, чем на склоне в связи с тем, что загрязнение почвы фильтрационными водами свалки распространяется больше в основании и ровной местности, чем на склоне. До проектирования дороги деревья образовывали «остров» среди поля, но с образованием полигона и затем окольцеванием его дорогой основная часть поля была срезана. Этим объясняется разный характер роста деревьев на склоне (лесополоса, параллельная дороге) и у основания (случайная форма лесомассива).

Одно из предположений состоит в том, что с обеих сторон дороги лесопосадка, сформированная в процессе ее проектирования: со стороны поля – существует сейчас, со стороны полигона – исчезла при разрастании полигона, но выросла на его склонах. Это связано с тем, что полигон не мог существовать без дороги, т.е. дорога была создана до полигона, а на его месте было что-то другое – например, продолжение поля 5, которое было срезано дорогой, а в дальнейшем, замещено полигоном. Это было поле (искусственный объект), а не луг (естественный), т.к. лес под него срезан по правильным линиям 6, а в отдельных местах со временем лес зарос по краям и принял менее правильную форму (например, линии 7). Но сельскохозяйственное поле не могло быть столь малого размера. Выходит, полигон сформирован на экологически благоприятном месте – не на бывших карьерных выработках, например. До сельскохозяйственного поля были луга, лес был больше, возможно были водоемы, т.к. по краям полигона отмечается множество мелких и срезанных водо-

емов, а также элементы регулирования водной системы (плотины, каналы, запруды и др.). Соответственно, все элементы полигона, в том числе растительность на его склоне 8, тропинка по его периметру 9 возникли после его формирования.

Хронологию событий (месяц и год) можно предположить, исходя из: ряда последовательности событий, известных времен возникновения (например, полигона), размера и густоты деревьев, правильности их формирования (например, границ) и т.д.

В таблице 2 показана формализация вероятностей p_i «на глаз» тех или иных идентификаций одного из объектов (объект 3 вдоль дороги) и событий, логически связанных с событием вырубki деревьев 6–7. События составляют полную группу, в связи с чем сумма вероятностей $\{q_i\}$ i -х гипотез:

$$\sum_{i=1}^n q_i = 100\%, \quad q_i = p_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^{-1}, \quad i = 1..n, \quad n=5 - \text{число}$$

гипотез.

Таблица 2

Вероятностная схема

Идентификация объекта 3			Идентификация события 6-7		
i	P_i	Утверждение	i	P_i	Утверждение
1	80	Водоем	1	70	Формирование сельскохозяйственного поля
2	10	Тень	2	5	Проведение дороги
3	5	Лесомассив	3	20	Расширение границ полигона
4	30	Рытвина, ров	4	5	Вырубка больных деревьев
5	40	Фильтрат	5	10	Природный фактор

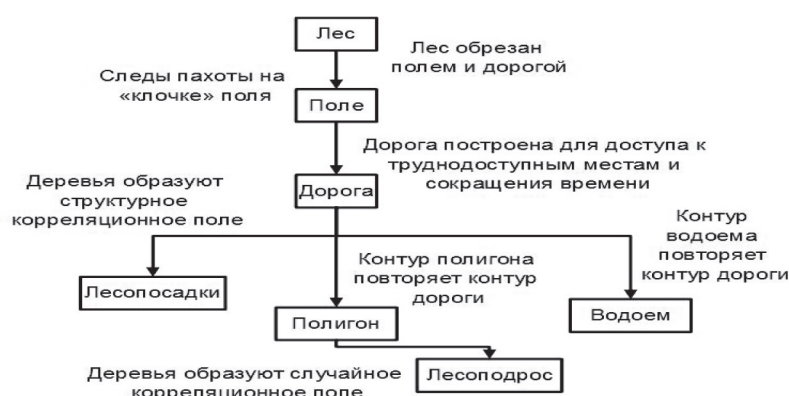


Рис. 6. Хронологическая цепочка

Таким образом выстраивается некоторая хронологическая цепочка формирования объектов, которую можно представить в виде схемы с обозначением основных аргументов хронологических звеньев (по одному визуальному аргументу) – рис. 6.

Закключение

Логический анализ изображений поверхности земли позволяет привести в движение изображение и понять не только, что происходило между снятыми «мгновениями», но и восстановить историю того, что происходило на данной территории, и спрогнозировать ее будущее с применением визуального детектирования. Данную методику можно использовать для труднодоступных наземным методам мониторинга областей поверхности земли, таких как территории полигонов ТБО и несанкционированных свалок, проводя «расследования» разнообразных нарушений, устанавливая «улики», «аргументы» и другие материалы «дел».

Литература

1. Medical students' cognitive load in volumetric image interpretation: Insights from human-computer interaction and

eye movements / Bobby G. Stuijzand [et al.] // Computers in Human Behavior. – 2016. – Vol. 62. – P. 394–403.

2. The impact of image test bank construction on radiographic interpretation outcomes: A comparison study / M. Hardy [et al.] // Radiography. – 2016. – Vol. 22. – P. 166–170.

3. Федюкин, И. А. Использование компьютерного зрения для автоматизации производственных процессов / И.А. Федюкин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции / под ред. А.А. Горохова. – Курск, 2014. – С. 244–247.

4. Кудряшов, А. П. Распознавание контуров зданий на топографическом плане для реконструкции городских сцен / А.П. Кудряшов, И.В. Соловьёв // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 2 (128). – С. 3–8.

5. Палагин, Д. Ю. Бинарный анализ смыслового содержания текста на уроках литературы в 10–11 классах / Д.Ю. Палагин // Конференциум АСОУ: сборник научных трудов и материалов научно-практических конференций. – 2015. – № 4. – С. 1249–1252.

6. Беликова, Т. П. Обработка изображений и синдромный анализ для улучшения интерпретации изображений / Т.П. Беликова, И.И. Стенина, Н.И. Яшунская // Компьютерная оптика. – 1997. – № 17. – С. 103–110.

7. Application of logical analysis of data to machinery-related accident prevention based on scarce data / Sabrina Jocelyn [et al.] // Reliability Engineering & System Safety. – 2017. – Vol. 159. – P. 223–236.

8. Toneis, Cristiano Natal. The act of playing and the logical and mathematical reasoning in digital games: The mathematical experience in the digital games / Cristiano Natal Toneis // Entertainment Computing. – 2017. – Vol. 18. – P. 93–102.

9. A chaos-based image encryption algorithm with simple logical functions / Erdem Yavuz [et al.] // Computers & Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 54. – P. 471–483.

10. Binocular visual characteristics based fragile watermarking scheme for tamper detection in stereoscopic images / Wujie Zhou [et al.] // AEU – International Journal of Electronics and Communications. – 2016. – Vol. 70, Issue 1. – P. 77–84.

11. Visual microarray detection for human IgE based on silver nanoparticles / Zhoumin Li [et al.] // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2017. – Vol. 239. – P. 45–51.

12. Галкин, А. Л. Лингвистические информационные структуры логических моделей изображений / А.Л. Галкин // Научная мысль. – 2016. – № 4. – С. 101–103.

13. Броневи́ч, А. Г. Развитие теории нечетких мер для описания неопределенности в моделях принятия решений, логического вывода и анализа автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 05.13.17 / А.Г. Броневи́ч ; Таганрогский гос. радиотехнический ун-т. – Таганрог, 2004. – 40 с.

14. Волченков, Н. Г. Использование интерфейса логического и визуального программирования для анализа изображений геометрических тел / Н.Г. Волченков // Научная визуализация. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 84–97.

15. Проценко, В. И. Анализ параметров систем детектирования множественных визуальных объектов в режиме реального времени / В.И. Проценко, Н.Л. Казанский, П.Г. Серафимович // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 582–591.

16. Алфимцев, А. Н. Автоматизация визуальной оценки городского пейзажа методами компьютерного зрения / А.Н. Алфимцев, П.А. Кукин // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 7. – С. 28–33.

17. Рихтер, А. А. Метод визуального детектирования в задаче космического мониторинга объектов захоронения отходов / А.А. Рихтер, М.А. Шахрамьян, М.Л. Казарян // Вестник Владикавказского научного центра. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 61–67.

18. Richter, A. Monitoring of the technical requirements compliance in the Solid Household Waste landfills functioning through the method of visual detection / A. Richter, M. Kazaryan, M. Shakhramanyan // MATEC Web of Conferences XIII International Scientific-Technical Conference «Dynamic of Technical Systems» (DTS-2017). DOI: 10.1051/mateconf/201713205006. – 2017, Vol. 132.