

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье проводится сравнительный анализ различных методов сегментации изображений, позволяющих выделять связанные области, применительно к задаче обнаружения зданий на спутниковых изображениях. Для оценки качества сегментации используются критерии чрезмерной и недостаточной сегментации. Предложен подход к сегментации спутниковых изображений, основанный на использовании комбинации методов сегментации и нечеткой кластеризации с применением морфологической обработки.

The article presents a comparative analysis of different methods for image segmentation that allows extracting relevant connected regions in the images, as applied to detecting buildings in Satellite imagery. Over and under segmentation criteria used to assess the quality of segmentation. An approach to segmentation of satellite images based on a combination of methods of image segmentation and fuzzy clustering using morphological processing.

Введение

Сегодня городские территории являются наиболее динамично развивающимися областями. Здесь предъявляются самые высокие требования к геодезическим данным в части актуальности и пространственного разрешения. Спутниковые изображения сверхвысокого разрешения обеспечивают средства для поддержания городских геодезических данных в актуальном состоянии и их документирования. Городские администрации, которые занимаются управлением и планированием окружающей среды, все чаще переходят к использованию географических информационных систем (ГИС) для создания планов роста и развития городов, и для изменения зонирования территории, реагируя на демографический рост.

Задача автоматического распознавания зданий на спутниковых изображениях сверхвысокого разрешения является важной частью в решении задачи автоматической интерпретации данных, получаемых из систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственной информации используется ГИС. Ручная оцифровка и ввод пространственных данных в базу данных ГИС имеет недостатки в виде больших временных и материальных затрат, а также в виде высокого риска допущения ошибок, по причине человеческого фактора. Автоматическая система распознавания зданий на спутниковых изображениях позволит не только сократить временные и мате-

риальные затраты на обновление базы данных ГИС, а также повысить точность вводимых данных.

В связи с возрастающими возможностями получения спутниковых данных сверхвысокого разрешения усиливается необходимость в разработке методов их автоматического анализа. Вследствие увеличения разрешения спутниковых данных, все большее развитие получает объектно-ориентированный подход к их обработке, одним из основных этапов которого является сегментация изображения, направленная на выделение объектов.

Подходящий метод сегментации выбирается в зависимости от поставленной задачи. Наиболее часто применяемым при решении задачи обнаружения зданий на спутниковых снимках является метод роста регионов [1] [2] [3]. В работах [4] и [5] для повышения качества сегментации используется метод выделения границ совместно с методом роста регионов.

Цель работы состоит в проведении сравнительного анализа различных методов сегментации изображений, рассмотрении операций морфологической обработки и выборе наиболее подходящего подхода к обработке спутниковых изображений, позволяющего повысить адекватность тематической сегментации.

Методы сегментации спутниковых изображений

Объектно-ориентированный подход к анализу спутниковых изображений высокого пространственного разрешения возник в 90-х го-

дах. В рамках данного подхода происходит анализ и классификация изображений на уровне объектов, т.е. групп пикселей, объединенных на основе определенной совокупности критериев. В качестве признаков для классификации могут использоваться статистические, текстурные и геометрические характеристики объектов. На Рис.1 представлена структура объектно-ориентированного подхода к анализу изображений.

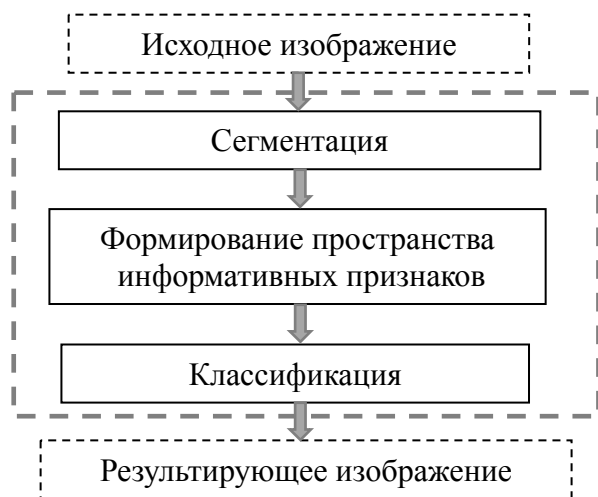


Рис.1 Структура объектно-ориентированного подхода к анализу изображений

Под сегментацией изображения понимается процесс разделения изображения на несколько сегментов. Целью сегментации является выделение сегментов, однородных в определенном заданном смысле. Результатом сегментации является множество сегментов, покрывающих всё изображение, или множество контуров, выделенных на изображении. Объект и фон разделены так, что легко определить число объектов, их местоположение и геометрические характеристики.

Как видно из Рис.1 сегментация является ключевым этапом обработки данных и влияет на эффективность всех дальнейших шагов анализа спутниковых изображений по причине зависимости качества получаемого в результате работы системы распознавания решения от правильно выделенных объектов. Чрезмерная или недостаточная сегментация могут привести к неправильному определению расположения и размеров объектов, что ведет к ошибочным результатам.

К полученным в результате сегментации сегментам предъявляются следующие требования [6]:

1. Области должны быть однородны относительно определенных характеристик;

2. Внутренние части областей не должны содержать большое количество пустот;
3. Смежные области должны существенно отличаться по значению выбранных характеристик;
4. Границы каждого полученного сегмента должны быть четкими.

Проведен сравнительный анализ следующих методов сегментации [7] [8]:

1. метод гистограмм,
2. метод разбиения и слияния регионов,
3. нечеткая кластеризация С-средних,
4. метод роста регионов,
5. метод роста регионов и нечеткая кластеризация С-средних.

В работе использовались спутниковые изображения IKONOS и GeoEye-1. Пространственное разрешение спутниковых данных составляет 0.8 м и 0.5 м соответственно.

Входное изображение представляет собой растровые данные в цветовой модели RGB, преобразуем его в оттенки серого. Каждая точка RGB-изображения воспринимается глазом как более или менее яркая. В образовании этой точки принимают участие все три цветовых канала изображения. Поскольку различные базовые цвета имеют различную воспринимаемую яркость, то будем использовать метод перехода к оттенкам серого, предложенный в [9], который заключается в получении яркости каждой точки по формуле:

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B$$

Для проведения сравнительного анализа методов сегментации были использованы критерии, основанные на вычислении меры отличия между результатом сегментации, полученным с помощью алгоритма, и сегментом, построенным экспертом на основе визуального анализа изображения. Оценивается качество сегментации зданий, а не всего спутникового изображения. Необходимо отметить, что присутствие эксперта обуславливает возможность влияния человеческого фактора на результат сравнительного анализа.

Ниже приведены критерии оценки качества сегментации:

1. Показатель чрезмерной сегментации

$$FPR = \frac{S_1 \cap S_2^c}{S_1 \cup S_2}$$

2. Показатель недостаточной сегментации

$$FNR = \frac{S_1^c \cap S_2}{S_1 \cup S_2}$$

3. бщая ошибка сегментации

$$MA = FNR + FPR$$

S_1 - результат сегментации, полученный с помощью одного из методов сегментации, S_2 - построенный экспертом сегмент, S_1^c - контур сегмента, полученный с помощью одного из

методов сегментации, S_2^c - построенный экспертом контур сегмента.

На Рис. 2 приведены примеры сегментации изображения с помощью каждого из исследуемых методов сегментации. На Рис.3 представлены результаты сравнительного анализа для различных методов сегментации.



(a)



(б)



(в)



(г)



(д)



(е)

Рис. 2 Примеры сегментации спутникового изображения IKONOS с пространственным разрешением 0.8 м

(a) – исходное изображение; (б),(в),(г),(д),(е) – сегментированное изображение с помощью различных методов: метод роста регионов + нечеткая кластеризация С-средних, метод гистограмм, метод разбиения и слияния регионов, нечеткая кластеризация С-средних, метод роста регионов

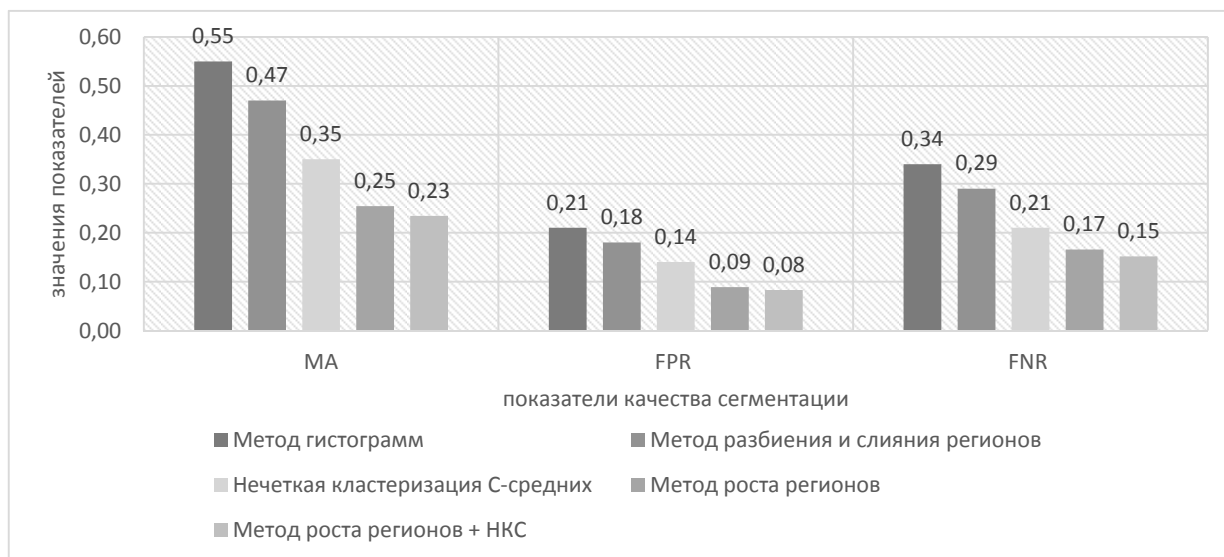


Рис.3 Результаты сравнительного анализа для различных методов сегментации

На основе полученных результатов экспериментальных исследований можно говорить, что наиболее приемлемым при решении поставленной задачи является метод основанный на последовательном применении метода роста регионов и метода нечеткой кластеризации С-средних (общая ошибка сегментации составила 0,23). После него следует метод роста регионов со значением ошибки 0,25. Метод гистограмм, как и метод разбиения и слияния регионов являются не подходящими для сегментации спутниковых изображений с целью обнаруже-

ния зданий (общая ошибка сегментации составила 0,55 и 0,47).

В Таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа метода роста регионов и предложенного комбинированного метода сегментации (метод роста регионов и нечеткая кластеризация С-средних) относительно территориальных зон различного назначения. В результате экспериментальных исследований получено среднее значение ошибки равное 0,254 при сегментации с помощью метода роста регионов и 0,234 при использовании комбинированного метода сегментации.

Таблица 1. Результаты сравнительного анализа методов сегментации относительно территориальных зон различного назначения.

| Методы сегментации | MA | | FPR | | FNR | |
|-----------------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| | Роста регионов | Роста регионов + НКС | Роста регионов | Роста регионов + НКС | Роста регионов | Роста регионов + НКС |
| Урбанизированные территории | 0,354 | 0,307 | 0,127 | 0,119 | 0,227 | 0,188 |
| Сельская местность | 0,237 | 0,198 | 0,076 | 0,064 | 0,161 | 0,134 |
| Промышленные зоны | 0,221 | 0,190 | 0,083 | 0,075 | 0,138 | 0,115 |
| Лесные зоны | 0,284 | 0,242 | 0,092 | 0,073 | 0,192 | 0,169 |
| Среднее значение ошибки | 0,254 | 0,234 | 0,089 | 0,083 | 0,166 | 0,152 |

Морфологическая обработка спутниковых изображений

Для улучшения качества сегментации использовалась морфологическая обработка, состоявшая из последовательного применения

двух морфологических операций: размывание и наращивание [6].

Морфологическая операция размывание представляет собой последовательное применение операций эрозия и наращивание. В результате сегменты разьединенные узкими

участками пикселей объединяются, контуры объектов становятся более гладкими.

Размыканием бинарного изображения A структурирующим элементом B :

$$A \circ B = \bigcup_{B_x \subseteq A} B_x$$

Морфологическая операция наращивание приводит к удалению небольших по площади замкнутых областей фона внутри сегментов.

Наращивание бинарного изображения A структурирующим элементом B :

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b$$

Результатом применения морфологических операций стало удаление шумов и объединение сегментов, ранее разъединенных узкими участками пикселей.

На Рис. 4 и Рис. 5 показана сегментация спутникового изображения методом роста регионов и методом роста регионов совместно с методом нечеткой кластеризации S -средних с последующей морфологической обработкой.

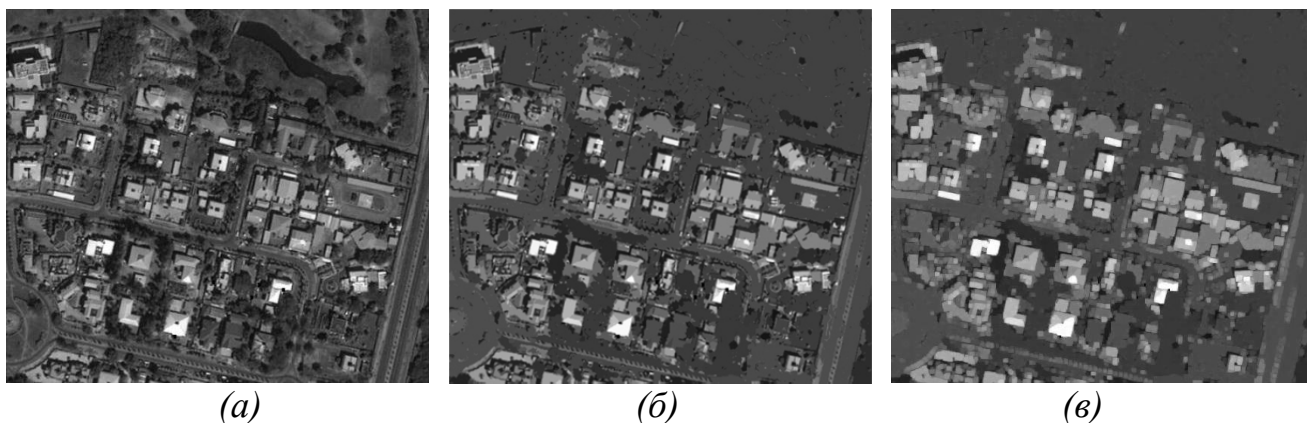


Рис. 4 Сегментация спутникового изображения IKONOS, пространственное разрешение 0.8 м

(а) – исходное изображение; (б) – сегментация методом роста регионов; (в) – морфологическая обработка;

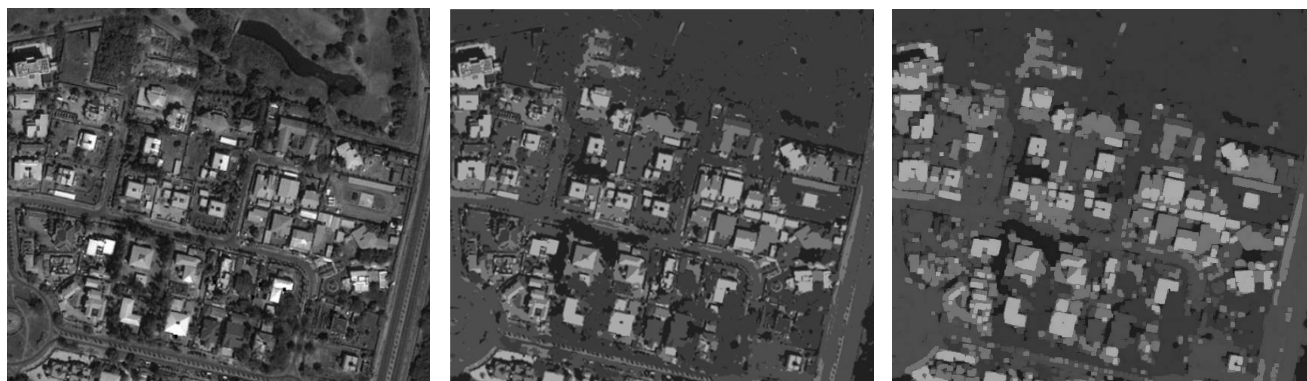


Рис. 5 Сегментация спутникового изображения IKONOS, пространственное разрешение 0.8 м

(а) – исходное изображение; (б) – сегментация методом роста регионов и методом нечеткой кластеризации S -средних; (в) – морфологическая обработка;

Результаты экспериментальных исследований показывают, что подход, основанный на последовательном применении на первом этапе метода роста регионов и метода нечеткой кластеризации S -средних, а на втором этапе морфологических операций является наиболее эффективным при решении задачи обнаружения зданий на спутниковых изображениях.

Выводы

Проведен сравнительный анализ различных методов сегментации изображений применительно к задаче обнаружения зданий на спутниковых изображениях. Для сравнения методов сегментации были использованы критерии, основанные на вычислении оценки близости результатов сегментации, полученных с помо-

щью алгоритма и построенных экспертом на основе визуального анализа.

Путем экспериментальных исследований обнаружено, что метод гистограмм некорректно сегментируют границы объектов и не является приемлемым при решении задачи обнаружения зданий на спутниковых снимках. Общая ошибка сегментации для метода гистограмм составила 0,55. Недостатком метода с использованием гистограмм, является то, что при разделении изображения на однородные области не учитывается пространственное расположение различных областей изображения. Метод роста регионов опирается в первую очередь на пространственные свойства областей, при этом каждый пиксель рассматривается в контексте своих соседей. Проведенный сравнительный анализ показывает, что значения показателей чрезмерной и недостаточной сегментации для метода роста регионов составили 0,09 и 0,17, что значительно меньше, чем значения данных показателей для метода гистограмм 0,21 и 0,34 соответственно. Наилучший результат сегментации был получен с помощью комбинированного метода, заключающегося в последовательном применении метода роста регионов и

нечеткой кластеризации С-средних. Применение нечеткой кластеризации позволяет сократить количество регионов и повысить качество сегментации. Общая ошибка сегментации для комбинированного метода составила 0,23.

Рассмотрены операции морфологической обработки. Установлено, что для повышения качества сегментации спутниковых изображений целесообразно проводить морфологическую обработку, которая обеспечивает уменьшение количества анализируемых областей за счет слияния сегментов и удаления несущественных фрагментов с точки зрения рассматриваемой задачи.

Необходимо отметить, что требуются дальнейшие исследования, направленные на усовершенствование методов тематической сегментации, учитывающих пространственные свойства областей и обеспечивающих наилучший компромисс между недостаточной и чрезмерной сегментацией.

Полученные результаты позволяют наметить перспективы использования алгоритмов сегментации при построении автоматических систем обнаружения зданий на спутниковых изображениях.

Список литературы

1. F. Rottensteiner, J. Trinder, S. Clode, K. Kubik. Detecting Buildings and Roof Segments by Combining LIDAR Data and Multispectral Images. - Massey University, New Zealand, 2003. – pp. 60-65.
2. S. Müller and D. W. Zaum, Robust building detection from aerial images. – IAPRS, Vol. XXXVI, Part 3/W24, Vienna, Austria, 2005. – pp. 143-148.
3. Adaptive Building Edge Detection by Combining LIDAR Data and Aerial Images. - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, vol. XXXVI, Part B1, 2008. – pp. 197-202.
4. S. Tanathong, K. T. Rudahl, S. E. Goldin. Object Oriented Change Detection of Buildings After a Disaster. – ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore, 2009. – pp. 1-11.
5. T. Pavlidis and Y. Liow. Integrating Region Growing and Edge Detection. – IEEE, vol.12, №3, 1990. - pp. 208 – 214.
6. Linda G. Shapiro and George C. Stockman. Computer Vision. - New Jersey, Prentice-Hall, 2001. -pp279-325.
7. Y.Wang. Tutorial: Image Segmentation. - National Taiwan University, Taipei. - pp 1-36.
8. Тараскина А. С. Нечеткая кластеризация по модифицированному методу с-средних. – Новосибирск: Проблемы интеллектуализации и качества систем информатики, 2006. – с.217-228.
9. J.S.Chitode, V.S.Bagad. Communication Systems. – Pune, Technical Publications, 2007. – p.410.