

Алгоритм выделения картографических объектов растровой карты на основе топологического анализа данных*

Д. Андрианов, С. Еремеев, К. Купцов

andrianovde@inbox.ru | sv-eremeev@yandex.ru | kirill-kuptsov@rambler.ru

Россия, Муромский институт (филиал) Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г.

Столетовых

В статье описывается алгоритм для распознавания пространственных объектов карты на аэрофотоснимках с использованием топологического анализа данных. Для описания конкретных объектов, а также групп объектов разработаны топологические признаки, отличительной особенностью которых является учет их взаиморасположения на карте. Приведены исследования работы алгоритма для распознавания таких типов как «одиночное здание», «группы зданий», при этом «одиночное здание» разделяется на типы «частный» и «многоквартирный дом».

Ключевые слова: распознавание объектов, топологический анализ данных, топология, топологические отношения

1. Введение

Распознавание объектов на аэрофотоснимках является крайне сложной задачей. Алгоритмы распознавания пространственных объектов подлежат постоянному улучшению по многим параметрам, включая точность распознавания. В качестве объектов карты могут быть транспортные средства, различные сооружения, водоемы и т. д. В [4] предложен алгоритм для распознавания транспортных средств на высокоточных снимках, а данная работа посвящена выделению зданий и сооружений на растровой карте.

Можно выделить некоторые подходы к распознаванию зданий на карте. Один из подходов направлен на создание электронной рельефной модели, после чего производится ее анализ на предмет наличия в ней зданий [6]. Точность результатов данного подхода невысокая.

Еще одним подходом является нахождение зданий по нескольким снимкам и с использованием специального оборудования и методов (например, вычисления дальности и обнаружения по свету) [6].

Также существует подход к распознаванию пространственных объектов на основе геометрической, спектральной и топологической информации. Данный подход является наиболее перспективным и представляет наибольший интерес. Произведен обзор методов распознавания пространственных объектов [2] и выполнен анализ моделей пространственных объектов, а также их признаков [1].

2. Анализ существующих методов распознавания объектов

Так как большинство зданий имеет линейные черты, то для их нахождения применяется метод выделения отрезков на снимке в качестве базового алгоритма. В качестве первого шага применяется метод

обнаружения границ (используются фильтры Собеля и Кэнни). Следующим шагом за обнаружением является выделение границ, после которого образуется ряд отрезков. Элементы данного ряда являются частью линейных объектов на снимке. Следующей операцией является объединение отрезков. Оно производится на основе сравнений расстояния между отрезками и размера отрезка с принятыми по умолчанию значениями. По итогам данного шага образуются участки изображения, внутри которых должны находиться здания. Точность распознавания данным алгоритмом составляет: 71%. Но за счет уменьшения рабочей области изображения метод работает быстрее своих более сложных аналогов.

В работе [3] предложена семантическая классификация на базе города Пекин. Выделятся семь категорий зданий, такие как трущобы, квартиры среднего и высокого класса, административные здания, коммерческие здания, промышленные здания, вспомогательные здания. Классификация производится на основе более чем трехсот геометрических, спектральных и текстурных признаков.

Алгоритм состоит из таких этапов как сегментация высокоточного изображения, извлечение особенностей зданий, типовая выборка с полуконтролируемым методом и семантическая классификация зданий, использующая улучшенный классификатор Random Forest. Для классификации используются аэрофотоснимки зданий и пространственная информация о них.

По итогам работы точность классификатора достигает 80%. Однако, требуется улучшение качества сегментации объектов и определения местоположения объектов. Также можно предложить большее количество типов распознаваемых объектов.

В работе [8] рассматривается задача автоматизированного распознавания на изображениях топографических планов контуров зданий, указываются признаки пространственного объекта типа «зда-

Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант №16-07-20482

ние». Алгоритм включает в себя следующие этапы: построение «остова» исходного бинарного или полутонового изображения и построение по нему линейно-узловой структуры в виде графа, а также предварительная обработка «остова». Также метод включает в себя такие операции как построение на основе остова замкнутых полигонов, нахождение внутри потенциальных контуров зданий надписей и получение окончательного набора контуров зданий и создание векторных объектов в геоинформационных системах с записью семантических данных из распознанной надписи.

Требования, которым должен соответствовать результат распознавания, следующие: замкнутость, сохранение прямых углов, отсутствие лишних точек «излома» контура, ложных контуров, совпадение границ соседних объектов, а также требование по максимальной погрешности отклонения относительно исходного растрового оригинала.

Недостатком этого метода является необходимость создания более точных признаков зданий, чтобы исключить ошибочную классификацию объектов как объект данного типа.

В работе [6] уделяется внимание нахождению трехмерных объектов на аэрофотографиях. В частности, особо отмечается задача нахождения зданий. Аэрофотоснимок имеет высокое разрешение, следовательно, работа с ним занимает большое количество времени. Предлагаемый в [5, 6, 7] алгоритм фокусируется на работе с областями интересов, высказывая предположения о возможных наиболее вероятных участках, на которых находятся здания.

3. Алгоритм выделения объектов на основе топологического анализа данных распознавания объектов

Важную роль в настоящее время играют методы распознавания пространственных объектов на основе анализа топологических отношений между объектами. Решений на основе топологического анализа данных не так много и они не дают универсальные и приемлемые результаты распознавания объектов. В данной статье рассматривается классификация распознаваемых объектов, содержащая одиночные здания, промышленные объекты и группы зданий.

3.1 Классификация одиночных зданий

Для поиска одиночных зданий необходимо разработать некоторые их признаки. В частности, для начала необходимо составить общие признаки зданий, после чего производить улучшение классификации.

Нахождение зданий осуществляется на основе следующих признаков. В начале (подразумевается,

что на данном этапе уже произведена бинаризация изображения и найдены контуры) происходит отсеивание контуров. Контуры, которые соответствуют критериям выборки отрисовываются на результирующем изображении. Критерии, по которым производится отбор, можно увидеть в следующих формулах

$$\frac{P_{\text{контур}}}{P} \geq k_p,$$

$$P_{\min} \leq P_{\text{контур}} \leq P_{\max},$$

где $P_{\text{контур}}$ – периметр текущего контура;
 P – периметр минимально описанного прямоугольника вокруг текущего контура $P_{\text{контур}}$;
 k_p – пороговое значение для определения соответствия текущего контура форме прямоугольника;
 $P_{\min}, P_{\max}$ – минимальное и максимальное пороговые значения для текущего периметра.

Для реальной карты значение k_p равняется 0,9. Пример соотношения периметра текущего контура и периметра минимально описанного прямоугольника вокруг него показан на рисунке 1. Периметр текущего контура только стремится к форме прямоугольника из-за погрешностей применяемых методов распознавания объектов.

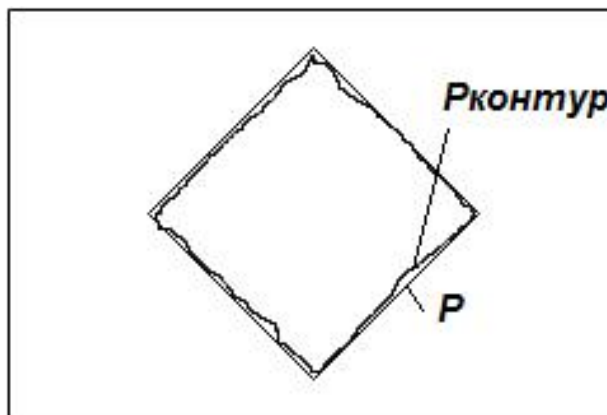


Рис. 1: Соотношение периметров.

Так как одним из типов пространственных объектов, которые необходимо распознать являются здания, то можно выделить следующее. Контур, который очерчивает здание, стремится к прямоугольной форме (в силу погрешностей алгоритмов распознавания объектов на снимке форма здания не является идеальным прямоугольником), следовательно, каждый контур, наиболее близкий к прямоугольной форме является искомым. Для подтверждения созданного правила вычисляются периметр минимально описанного прямоугольника

вокруг контура и непосредственно периметр контура. Учет соответствующих размеров контуров ведется с помощью установки пороговых (минимального и максимального) значений периметра.

В результате получается выходное изображение с распознанными пространственными объектами заданного вида, то есть, зданиями.

С точки зрения топологии и топологического анализа следует учитывать информацию из соседних слоев карты, которые также располагаются на выделенном участке местности. Такими слоями, например, могут являться все имеющиеся слои в муниципальной геоинформационной системе. Рассмотрим ситуацию, что по данным правилам (которые являются достаточно общими для такого типа пространственных объектов как здания) распознается объект, классифицируемый как здание. Данный объект окружает слой, физически несовместимый с этим объектом. Примером такого слоя является «дорога». Нахождение здания на дороге невозможно, поэтому в этом случае фиксируется ошибочная классификация объекта как здания. Благодаря топологическому анализу с высокой долей вероятности можно сказать, что данный объект не является зданием.

Также важен такой параметр как наличие определенного количества зданий в определенном радиусе. Естественно, что если в заданном радиусе R присутствует количество зданий n , превышающее пороговое значение k_R , то распознаваемый объект можно отнести к типу «здания».

$$n \geq k_R,$$

где n – число зданий в заданном радиусе R ;

k_R – пороговое значение, означающее необходимое количество зданий для отнесения распознаваемого объекта к заданному типу.

То же правило действует для таких видов зданий как «частный дом», «многоквартирный дом», «промышленный объект». Естественно, что если в радиусе нескольких километров от распознаваемого объекта находятся только частные дома, то он принадлежит частному сектору. И наоборот, если здание находится среди многоквартирных домов, вполне вероятно, что оно также является многоквартирным домом.

Подвидом одиночных зданий можно считать тип объекта «частный дом». Для данного типа характерно наличие построек на территории дома (примерами могут служить гараж, сарай, другие постройки). Сама территория, как правило, огорожена, поэтому данный фактор также можно учитывать при распознавании.

Геометрическими признаками частного дома можно считать треугольную (как правило) крышу, которая на снимке сверху создает дополнительную

линию на прямоугольнике (обычно она проходит посередине). Пример показан на рисунке 2, где обозначена примерная (условная) схема частного дома (на ней обозначены территория с домом и прочими объектами).

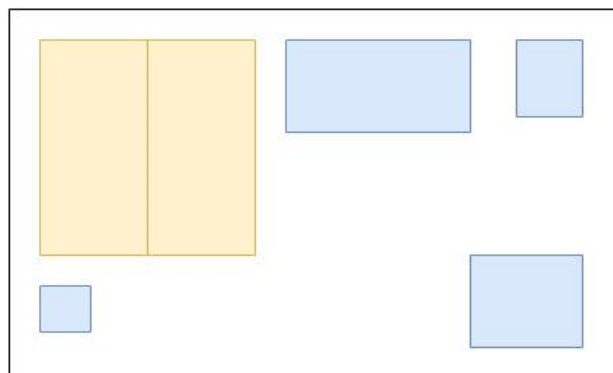


Рис. 2: Условная схема частного дома.

Также можно отметить взаимодействие с другими слоями карты для определения типа объекта. Например, если здание находится посреди поля или на опушке леса, то можно предполагать, что это здание является частным домом.

Еще одним подвидом одиночных зданий является многоквартирный дом. С точки зрения геометрии можно разделить данный тип зданий на имеющие прямоугольную, квадратную и «Г»-образную формы.

Если тип распознаваемого объекта является прямоугольным, то чем более он вытянут, то тем больше вероятность того, что дом является многоквартирным. Это свойство позволяет определить здания, относящиеся к многоквартирным домам.

Важным свойством для топологического анализа данных служит отношение суммарной площади объектов, идентифицируемых как здания в заданном участке (например, квартале) к общей площади участка (квартала). Если данный коэффициент больше заданного порогового значения, то распознаваемый объект относится к типу «здание».

Еще одним признаком, позволяющим определить тип объекта, является топологический анализ прилежащих к объекту слоев. Например, для многоквартирного дома характерно наличие парковки и, следовательно, большого количества транспортных средств. Соответственно, если с распознаваемым объектом содержится определенное количество транспортных средств, то данный объект можно считать многоквартирным домом.

3.2 Распознавание промышленных объектов

Промышленные объекты можно охарактеризовать наличием большой территории, на которой они расположены. Чаще всего данная территория имеет

ярко выраженную границу (ограждение). Здания, расположенные на этой территории, имеют ряд специфичных признаков, по которым их можно отнести к промышленным объектам. Одним из таких признаков является наличие заводских труб у промышленных объектов. Следовательно, для исходных снимков требуется искать объекты, содержащие в себе контуры в форме окружности.

3.3 Анализ расположения групп зданий

Одним из вариантов нахождения групп зданий является поиск их по структурным элементам. На рисунке 3 представлены некоторые из них.

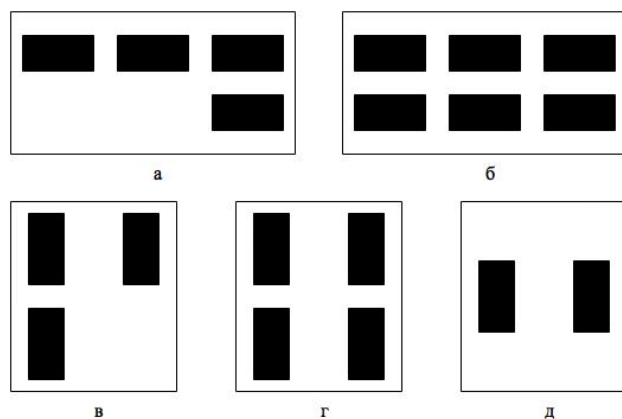


Рис. 3: Структурные элементы.

Здания, подходящие под какой-либо структурный элемент, считаются группой зданий и могут рассматриваться не только по отдельности, но и как единое целое. Это позволяет манипулировать группой зданий как единым объектом, что упрощает работу по управлению свойствами объектов.

4. Практическое применение

Решение задачи распознавания пространственных объектов состоит из двух этапов. Сначала растровая карта векторизуется. Результатом является набор векторных пространственных данных. Все границы исходного снимка выделяются на растровой карте на основе стандартных методов, таких как оператор Превитта и оператор Собеля. Далее алгоритм Хоха применяется для обработки этих границ и поиска линейных объектов.

На данной стадии еще неизвестно как объекты и слои связаны друг с другом. На нем формируется только идентификатор пространственного объекта. Второй этап - это классификация созданных векторных пространственных объектов. Существует список всех слоев карты. Распределение пространственных объектов это соотнесение каждого объекта к одному из существующих слоев карты. Чтобы решить эту задачу строится иерархическое дерево

признаков, где определенный топологический признак объекта проверяется на каждом уровне дерева. Учитывается связь объекта с другими объектами. Самый нижний уровень дерева характеризует конкретный слой, к которому принадлежит анализируемый объект.

На рисунке 4 показана работа алгоритма с реальной картой. Светло-зеленым цветом показан распознаваемый объект. Учитывая находящиеся вокруг него объекты с признаками «здания» (выделены темно-зеленым цветом) можно сказать, что с наибольшей степенью вероятности данный объект также является зданием. Соответственно, на основе топологических признаков (в данном случае расположения достаточного количества объектов заданного типа вокруг распознаваемого объекта в некотором радиусе) определено здание.

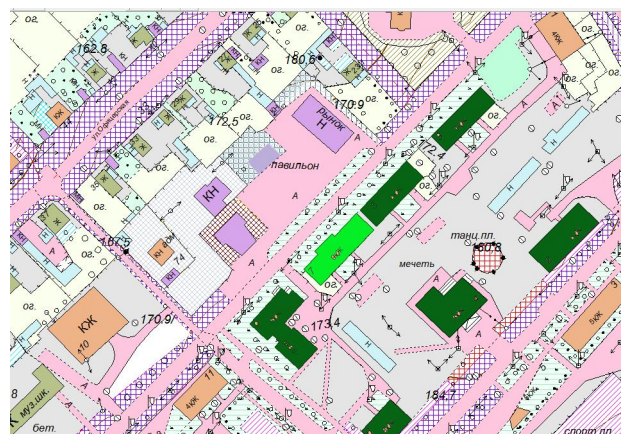


Рис. 4: Работа алгоритма.

Так как в работе введена классификация зданий, то вычисления типа объекта не является достаточным, поэтому определяется подвид. Учитывая, что в заданном радиусе находятся объекты типа «многоквартирный дом», можно сказать: распознаваемый объект является многоквартирным домом.

5. Заключение

При распознавании объектов основными задачами являются идентификация и классификация пространственных объектов на карте.

Предложенный подход позволяет на основе топологической информации, свойств и признаков произвести распознавание пространственно-распределенных объектов типа «здания» с приемлемой степенью точности. Алгоритм вычисляет тип объекта на основе геометрических и топологических признаков.

Метод базируется на топологических отношениях между объектами, что позволяет утверждать о целесообразности подхода на основе топологии. Это

может дать новый виток в методах распознавания пространственных объектов и зданий, в частности. Данное исследование позволяет подтвердить перспективность подхода на основе топологических свойств и продолжить работу по разработке новых моделей и алгоритмов распознавания объектов.

Литература

- [1] Andrianov D.E., Ereemeev S.V., Kuptsov K.V. Models of Complex Spatially Distributed Objects and their Features Calculation // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), с. 15.
- [2] Andrianov D.E., Ereemeev S.V., Kuptsov K.V. The review of spatial objects recognition models and algorithms // International Conference on Industrial Engineering, Procedia Engineering 129 (2015), с. 374 – 379.
- [3] Shihong Du, Fangli Zhang, Xiuyuan Zhang Semantic classification of urban buildings combining VHR image and GIS data: An improved random forest approach // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 105 (2015), с. 107–119.
- [4] Купцов К.В. Алгоритм поиска транспортных средств на высокоточных снимках в задачах анализа чрезвычайных ситуаций // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2 (2015), с. 50–58.
- [5] Новоторцев Л.В., Волобой А.Г. Алгоритм нахождения отрезков в задаче анализа аэрофотоснимков // Труды 24й Международной научной конференции. 2014, с. 170-172.
- [6] Новоторцев Л.В., Волобой А.Г. Нахождение областей, содержащих здания, на аэрофотоснимках. // Труды Юбилейной 25-й Международной научной конференции. 2015, с.85-88.
- [7] Новоторцев Л.В., Волобой А.Г. Ускорение алгоритма распознавания зданий по нескольким аэрофотоснимкам за счёт предобработки изображений // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2016. № 35. 12 с.
- [8] Чернов А. В., Титова О. А., Чупшев Н. В Автоматическое распознавание контуров зданий на картографических изображениях // Математические методы распознавания образов, 13-я всероссийская конференция, 30 сентября –6 октября 2007 г., г. Зеленогорск, Ленинградская область, сборник докладов, с.424-427.