

УДК 004.932

Алгоритм распознавания заданных участков дорожно-транспортной инфраструктуры на аэрофотоснимках

*Косюра О.В., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»*

*Научный руководитель: Филиппов М.В., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

С развитием информационных технологий появился новый вид документа – электронные карты. Они получили широкое применение при определении местоположения объектов, в процессе проектирования транспортной сети, различных объектов, находящихся вблизи дорог и для других целей. Однако, по мере развития дорожно-транспортной сети появляются новые элементы, которые не учитываются на существующих электронных картах. Поэтому возникает необходимость в проведении их корректировки с учетом вновь появившихся деталей.

Для получения информации о современном состоянии дорожно-транспортной сети существует ряд способов. Наиболее распространенным является проведение аэрофотосъемки с использованием различных летательных аппаратов, в том числе беспилотных средств.

Следующим этапом является получение информации о наличии тех или иных элементов по аэрофотоснимкам. Поскольку количество снимков может быть достаточно большим, то необходима разработка методов автоматического выделения деталей, с последующим их перенесением на электронные карты.

В данной статье рассматривается анализ алгоритмов сегментации изображения, для повышения точности распознавания заданных участков дорожно-транспортной инфраструктуры, а именно: обочины, дорожного полотна и ответвление дороги.

Выделение объектов дорожно-транспортной инфраструктуры предполагается производить в несколько этапов:

1. Первичная обработка и ортокоррекция входной фотографии (при необходимости);

2. Выделение на фотографии дорожного полотна;
3. Выделение в слое дорожного полотна разметки и прочих объектов дорожной инфраструктуры.

Выделение дорожного полотна представляется наиболее ресурсоемкой задачей. Для ее решения предлагается доработать традиционные методы сегментации.

Сегментацией изображения называется разбиение изображения на непохожие по некоторому признаку области. Предполагается, что области соответствуют реальным объектам, или их частям, а границы областей соответствуют границам объектов. Результатом сегментации изображения является множество сегментов, которые вместе покрывают всё изображение.

Популярными для сегментации изображений, содержащих дороги, являются алгоритмы, основанные на разрезах графов, в частности, метод нормализованных разрезов.

При сегментации с использованием методов теории графов каждый элемент набора, который предполагается разбить на кластеры, соотносится с вершиной графа. Далее между всеми парами вершин строятся ребра, с каждым ребром соотносится весовой коэффициент, который представляет степень сходства элементов. Затем ребра графа разрезаются так, чтобы в результате получился хороший набор связанных компонентов, в идеальном случае весовые коэффициенты рёбер внутри компонентов должны быть велики по сравнению с коэффициентами связующих рёбер.

Каждый компонент – это кластер. Весовые коэффициенты обычно называют мерами сходства. Существуют различные подходы к измерению сходства (измерение сходства через расстояние, через интенсивность, по цвету, по текстуре).

Суть метода заключается в том, чтобы разрезать два связанных компонента так, чтобы в каждой группе стоимость разрезания была мала по сравнению с общим сходством. Этот подход можно формализовать, разделив взвешенный граф V на два компонента A и B минимизируя величину

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{assoc(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{assoc(B, V)} = 2 - \left(\frac{assoc(A, A)}{assoc(A, V)} + \frac{assoc(B, B)}{assoc(B, V)} \right)$$

где $cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$ - сумма весовых коэффициентов всех рёбер графа V , один конец которых лежит в A , а другой – в B ; $assoc(A, V) = \sum_{u \in A, t \in V} w(u, t)$ - сумма весовых коэффициентов всех рёбер, один конец которых находится в A . Данный параметр мал, если при разрезании получаются два компонента, имеющих между собой мало рёбер

с малыми весовыми коэффициентами и много внутренних рёбер с большими весовыми коэффициентами.

Минимизация сводится к следующей задаче:

$$\min_x Ncut(x) = \min_y \frac{y^T (D - W)y}{y^T D y}$$

при условиях $y_i \in \{1, -b\}, 0 < b \leq 1$ и $y^T D \mathbf{1} = 0$

где x – индикаторный вектор, $x_i = 1$ если вершина в A и -1 в противном случае;

W – матрица весов, $W(i, j) = w(i, j)$;

D – диагональная матрица, $D(i, i) = \sum_j w(i, j)$;

$$b = \frac{\sum_{x_i > 0} d_i}{\sum_{x_i < 0} d_i}$$

Если разрешить $y \in \mathbb{R}$ задача сводится к задаче на собственные значения:

$$(D - W)y = \lambda D y$$

Итого алгоритм сегментации выглядит следующим образом (рис. 1):

1. На изображении задается граф, формируется матрица весов

W – матрица весов, $W(i, j) = w(i, j)$;

2. Находятся вектора с наименьшими собственными значениями

$$\min_x Ncut(x) = \min_y \frac{y^T (D - W)y}{y^T D y}$$

при условиях $y_i \in \{1, -b\}, 0 < b \leq 1$ и $y^T D \mathbf{1} = 0$

где x – индикаторный вектор, $x_i = 1$ если вершина в A и -1 в противном случае;

D – диагональная матрица, $D(i, i) = \sum_j w(i, j)$;

$$(D - W)y = \lambda D y$$

3. По вектору со вторым наименьшим собственным значением вычисляется разрез графа на две части

4. Получившиеся области при необходимости рекурсивно разбиваются на подобласти.



Рис. 1. Схема алгоритма сегментации

Результат сегментации определяется весовыми коэффициентами – мерами сходства индивидуальных пикселей изображения, следовательно, требуется выбрать коэффициенты

таким образом, чтобы отделить дорожное полотно от окружающих объектов. Исходя из этого, и основываясь на базовой модели дорожного полотна, применены следующие критерии:

- наличие и интенсивность границы между пикселями
- близость цветов
- близость оттенков

Так как дороги на изображении в первую очередь определяются своими границами, информация о границах используется как критерий. К изображению применяется лапласиан гауссиана, перемена знаков в котором означает наличие границы. Для каждой пары пикселей проверяется наличие границы на соединяющей их линии. При наличии границы, ее интенсивность равная градиенту изображения, используется для расчета весового коэффициента границы $w_{edge} = \frac{-f^2}{e^{2\sigma^2}}$, где σ – 10% диапазона интенсивности границ.

Дорожное полотно является относительно однородной поверхностью, так что цвет его пикселей приблизительно одинаков. В качестве меры сходства цвета используется расстояние между их цветами в RGB пространстве. Весовой коэффициент цвета w_{colour} рассчитывается аналогично весовому коэффициенту границы.

Итоговый весовой коэффициент рассчитывается как $W = w_{edge} \cdot w_{colour}$

Критерий близости оттенков используется, так как существенная разность оттенков как правило означает разные объекты. Стоит отметить, что оттенок сохраняется даже в затененных частях изображения. Оттенки пикселей вычисляются с помощью преобразования исходного изображения в цветовое пространство HSV. В случае существенной разности оттенков (более 30 градусов) весовой коэффициент умножается на 0,01.

На рис. 2 приведен пример аэрофотоснимка, на котором изображен участок дорожно-транспортной инфраструктуры, а именно перекресток с ответвлениями. На рис. 3 изображен результат сегментации изображения с применением выделения цветом, а на рис. 4 можно видеть тот же результат сегментации, только вместо выделения цветом использованы белые контуры для границ сегментов.

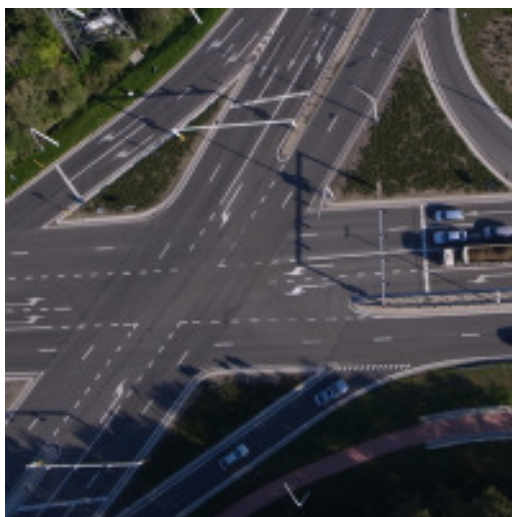


Рис. 2. Исходное изображение, центральная подобласть 200x200

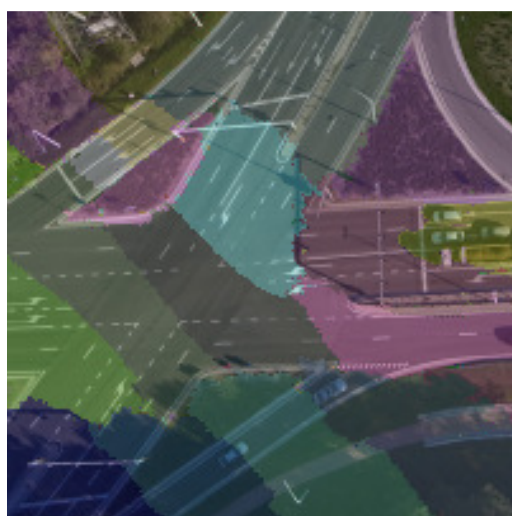


Рис. 3. Результат сегментации, выделение цветом



Рис. 4. Результат сегментации, границы сегментов

Для собственно выделения дорожного полотна необходимо классифицировать полученные сегменты как являющиеся и не являющиеся частью дороги. Так как разрабатываемая система является автоматизированной, данную задачу предлагается решать с помощью оператора. Количество сегментов, однако, является явно избыточным – вышеприведенный рисунок содержит 140 фактических сегментов, большей частью размером в несколько пикселей. Многие соседние сегменты могут быть объединены исходя из их сходства.

Для объединения сегментов применен простой итеративный алгоритм, объединяющий на каждом шаге пару наиболее сходных сегментов. В качестве меры сходства применены следующие критерии:

- разность среднего цвета сегментов, отдельно для всех трех цветовых каналов
- интенсивность границы в яркостном канале в регионе шириной 7 пикселей вдоль общей границы сегментов.
- совместное стандартное отклонение цвета регионов в случае объединения, отдельно для всех трех цветовых каналов.

Для объединения все критерии должны быть меньше определенных пороговых значений: интенсивность границы меньше 0,03, разность среднего цвета меньше 15, совместное стандартное отклонение меньше 35.

Так как скорость работы алгоритма объединения пропорциональна квадрату количества сегментов, микросегменты площадью менее 20 пикселей сразу объединяются с любым соседом и исключаются тем самым из дальнейшего рассмотрения. Объединение 140 сегментов в 200x200 области занимает порядка 1,5 секунд.

Алгоритм распознавания заданных участков дорожно-транспортной инфраструктуры по аэрофотографии представлен в виде двух этапов:

Этап 1. Сегментация изображения

На данном этапе к исходному изображению применяется алгоритм сегментации, описанный ранее (рис. 1).

1. На изображении задается граф, формируется матрица весов
2. Решается задача (1), находятся вектора с наименьшими собственными значениями
3. По вектору со вторым наименьшим собственным значением вычисляется разрез графа на две части
4. Получившиеся области при необходимости рекурсивно разбиваются на подобласти.

Этап 2. Обработка сегментированного изображения

5. Для каждой пары пикселов проверяется наличие границы на соединяющей их линии. При наличии границы, ее интенсивность равная градиенту изображения, используется для расчета весового коэффициента границы

$$W_{edge} = \frac{-f^2}{e^{2\sigma^2}},$$

где σ – 10% диапазона интенсивности границ.

6. Соседние сегменты объединяются исходя из их сходства

Окончательный результат приведен на рис. 5.



Рис. 5. Окончательный результат сегментирования и содержит 12 сегментов, из которых частью дороги являются 6.

В работе приведен алгоритм распознавания заданных участков дорожно-транспортной инфраструктуры, который был разработан на основе метода теории графов. Данный метод был модифицирован дополнительной обработкой сегментированного изображения. На основе представленного комплексного подхода был разработан алгоритм выявления заданных деталей дорожно-транспортной сети, представлены результаты апробации данного алгоритма на конкретных аэрофотоснимках.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учеб.пособие. СПб.: СПбГУАП, 2005. 154 с.
3. Миронов Б.М., Малов А.Н. Сегментация изображений кластерным методом и алгоритмом случайных скачков: сравнительный // Компьютерная оптика. 2010. Т. 34. № 1.С. 132-137.
4. Старостин Д.А. Математическая и имитационная модели изображения поверхности стальной полосы на основе гиббсовских случайных полей: дис. ...канд. техн. наук. Череповец. 2003. 158 с.
5. Форсайт Дэвид А., Компьютерное зрение. Современный подход; пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с. [David A. Forsyth. Computer Vision: A Modern Approach. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002.].