

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Бурмистров А.В., Сальников И.И.

¹ПензГТУ "Пензенский государственный технологический университет", г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д.1а/11, e-mail:bidika@mail.ru

В статье описан метод формирования контуров в виде линии на аэрофотоснимках сельской местности. Для формирования контуров используется модифицированный оператор Собела, при этом учитывается не только скорость изменения яркости в пикселе, но и направление. Благодаря этому метод менее подвержен влиянию помех. Учитывая, что изображенные на аэрофотоснимках сельской местности объекты обладают правильной формой и состоят в основном из линий, полученные таким образом контуры позволяют более детально анализировать изображение с целью поиска на нем топографических объектов и могут использоваться в качестве отличительного признака в системах распознавания. Продемонстрирован результат работы программного средства, реализующего разработанный метод.

Ключевые слова: распознавание образов, обработка изображений, формирование контуров, топографический объект, градиентный оператор

THE METHOD OF LINEAR CONTOUR FORMATION ON AERIAL PHOTOGRAPHS OF RURAL AREA

Burmistrov A.V., Salnikov I.I.

¹PSTU "Penza State Technological University", Penza, pr. Baidukova/ul. Gagarina, 1a/11, e-mail:bidika@mail.ru

The method of formation of contours in the form of a line on aerial photographs of rural area is described in the article. The modified Sobel operator is used for contour formation, and not only the speed of change of brightness in pixel, but also the direction are taken into account. Thus the method is less subject to the influence of interference. Taking into consideration that objects represented on aerial photographs of rural area have a regular shape and generally consist of lines, the contours received this way allow analyzing the image in more detail for the purpose of searching topographical objects on it. Such contours can be used as a distinctive feature in recognition systems. The result of the work of the software realizing the developed method is shown.

Keywords: image identification, image processing, contouring, topographical object, gradient operator

В настоящее время большое внимание уделяется контролю и наблюдению за территориями сельской местности, для чего используются геоинформационные системы. С одной стороны, современные технические средства и съемочная аппаратура позволяют получить качественные снимки участка сельской местности, с другой стороны, объем данных оказывается очень большим, что затрудняет их обработку и увеличивает необходимое на это время. Поэтому большой интерес представляют методы автоматизированного дешифрирования аэрофотоснимков [2].

Отличительные признаки в виде контуров несут много информации об изображенных объектах, поэтому часто используются в методах распознавания. Чем меньше ложных и пропущенных контуров будет известно, тем больше вероятность обнаружить топографический объект [4, 6].

Разработанный метод позволяет получить контуры в виде линий, что очень важно для методов распознавания изображений сельской местности. Связано это с особенностями

изображенных на аэрофотоснимках сельской местности объектов. Границы строений, дорог, земельных участков, как правило, состоят из прямых линий, поэтому контуры в виде линий оказываются эффективны при распознавании подобных объектов. Разработанный метод работает за три шага.

Шаг первый. Получение изображения контуров для канала яркости.

Представим исходное изображение размером $X \times Y$ в виде матрицы $S_K[X, Y]$, в который каждый элемент – это значение яркости в пикселе $S_K(x, y)$ (x – положение пикселя на строке, y – номер строки). Каждое исходное изображение $S_I^{(V)}[X, Y]$ обрабатываем четырьмя реализациями масок Собела и получаем четыре изображения с контурами $S_{G,q}^{(V)}[X, Y]$ (где $q = 1, 2, \dots, 4$) [1]. Такой подход выбран потому, что, во-первых, каждое изображение контуров $S_{G,q}^{(V)}$ чувствительно к одному направлению перепада, т.е. на таких изображениях отчетливо видны контуры одного направления (горизонтальные, вертикальные, наклонные). Во-вторых, отдельное изображение $S_{G,q}^{(V)}$ менее подвержено влиянию помех. Таким образом, обрабатывая последовательно каждое изображение $S_{G,q}^{(V)}$, уменьшается влияние помех и повышается вероятность обнаружить линейный контур одного направления.

Затем на каждом изображении с контурами $S_{G,q}^{(V)}$ выполняется поиск контуров в виде линий, для этого последующие шаги применяются к каждому такому изображению последовательно, а на последнем шаге результаты объединяются в один общий.

Шаг второй. Формирование массива с потенциальными прямыми.

Будем считать, что на втором шаге обрабатывается одно из восьми изображений с контурами, т.е. $S_{G,q}^{(V)}$. Через каждую точку на изображении $S_{G,q}^{(V)}$ выполняется попытка провести линию, проходящую вдоль изображения контура (в том случае, если точка находится на изображении контура). Если такую линию удастся провести, то для точки сохраняются ее параметры: длина и угол наклона. Обозначим матрицу с длинами линий чрез $M^{(D)}[X, Y]$, а матрицу с углами линий через $M^{(A)}[X, Y]$. Заполнение матриц выполняется с учетом расчетов в каждой точке за несколько этапов.

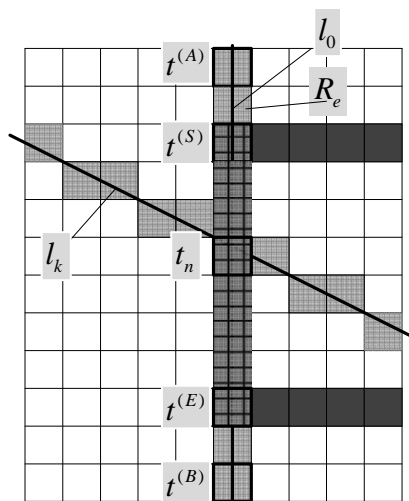


Рисунок 1 – Иллюстрация к описанию метода

Пусть $x = 0, 1, \dots, X$, $y = 0, 1, \dots, Y$, тогда точечный примитив представим как кортеж $t = (x, y)$, следовательно, множество всех точек $U = X \times Y$. Линейный примитив представим, как кортеж $l = (t_a, t_b)$ ($t_a \in U$, $t_b \in U$). Далее:

1. предположим, выбрана одна из точек $t_n \in U$ ($n = 0, 1, \dots, |U|$);
2. обозначим линейный примитив l_0 ($l_0 = \{t^{(A)}, t^{(B)}\}$, $t^{(A)}, t^{(B)} \in U^2$) в виде вертикальной линии с углом наклона $\alpha = 90^0$ (угол между осью y и прямой, считая, что начало координат проходит через точку t_n), которая пройдет от верхнего края изображения до нижнего через точку t_i ;
3. представим линию l_0 в виде упорядоченного множества точек $o = (g_m)$ ($g_m \in U$, $m = 0, 1, \dots, M$, M – количество точек, необходимое для изображения прямой l_0), в котором первая точка соответствует начальной точке линии (на одном конце) $np_0 o = t^{(A)}$, затем следующая за ней соседняя точка на линии и так до последней точки $np_{|o|} o = t^{(B)}$ (на другом конце). Упорядоченное множество выбрано потому, что только оно позволяет сохранить точную последовательность точек, из которых состоит линия, т.к. нужно определять место разрыва яркости, обозначающего окончание изображения контура. Таким образом, линия l_0 разделится на два отрезка: $[t_n, t^{(A)}]$ и $[t_n, t^{(B)}]$, или два направления, в которых будет выполняться поиск разрыва яркости;
4. обозначим через j положение точки t_n в множестве o (его индекс);
5. выполним поиск разрыва яркости на отрезке $[t_n, t^{(A)}]$. Для этого из множества o последовательно выбираем точки $np_i o$ ($i = j, j-1, \dots, 0$) и сравниваем яркость в выбранной точке $v_c = S_K^{(V)}(np_i o)$ с яркостью в центральной точке $v_i = S_K^{(V)}(t_n)$. Если яркость в выбранной точке меньше, чем яркость в центральной точке $|v_i - v_c| \geq \eta$, тогда выбираем следующую точку, в противном случае определяем разрыв яркости или окончание контура на отрезке $[t_n, t^{(A)}]$. Если разрыв яркости найден, обозначаем координаты с разрывом $t^{(S)} = np_i o$ ($t^{(S)} \in U$) (для случая, когда разрыв не обнаружен $t^{(S)} = t_n$). Значение η зависит от используемого градиентного оператора и качества исходного изображения. Его значение определяется как 10-15 процентов от значения яркости в центральной точке v_i . Оптимальным считается значение, равное 15 процентам от v_i ;
6. выполнить поиск разрыва яркости на отрезке $[t_n, t^{(B)}]$. Процедура полностью аналогична описанной в пункте 5, только точки из множества o выбираются в другом направлении $np_i o$

$(i = j, j+1, \dots, |o|)$ и координаты с разрывом яркости обозначаются $t^{(E)} = np_i o$ ($t^{(E)} \in U^2$) (или $t^{(E)} = t_n$, если разрыв не найден);

7. определяем расстояние D между точками $t^{(S)}$ и $t^{(E)}$. Сравниваем угол α и длину D с уже имеющимися значениями для этой точки $m_{np_1 t_n, np_2 t_n}^{(D)}$ и $m_{np_1 t_n, np_2 t_n}^{(A)}$. Если длина “вписанной” прямой оказалась больше, чем уже имеющиеся $D > m_{np_1 t_n, np_2 t_n}^{(D)}$, тогда заменяем уже имеющиеся значения для этой точки полученными, т.е. $m_{np_1 t_n, np_2 t_n}^{(D)} = D$ и $m_{np_1 t_n, np_2 t_n}^{(A)} = \alpha$;

8. проводим через точку t_i следующую линию l_k ($k = 0, 1, \dots, 180$) с углом $\alpha + 1^0$. Выполняем пункты с 3 по 7 до тех пор, пока не получим линии для всех направлений, т.е. $0^0 \leq \alpha \leq 180^0$;

9. выбираем следующую точку t_n .

Шаг третий. Анализ матриц с длинами и углами линий.

На третьем шаге точки, через которые удалось провести линии со схожими углами и длиной, объединяются в одно множество. Достигается это анализом матриц $M^{(D)}$, $M^{(A)}$ и выполняется за несколько этапов.

Обозначим через $R_e = \{t_c\}$ ($t_c \in U$, $c = 0, 1, \dots, C$ C – количество точек в контуре, $e = 0, 1, \dots, E$, E – количество множеств с контурами) множество точек, принадлежащих одному контуру в виде линии, а через $S = \{R_e\}$ (R_e – множество точек) множество всех множеств с контурами.

1. Из каждой матрицы выбираем по элементу, которые расположены в одинаковых местах, т.е. $m_{i,j}^{(D)}$, $m_{i,j}^{(A)}$ ($i = 0, 1, \dots, X$, $j = 0, 1, \dots, Y$).

2. Сравниваем значения выбранных элементов со значениями соседних элементов, для этого из каждой матрицы выбираем по одному соседнему элементу, которые расположены в одинаковых местах, т.е. $m_{a,b}^{(D)}$, $m_{a,b}^{(A)}$ ($a = i-1, i+1$, $b = j-1, j+1$).

Если значения двух соседних элементов схожи $|m_{i,j}^{(D)} - M_{a,b}^{(D)}| \leq \delta$ и $|m_{i,j}^{(A)} - M_{a,b}^{(A)}| \leq \varepsilon$, тогда выполняем попытку объединить соответствующие этим элементам точки $t_1 = (i, j)$ ($t_1 \in U$) и $t_2 = (a, b)$ ($t_2 \in U$) в одно множество. В этом случае могут возникнуть следующие ситуации:

- если ни одна из точек не принадлежит уже существующему множеству точек $t_1 \notin R_e$ и $t_2 \notin R_e$, тогда объединяем эти точки в новое множество $R^{(T)} = \{t_1, t_2\}$ и добавляем его к множеству $S \cup \{R^{(T)}\}$;

- если первая точка $t_1 \in R_e$ принадлежит существующему множеству, а вторая $t_2 \notin R_e$ не принадлежит, тогда добавляем к уже существующему множеству вторую точку $R_e \cup \{t_2\}$;
- если первая точка $t_1 \notin R_e$ не принадлежит существующему множеству, а вторая $t_2 \in R_e$ принадлежит, тогда добавляем к уже существующему множеству первую точку $R_e \cup \{t_1\}$;
- если первая точка принадлежит одному множеству $t_1 \in R_e$, а вторая точка другому множеству $t_2 \in R_w$ ($R_w \subseteq S$, $w = 0, 1, \dots, W$, W – количество множеств с контурами), при этом $t \neq w$, тогда объединяем их $R_e \cup R_w$.

Значение ε выбирается из диапазона 10-20 процентов и определяет допустимое искривление линии.

Значение δ определяется как процент от максимальной длиной линий $m_{a,b}^{(D)}$ или $m_{a,b}^{(A)}$.

Линии, идущие по направлению одного контура в разных его точках, будут иметь почти одинаковую длину, равную длине контура, поэтому значение δ выбирается из небольшого диапазона 10-25 процентов. Значение δ позволяет исключить случайные соседние линии, идущие в другом направлении или являющиеся ложными.

Результат работы метода предоставлен на рисунке 1, где для исходного изображения (рисунок 1,а) сформированы линейные контуры (рисунок 1б,в,г.). На рисунках 1б,в отмечены два отдельных линейных контура, принадлежащих верхней и левой границе строения, а на рисунке 1-г отмечены все линейные контуры, которые образуют топографический объект.



Рисунок 1 – Результат работы метода формирования линейных контуров

Заключение

Контур, сформированный с использованием описанного выше метода, будет ориентирован вдоль линии. Это позволит на стадии распознавания оперировать не с контуром произвольной формы, а с линейным контуром, который принадлежит одной стороне объекта. Такой подход позволяет учитывать больше деталей и свойств распознаваемого объекта, что даст дополнительные возможности для формального описания объекта и, следовательно, повысит точность распознавания.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. -М: Техносфера, 2005. – 1072с.
2. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 608с.
3. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184с.
4. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник. – 2-е издание, испр. – Москва: КДУ, 2010. – 424с.
5. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 252 с.
6. Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н. Введение в контурный анализ. – 2-е изд., испр. – М.: ИИЗМАТЛИТ, 2003. – 592с.

Рецензенты:

Светлов А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиоэлектронных систем Пензенского государственного университета, г. Пенза.

Федотов Н.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики Пензенского государственного университета, г. Пенза.