

Е. А. Светозарова – магистрант кафедры компьютерной математики и программирования

В. А. Матъях (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Понятие контурного анализа изображений заключается в выделении границ объектов присутствующих на изображении на основе перепадов яркости. С математической точки зрения, идеальный контур – это разрыв пространственной функции уровней яркости плоскости изображения.[1, 2] Таким образом, задача выделения контуров сводится к задаче поиска таких разрывов на изображении. Ошибки выделения границ могут быть двух видов: выделение ложных контуров и пропуск реально существующих границ. Ошибки обусловлены наличием шумов на изображении. Эффективный алгоритм должен минимизировать ошибки, а, следовательно, давать полную информацию о контурах на обрабатываемом изображении.

Специфика обработки аэрокосмических изображений заключается в специфике самих аэрокосмических изображений. Так как такие изображения получаются в результате съемки земли из космоса, а, следовательно, на больших расстояниях, на них присутствуют дополнительные шумы: погодные условия, влияния атмосферы, запыленность снимаемой территории. [3] Эти шумы влияют на качество полученных контуров. На этом специфика аэрокосмических изображений не заканчивается, но такие свойства, как многоканальность или географическая привязка, являются источниками дополнительной информации и могут быть использованы в дальнейшем для уточнения полученных контуров.

Ввиду специфики аэрокосмических изображений целью данной работы является не просто исследование различных существующих методов выделения границ объектов, контуров на аэрокосмических изображениях, а выявление методов, которые лучше других справляются с шумами на изображении. В качестве исследуемых методов были выбраны методы пространственного дифференцирования, как наиболее часто используемые для решения поставленной задачи, а также метод выделения границ функциональной аппроксимацией.

Методы пространственного дифференцирования основаны на свойстве градиента краевых точек изображения. При резком перепаде яркости модуль градиента возрастает, поэтому по результатам его анализа можно принять решение о наличии или отсутствии границы.

Градиент функции $f(x, y)$, заданной значением яркости изображения на плоскости, определяется выражением $grad(f(x, y)) = \nabla f(x, y) = \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)$. Исходное изображение преобразу-

ются в градиентное $g(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)^2}$, а уже полученное градиентное изображе-

ние подвергается пороговой обработке по правилу: $b(x, y) = \begin{cases} 1, & g(x, y) \geq T \\ 0, & g(x, y) < T \end{cases}$, где T – порог бинаризации. Основная проблема такой обработки состоит в выборе порога.

На практике методы пространственного дифференцирования сводятся к свертке фрагмента изображения с матрицей, которая является ядром используемого метода и характеризует его. Различие методов заключается в используемых ядрах свертки, которые имеют различную устойчивость к шумам на изображении. [4, 5] В данной работе были рассмотрены три дифференциальных оператора: оператор Собеля, оператор Прюитт и LoG-фильтр. Эти алгоритмы выделения границ можно назвать достаточно простыми, так как реализация любого из рассмотренных методов не требует больших затрат ни по времени выполнения, ни по объему необходимой памяти. В условиях дискретной обработки изображений суть методов пространственного дифференцирования сводится к вычислению свертки изображения с маской, определяющей метод выделения границ. Сканирующий процесс свертки определяет относительное количество производимых операций, а, следовательно, и сложность всех рассматриваемых

операторов пространственного дифференцирования. Эта сложность пропорциональна количеству пикселей на изображении.

Метод функциональной аппроксимации базируется на понятии идеального контура. Идеальный перепад яркости, считающийся признаком наличия границы объектов, может быть представлен ступенчатой функцией

$$s(x) = \begin{cases} a, & x < x_0 \\ a + h, & x \geq x_0 \end{cases}$$

. Тогда фрагмент реального изображения можно аппроксимировать идеальным перепадом варьируя его параметры, величину и положение перепада. Если такую аппроксимацию удастся сделать достаточно точно в данном месте изображения, то считается, что в этом месте имеется перепад с найденными параметрами.

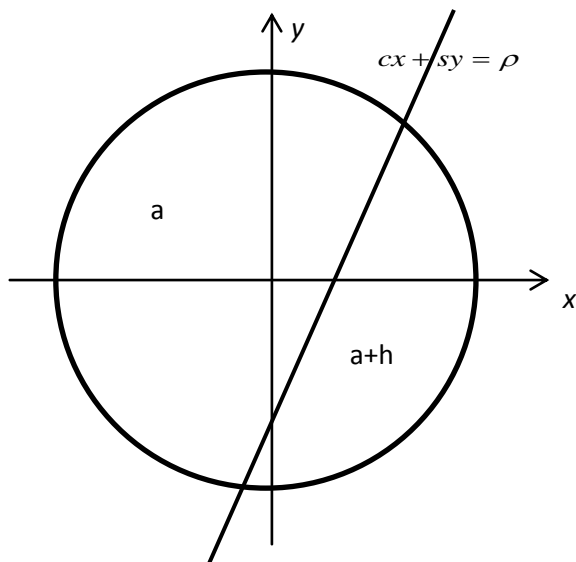


Рис.1. Идеальный двумерный перепад яркости

В двумерном случае функция идеального перепада так же имеет место быть, но с большим количеством параметров

$$s(x, y) = \begin{cases} a, & cx + sy < \rho \\ a + h, & cx + sy \geq \rho \end{cases}$$

, и также как и в одномерном случае, удачная аппроксимация реального фрагмента изображения идеальным контуром означает наличие контура на изображении. Идея определения параметров модели идеального перепада яркости, наилучшим образом аппроксимирующего исходное изображение в окрестности некоторой точки, принадлежит Хьюкелю [6]. Он предложил аппроксимировать фрагмент изображения в пределах окружности единичного радиуса, раскладывая его по набору двумерных базисных функций. На рис. 1. показан фрагмент идеального контура. Для сравнения идеального контура $S(x, y, a, h, c, s, \rho)$ и фрагмента изображения $F(x, y)$ обе функции раскладываются по базису Хьюкеля. В качестве меры сходства был выбран квадрат гильбертова расстояния $\int_D [F(x, y) - S(x, y, a, h, c, s, \rho)]^2 dx dy$. После разложения функций в рассматриваемом

базисе критерий сходства принимает вид $\sum_{i=0}^{\infty} (f_i - s_i(a, h, c, s, \rho))^2$, где f_i и $s_i(a, h, c, s, \rho)$ коэффициенты разложения $F(x, y)$ и $S(x, y, a, h, c, s, \rho)$ соответственно. Таким образом, задача поиска контура на изображении сводится к задаче определения пяти параметров идеального контура, наилучшим образом аппроксимирующего исследуемый фрагмент изображения.

Исследование выбранных методов включало в себя анализ сложности алгоритмов, исходя из теоретических сведений об алгоритме, реализации методов в среде MatLab и анализ эксперимента выделения границ на заданном изображении. Эксперимент подразумевает выделение контуров на спутниковом снимке(рис. 2) и сравнение с эталонными контурами(рис. 3). Эталонные контура были получены

применением одного из методов выделения контуров над схемой, соответствующей исследуемому спутниковому снимку, и доработкой полученного результата в графическом редакторе.



Рис. 2. Исходный спутниковый снимок

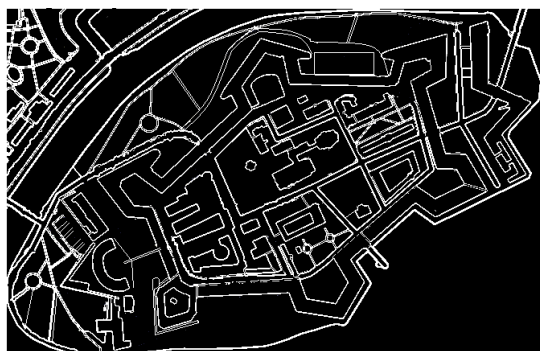


Рис. 3. Эталонное контурное изображение

В результате проведения экспериментов были получены контурные изображения. Методы пространственного дифференцирования являются настраиваемыми путем варьирования порога бинаризации и соответственно в ходе экспериментов для каждого из методов были подобраны наилучшие, для исследуемого изображения, коэффициенты бинаризации. От этих коэффициентов зависит наличие ложных контуров и отсутствие контуров реально существующих, следовательно, пороги бинаризации выбирались исходя из минимизации этих ошибок в результате сравнения с эталонным изображением. Выбор правильных параметров для каждого метода затрудняется тем, что описанные выше ошибки имеют различное направление роста. То есть, уменьшая шумы на изображении, исчезают контуры объектов, и наоборот уточнение контуров приводит к увеличению шумов. Тем не менее, сравнение полученных изображений проводилось на основе численных характеристик, представленных в таблице. В качестве таких характеристик были выбраны: количество пикселей образующих ложные контура и количество пикселей недостающих для идеального выделения контуров.

Название метода	Ложные пиксели, %	Недостающие пиксели, %
Оператор Собеля	18.5	3.4
Оператор Прюитт	13.4	6.5
LoG-фильтр	12.3	4.2
Метод Хьюкеля	8.6	6.6

Из представленной таблицы видно, что ни один из методов не имеет однозначно лучших результатов. Метод Хьюкеля показал наибольшую устойчивость к шуму, то есть выделил меньшее количество ложных контуров, однако этот метод также пропустил достаточно много контуров. Что касается остальных методов, то они хуже справились с шумом, и то, что они вроде бы неплохо справились с основной задачей выделения контуров, эти контура могут быть плохо детерминированы из общего фонового шума.

На рис. 4, а-в представлены результаты экспериментов с рассмотренными методами пространственного дифференцирования. Рис. 4, г представляет лучший результат экспериментов по выделению контуров методом Хьюкеля. В результате применения этого метода получается бинарное изображение и, следовательно, данный метод не нуждается в подборе порога бинаризации. Однако этот метод также может быть гибко настраиваемым путем варьирования доверия к найденным границам.

Сравнивая контурные изображения, полученные рассмотренными методами выделения границ, с эталонным контурным изображением, можно сделать вывод, что контура полученные методом Хьюкеля наиболее точны и свободны от шума. Однако, большая временная сложность этого алгоритма, не позволяет назвать его безоговорочным лидером. Учитывая специфику аэрокосмических изображений, а именно наличие дополнительных шумов и мелкие текстурные элементы поверхностей, хотелось бы порекомендовать использовать метод Хьюкеля для выделения контуров, но лишь при условии, что нет ограничений по времени, то есть этот метод не может быть использован для какого-либо экспресс-анализа.

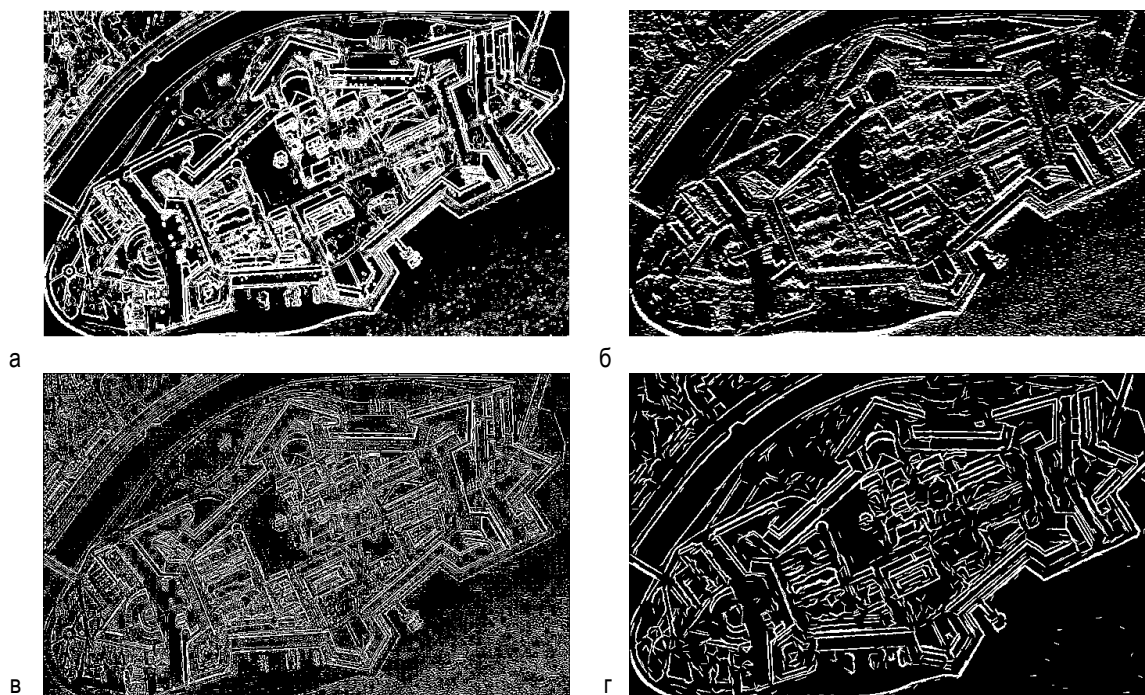


Рис. 4. Полученные контурные изображения
а) оператор Собеля; б) оператор Прюитт; в) LoG-фильтр; г) метод Хьюкеля

Какой из методов пространственного дифференцирования предпочтительней в использовании по проделанным экспериментам не представляется возможным выделить. Эти методы могут быть использованы в случаях, когда обрабатываемое изображение достаточно свободно от шума или когда задача состоит в приближенной локализации объектов, а в их точном определении. Оператор Собеля лучше справился с задачей выделения, однако зашумленность экспериментального изображения не позволила отметить этот метод как достойный для выделения контуров на аэрокосмических изображениях, ввиду их сильной зашумленности. Другие два метода пространственного дифференцирования показали близкие между собой результаты, которые не выделяются ни в шумоподавлении, ни в непосредственном выделении контуров.

Библиографический список

1. Пылькин А.Н. Методы и алгоритмы сегментации изображений. М.: Телеком, 2010. 91 с.
2. Введение в контурный анализ; приложение к обработке изображений и сигналов. – 2-е изд., испр./Под ред. Я.А.Фурмана. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 592 с.
3. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера, 2006.
4. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение: Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
5. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. М.: МИР, 1976. 507 с.
6. Хьюкель М. Оператор нахождения контуров на кодированных изображениях // Интегральные роботы. Вып.1. М.: Мир, 1973. С. 225-240