

УДК 621.391:396

В.В. Баранник,

доктор технических наук, профессор

А.В. Яковенко,

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

А.В. Власов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

В статье рассмотрены известные методы обнаружения контуров изображений. Проведен обзор научных публикаций по данной тематике. Результаты анализа методов обнаружения контуров изображений обобщены и представлены в виде классификации существующих методов выявления контуров изображения.

Ключевые слова: анализ, контур, метод, классификация.

У статті розглянуто відомі методи виявлення контурів зображень. Розглянуто наукові публікації за цією тематикою. Результати аналізу методів виявлення контурів зображень узагальнено та представлено у виді класифікації методів виявлення контурів зображень, які існують.

Ключові слова: аналіз, контур, метод, класифікація.

Methods of the image edges' detection are considered. The review of scientific publications on the given subject is spent. The results of the analysis of the image edges' detection are summarized and presented in the form of the classification of the existing image edges' detection methods.

Keywords: analysis, edge, method, classification.

Обработка изображений используется практически во всех сферах деятельности. Предварительная обработка изображений является одним из основных этапов процесса обработки и анализа визуальной информации. Для большинства систем обработки цифровых изображений наиболее информативными являются сведения о геометрических характеристиках границ объектов изображения – контурах, т.е. о линиях, проходящих на границах однородных областей, для которых разность яркостей любых двух элементов изображения (пикселей, группы пикселей) не превышает определенного порога.

Целью работы является рассмотрение известных методов обнаружения контуров изображений, их сущности с последующей их классификацией.

Классификация предназначена для удобства идентификации объектов (понятий, свойств и т.д.) при решении задач и общих и конкретных, универсальных и специфических. Предложенная ниже классификация представляется авторами удобной для достижения конкретной поставленной цели, не претендуя на всеобщую и полную.

Анализ методов обнаружения/выделения контуров изображения проводился с целью их обобщения в предположении использования методов при обработке различных видов изображений (сложных и простых, цветных, бинарных и полутоновых, с наличием шумов, однородных и текстурных, с замкнутыми и незамкнутыми контурами).

Как правило, результатом обнаружения контуров изображения является построение бинарного изображения, которое и содержит контуры. Будем использовать термин маскирование – обнаружение и выделение контуров объектов на изображении с устранением или снижением мешающего влияния в изображении.

Представляется возможным все теоретические методы выделения (визуализации) контуров изображения разделить на семь групп [1–15]: методы пространственного дифференцирования; методы сравнения с шаблоном; методы пространственного маскирования; методы с использованием статистических моделей цифровых фильтров; пороговые методы выделения границ; методы преобразования пространства интенсивностей изображения и методы с использованием моделей деформации.

Обобщенная классификация приведена на рис. 1. Многие из методов указанных групп получили названия по именам их создателей.

На сегодня известны следующие практические методы визуализации контуров объектов [1–4]:

1. Градиентные методы.
2. Методы высокочастотного маскирования (методы выделения перепадов яркости).
3. Методы *последовательного маскирования* (методы сглаживания и высокочастотной фильтрации).
4. Метод лапласиана-гауссиана.
5. Метод Канни (метод оптимального краевого детектирования).
6. Метод активных контуров (метод змеек).
7. Метод активных контуров без предварительного выделения границ.
8. Метод выделения границ контуров на изображении на основе алгоритма *SUSAN*.
9. Метод изменения изображения в искусственном времени.
10. Метод сравнения с использованием шаблона.
11. Метод связывания (сшивки) контуров.

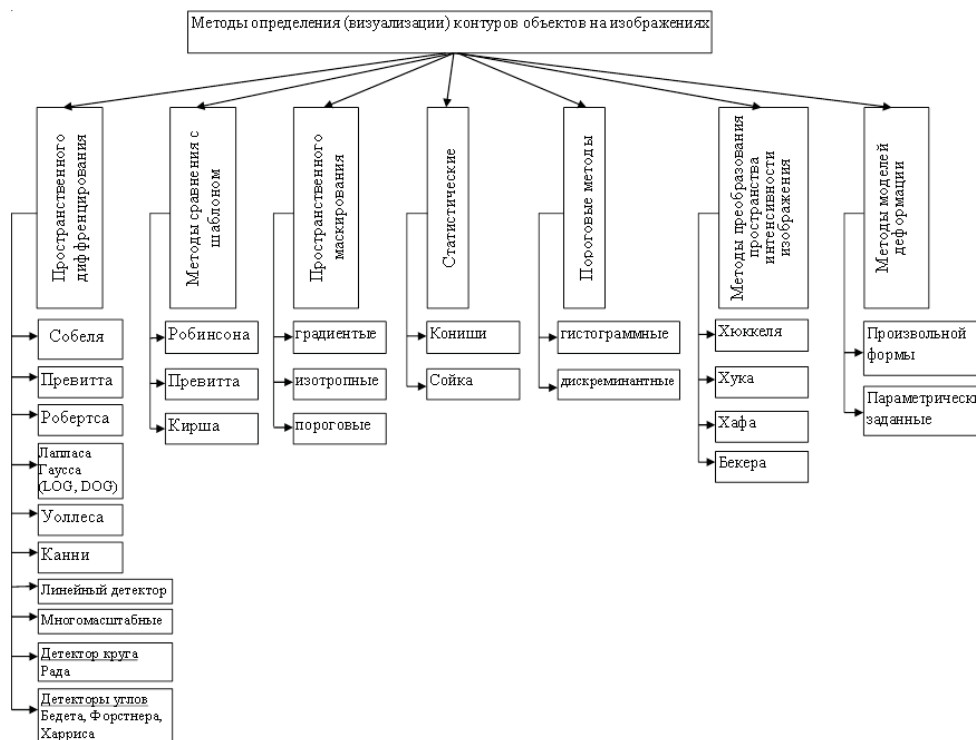


Рис. 1. Классификация практических методов визуализации контуров изображения

Рассмотрим суть методов обнаружения контуров.

1. Градиентные методы

Градиентные методы определения контуров на изображении – это методы, основанные на [1–3]:

- определении в каждой точке пространства производной от пространственной функции, которая характеризует границы объекта с помощью векторов градиентов;
- определении по вектору градиентов степени выраженности световой границы и направлений наибольшего изменения ее яркости;
- определении максимальных значений модуля вектора градиента яркости, их статистической обработки и разделения по порогам.

Вычисляется полный вектор градиента, представляющий собой изменение яркости в горизонтальном и вертикальном направлениях, и в двух диагональных направлениях [1–3].

Оптимальный выбор порога требует решения Байесовской задачи классификации [1–3], которая становится сложной потому, что необходимы априорные знания условных распределений вероятностей значений градиента.

2. Методы высокочастотного маскирования (методы выделения перепадов яркости)

Методы высокочастотного маскирования – это методы, основанные на:

- двойном дифференцировании пространственной функции изображения объекта;
- обнаружении местоположения точек, в которых вторая производная равна нулю;
- определении контуров изображения объекта в виде линий, соединяющих точки пересечения нуля значениями второй производной пространственной функции.

Методы высокочастотного маскирования – методы цифровой обработки данных, основанные на использовании двумерного дифференциального оператора, названного оператором Лапласа или лапласианом [1–3]. В качестве недостатка использования оператора Лапласа можно отметить, что лапласиан – скалярная величина, а не векторная в отличие от градиента (невозможно определить направление границы). Вторые производные, в отличие от градиента, не выделяют, а подчеркивают перепад яркости. Для определения положения границы необходимо найти точки, в которых вторая производная равна нулю.

3. Методы последовательного маскирования

Недостатком предыдущих методов является уменьшение соотношения сигнал/шум за счет использования линейных фильтров верхних частот (дифференциальных операторов) и усиление не только световых границ, но и шума, создаваемого мелкомасштабными элементами (детальями) изображения. Более эффективное шумоподавление можно осуществить используя гауссовский фильтр [1–3].

Методы **последовательного маскирования** – это методы, основанные на [1–4, 9]:

- сглаживании пространственной функции изображения объекта с использованием линейного фильтра (обычно с гауссовой функцией передачи);
- двойном дифференцировании данной функции изображения объекта;
- обнаружении местоположения точек, в которых вторая производная равна нулю;

– определении контуров изображения объекта в виде линий, соединяющих точки пересечения нуля значениями второй производной пространственной функции.

Недостатком методов **последовательного маскирования** является то, что они снижают локальную контрастность изображения, размывая его.

4. Метод лапласиана-гауссиана

Метод **лапласиана-гауссиана** – это метод определения контуров на изображении, основанный на выполнении цифровой операции пространственной полосовой фильтрации излучения от пикселей, формирующих данное изображение [1–4]. Выполняется единая операция полосовой фильтрации исходного изображения вместо одновременного и последовательного выполнения цифровых операций низкочастотной и высокочастотной фильтрации пространственной функции изображения.

Метод создан благодаря свойству коммутативности линейных операторов Гаусса и Лапласа и возможности объединения их в один путем изменения порядка выполнения операций дифференцирования и сглаживания [1–4]. Объединенный оператор получил название оператора лапласиана-гауссиана-LoG (*LoG-Laplaciano fGaussian*) и представляет собой свертку операторов Лапласа и Гаусса.

Недостатком данного метода является то, что операторы Гаусса и Лапласа являются ненаправленными. Метод чувствителен к изменению яркости в параллельном направлении, что уменьшает соотношение сигнал/шум [1–3].

5. Метод Канни (метод оптимального выделения границ)

Метод Канни (метод оптимального выделения границ) – метод, основанный на [3, 5, 6]:

- последовательном выполнении операции сглаживания изображения с целью увеличения отношения сигнал/шум;
- нахождении градиента изображения с целью подсветки области с высоким пространственным разрешением;
- подавлении всех пикселей, которые не в максимуме, и уменьшении градиентного массива путем использования гистерезиса с целью отслеживания оставшихся пикселей, которые не были подавлены.

Метод основан на избирательной цифровой фильтрации пространственной функции изображения объекта с использованием оптимального по Канни оператора Гауссиана – *sigma* (*s*):

$$f(x) = -x * \exp(-x^2 / k_2 s^2), \quad (1)$$

где *x* – переменная, *s* – стандартное отклонение оператора Гаусса, * – “оптимальный” линейный оператор свертки с изображением, $k_2 = 2$.

Если оптимальный по Канни оператор для выделения границы (в одномерном случае) имеет вид (1), то в двумерном случае производная должна браться в направлении перпендикулярном к границе изображения, которое должно быть предварительно оценено по направлению градиента сглаженного изображения. Метод Канни является наиболее эффективным методом выделения границ, при определении контуров используются два разных по значениям порога (для слабых и сильных границ).

6. Метод активных контуров (метод змеек)

Метод активных контуров (метод змеек) – метод, основанный на [1–4]:

- определении в исходном изображении точек максимумов градиента яркости;
- связывании точек в линию границы;
- задании гибкой и растяжимой непрерывной замкнутой линии (контура) и ее некоторого начального приближения к искомой границе на изображении;
- последующей подгонке наилучшим образом замкнутой линии к положениям максимума градиента.

Основным недостатком метода активных контуров являются: необходимость знания начального приближения к искомой границе с заданной точностью; связанные с этим большие вычислительные затраты; проблема преждевременной остановки процесса подгонки на локальных минимумах в случаях, когда начальное приближение задано недостаточно точно.

7. Метод активных контуров без предварительного выделения границ

Метод активных контуров *без предварительного выделения границ* – это метод, основанный на [1–4, 7]:

- задании в произвольной точке изображения гибкой и растяжимой непрерывной замкнутой линии, как правило, округлой формы;
- начальном движении заданной линии к искомой границе на изображении;
- пересечении этой границы и остановке с последующей деформацией и принятием формы контура изображения исследуемого объекта.

Данный метод весьма похож на метод активных контуров (метод змеек). Его отличие состоит в отсутствии необходимости предварительного выделения границ изображения объекта. Исходная замкнутая линия, как правило, округлой формы (контур), может быть расположена в любом месте изображения. Развитие и направление ее связано с сегментацией изображения.

Одним из достоинств данного метода является то, что исходное изображение не нужно сглаживать. С помощью данного метода определяются внутренние границы, используя изначально только одну исходную кривую. Ее позиция может быть выбрана произвольно, в любом месте изображения.

8. Методы выделения границ контуров на изображении на основе алгоритма SUSAN (метод наименьшего однородного сегмента)

Методы выделения границ контуров на основе алгоритма *SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus* – наименьший однородный сегмент, ассимилируемый ядром) – это методы, основанные на [1–4, 8]:

- построении вокруг каждого пикселя изображения круглой или квадратной маски, включающей однородный по яркости сегмент;
- сравнении яркости каждого пикселя (в пределах маски) с яркостью ядра (центральный пикселем маски);
- суммировании результатов сравнения и определении площади (области) USAN;
- сравнении при наличии шумов площади (области) USAN с фиксированным геометрическим порогом;
- последующем анализе полученных результатов исходя из условий:
 - площадь максимальна в случае, когда ядро находится в однородной (или почти однородной) области изображения;
 - площадь уменьшается до половины этого максимума вблизи прямой границы;
 - площадь уменьшается еще больше вблизи угла и локальных минимумов достигает точно на границе и в углах.

Для обнаружения двумерных особенностей и границ изображения используются размер, центр тяжести и вторые моменты *USAN*. Такой подход отличается от известных тем, что он не использует изменения яркости (производных изображения) и, следовательно, нет необходимости в предварительном подавлении шума [1–3].

9. Метод изменения изображения в искусственном времени

Один из подходов сглаживания изображения основан на представлении изменения изображения, как эволюции его в искусственном времени, и решении соответствующих уравнений в частных производных:

$$dI/dt = D(I), \quad (2)$$

где I – удельная интенсивность (яркость) излучения.

Для обнаружения границ диффузионный член D должен быть невозрастающей функцией градиента сглаженного изображения, стремящейся к нулю на бесконечности. Там, где модуль градиента велик, диффузия мала и изображение практически не изменяется. Там, где модуль градиента мал, диффузия велика, изображение сглаживается [1–3].

10. Метод сравнения с использованием шаблона

Изображения могут иметь множество мелких ненужных деталей (узкий диапазон значений параметров) или быть слабо контрастными (широкий диапазон значений параметров). Стандартные методы выделения границ (метод Канни и др.) в таких условиях не приводят к хорошим результатам.

Метод сравнения с использованием шаблона – метод, основанный на [1, 2, 9]:

- представлении границ в виде двух параллельных прямых линий;
- задании некоторого начального шаблона;
- многократном деформировании шаблона по алгоритму Метрополиса;
- сравнении полученного шаблона с исследуемым элементом изображения.

Алгоритм Метрополиса [1, 2, 9] позволяет построить последовательность случайных состояний шаблона (с заданной функцией распределения), зависящих только от предыдущего состояния. Лучше всего алгоритм Метрополиса работает тогда, когда форма шаблона (элемента изображения) близка к форме исходного изображения.

11. Метод связывания (сшивки) контуров

Связывание контуров и нахождение границ осуществляется: методом локальной обработки, методом пороговой обработки, методом с использованием глобального порога, методом выращивания областей, методом анализа с преобразованием Хафа, методом теории графов и др. [1–4].

Метод локальной обработки, например, основан на анализе небольшой окрестности (3×3 или 5×5) каждой точки (x, y) изображения, которая отмечена как контурная. Все точки, сходные по определённым критериям, связываются и образуют контур. В качестве критериев используется: для отклика – заданное (нормированное) значение неотрицательного порога E (по модулю градиента), для направления вектора градиента – заданное (нормированное) значение неотрицательного углового порога A :

$$|\nabla f(x, y) - \nabla f(x_0, y_0)| \leq E, \quad (3)$$

$$|\nabla \alpha(x, y) - \nabla \alpha(x_0, y_0)| \leq A, \quad (4)$$

где α угол вектора градиента.

Направление контура в точке (x, y) перпендикулярно направлению вектора градиента в этой точке. Если критерии сходятся, то пиксель в окрестности объединяется с центральным, т.е. осуществляется процесс сшивки. Этот процесс повторяется для каждой точки (x, y) с одновременным запоминанием положений найденных пикселей.

Выводы

Таким образом, рассмотрены методы выделения контуров изображений, их сущность, приведена их классификация. Представляется возможным все методы выделения контуров изображения разделить на семь групп, а практические методы визуализации контуров изображения – на одиннадцать групп. Первые пять групп методов наиболее просты для практической реализации с точки зрения вычислительных затрат на обработку изображений, но сложным вопросом является выбор оптимального порога (необходима априорная информация об изображении и условных распределениях вероятностей значений градиента). Последние шесть групп методов сложные с точки зрения вычислительных затрат и дают приемлемые результаты только при наличии априорной информации об исходном изображении. Наиболее эффективным методом определения контуров является метод Канни, где используются два разных значения порога (для слабых и сильных границ). Не существует универсального метода выделения контуров и на практике используют последовательность нескольких известных методов с эвристическими дополнениями к ним.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.
2. Прэтт У.К. Цифровая обработка изображений. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
3. Білінський Й.Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах : монографія / Й.Й. Білінський. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 272 с.
4. Трибрат А.А. Построение автоматизированной системы определения контура объекта на примере изображения клеток / А.А. Трибрат [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/tribrat/diss/index.htm>.
5. Алгоритм выделения контуров CANNY [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://masteis.donntu.edu.ua/2010/lknt/chudovskaja/library/article4.htm>.
6. Обработка изображения – детектор границ Кенни (Canny) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://roboc1aft.ru/blog/computervision/484.html>.
7. Вовк Е.Л. Разработка автоматизированной системы поиска и обработки выделенных объектов на изображениях с помощью методов контурного анализа / Е.Л. Вовк [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://masters.donntu.edu.ua/2006/kita/vovk/diss/index.htm>.
8. Smith S., Brady J. SUSAN – a new approach to low level image processing, International Journal of Computer Vision, 1995. – 23(1). – С. 45-78.
9. Алгоритм Метрополиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.isan.troitsk.ru/eng/astakharchik/node6.html>.
10. Сглаживающие фильтры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/department/graphics/rastrgraph/8/2.html>.
11. Поршнев С.В. Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений / С.В. Поршнев, А.О. Левашкина [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.jurnal.org/articles/2008/inf23.html>.
12. Периодическая таблица методов визуализации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.visual-literacy.org/periodictable/periodictable.html>.

13. Визуализация данных. Наглядный и компактный способ отображения информации. Ч. 1. Классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.jvetrau.com/2009/03/11/vizualizatsiya-dannyih-naglyadnyiy-i-kompaktnyyiy-sposob-otobrazhe-niya-informatsii-chast-1-klassifikatsiya/>.

14. Кондратов В.Т. Визуализация в метрологии: уровни, направления, цели, задачи, методы и программное обеспечение / В.Т Кондратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vtot/2011_1/01kon.pdf.

15. *D.J. Williams and, M. Shas.* Edge Contours Using Multiple Scales. Computer Vision, Graphic sand Image Processing, 1990.

Отримано 12.09.2012