

Обзор основных методов контурного анализа для выделения контуров движущихся объектов

© И.О. Сакович, Ю.С. Белов

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрена проблема анализа изображений для выделения контуров движущихся объектов. Проанализированы характерные особенности методов контурного анализа, указаны их основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: анализ изображения, контуры движущихся объектов, контурный анализ, метод активных контуров, контурный детектор Кэнни.

Анализ изображения — это процесс выделения нужной информации из изображения с помощью автоматических систем.

Системы анализа не ограничиваются разделением областей сцены на фиксированное число классов. Они предназначены для описания сложных сцен, разнообразие которых может быть настолько большим, что их нельзя описать с помощью заранее заданных терминов. В системе анализа также могут использоваться методы искусственного интеллекта для управления различными блоками системы и организации эффективного доступа к базе априорных сведений об объектах.

Признак изображения — это его простейшая характеристика или свойство. Некоторые признаки являются естественными в том смысле, что они устанавливаются визуальным анализом изображения, тогда как другие, так называемые искусственные признаки, получаются в результате его специальной обработки и измерений. Естественные признаки: светлота (яркость), текстура различных областей изображения и форма контуров объектов [1].

Обычно анализ изображения включает в себя получение внешнего контура изображенных объектов и запись координат точек этого контура. Чаще всего требуется получить внешний контур в виде замкнутой кривой или совокупности отрезков дуг. Имеется три общих подхода к представлению границ объекта:

- аппроксимация кривых;
- прослеживание контуров;
- связывание точек перепадов.

Контуры изображений являются областями с высокой концентрацией информации, которая слабо зависит от цвета и яркости.

При рассмотрении какого-либо объекта в сознании человека формируется зрительный образ. При восприятии глаз отслеживает линию контура, что приводит к созданию в сознании образа с харак-

терными деталями. Существует мнение, что при восприятии в сознании человека формируются два образа: контура и внутренней части изображения. Необходимым этапом восприятия считается сканирование по линии контура.

Приведенные данные подчеркивают важную роль контуров при распознавании изображений [2].

Контурный анализ является совокупностью методов выделения, описания и преобразования контуров изображений и распознавания зрительных образов. Контур целиком определяет форму изображения и содержит всю необходимую информацию для распознавания изображений по их форме. Такой подход позволяет не рассматривать внутренние точки изображения и тем самым значительно сократить объем перерабатываемой информации. Следствием этого часто становится возможность обеспечения работы системы в режиме реального времени.

Под контуром понимается пространственно-протяженный разрыв, перепад или скачкообразное изменение значений яркости. Существует ряд проблем при выделении контуров изображения:

разрывы контура в местах, где яркость меняется не слишком быстро;

наличие ложных контуров вследствие шума на изображении;

широкие контурные линии из-за размытости или шума.

Контурный анализ позволяет описывать, хранить, сравнивать и производить поиск объектов, представленных в виде своих внешних очертаний — контуров, а также эффективно решать основные проблемы распознавания образов — перенос, поворот и изменение масштаба изображения объекта [3].

В контурном анализе контур кодируется последовательностью, состоящей из комплексных чисел. На контуре фиксируется точка, которая называется начальной. Затем контур обходится (например, по направлению движения часовой стрелки), и каждый вектор смещения записывается комплексным числом $a + ib$, где a — смещение точки по оси x ; b — то же по оси y . Смещение берется относительно предыдущей точки (рис. 1) [4].

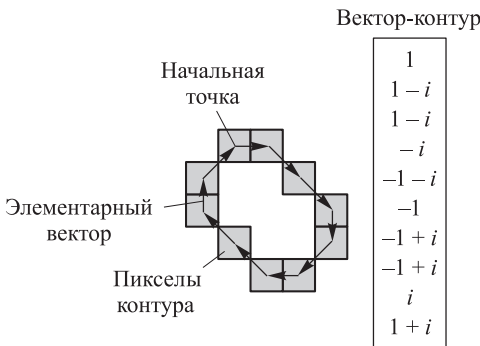


Рис. 1. Кодирование контура

Рассмотрим различные методы контурного анализа.

1. Метод активных контуров. Активные контуры широко применяются в задачах выделения контуров, границ и сегментации изображений. Для обнаружения контуров на изображении здесь исполь-

зуются кривые минимальной энергии, или змейки. Алгоритм следующий: сначала контур инициализируется как простая линия, а затем он деформируется для создания области объекта. Точки в контуре стремятся к границе объекта при минимизации энергии контура. Для каждой точки v_i энергия

$$E_i = \alpha E_{\text{int}}(v_i) + \beta E_{\text{ext}}(v_i),$$

где α, β — константы, обеспечивающие относительную коррекцию энергии; $E_{\text{int}}(v_i)$ — функция энергии, зависящая от формы контура; $E_{\text{ext}}(v_i)$ — функция энергии, зависящая от свойств изображения и типа градиента в окрестности точки v_i .

Величины $E_i, E_{\text{int}}(v_i), E_{\text{ext}}(v_i)$ являются квадратными матрицами. Значение в центре каждой матрицы соответствует энергии контура в отметке v_i .

Каждая вершина v_i потенциально может перейти в любую точку v'_i , соответствующую минимальной энергии E_i .

Недостатки метода:

если объект не имеет четких границ или площадь неоднородна и содержит плавные градиенты, то алгоритм не решит задачу сегментации корректно, что приведет к невозможности дальнейшего автоматизированного анализа;

нормаль вектора касательной у точки может сильно изменяться в направлении, что может повлечь слияние точек. От этого контур может получиться грубым и сильно отличаться от границ выделяемого объекта.

2. Метод активных контуров без предварительного выделения границ. В отличие от обычного метода активных контуров этот метод не требует предварительного выделения границ объекта изображения, а исходное изображение не обязательно сглаживать. Кривая, или змейка (замкнутой округлой формы), двигается из произвольной точки изображения. При пересечении границы она начинает деформироваться и принимать форму объекта на изображении, как бы заполняя внутреннюю его часть [5].

3. Детектор границ Кэнни. Дж. Кэнни изучил математическую проблему получения фильтра, оптимального по критериям выделения, локализации и минимизации нескольких откликов одного края. Это означает, что детектор должен реагировать на границы, но при этом игнорировать ложные, точно определять линию границы и реагировать на каждую границу один раз, что позволяет избежать восприятия широких полос изменения яркости как совокупности границ.

Алгоритм включает в себя:

сглаживание — размытие изображения для удаления шума;

поиск градиентов — границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение;

подавление немаксимумов — только локальные максимумы отмечаются как границы;

двойную пороговую фильтрацию — потенциальные границы определяются порогами;

трассировку области неоднозначности — итоговые границы устанавливаются путем подавления всех краев, не связанных с определенными (сильными) границами.

Для уменьшения чувствительности алгоритма к шуму применяется первая производная от гауссианы. После применения фильтра, изображение становится слегка размытым (рис. 2).

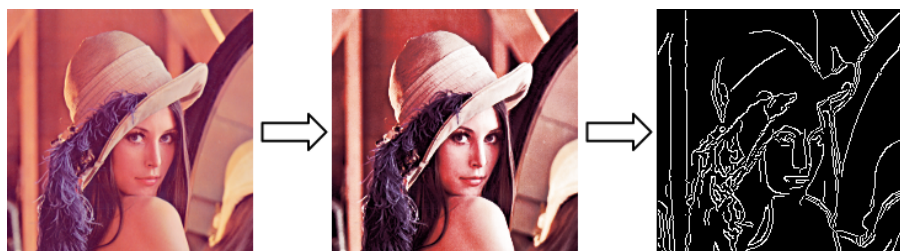


Рис. 2. Иллюстрация работы контурного детектора Кэнни

4. Прослеживание контуров. Метод заключается в последовательном вычерчивании границы между объектом и фоном. Прослеживающая точка в виде «жука» ползает по изображению до тех пор, пока не доходит до темной области (объект). Тогда «жук» поворачивается налево и движется по кривой, пока не достигнет границ объекта, после этого поворачивается направо и повторяет процесс, пока не достигнет окрестности начальной точки (рис. 3) [6].

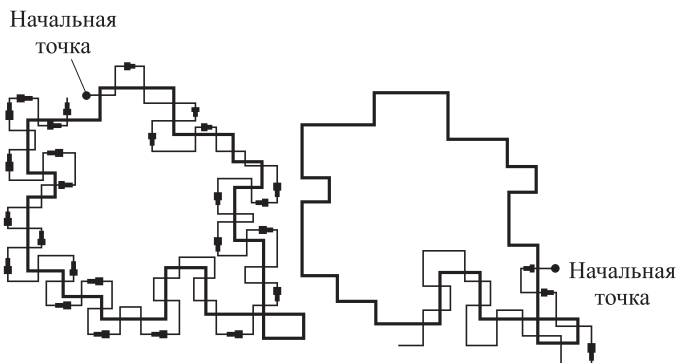


Рис. 3. Иллюстрация метода прослеживания контуров

5. Кластеризация. По отношению к скорости и расстоянию используют кластеризацию ближайшего соседа. Обозначим две линии

как $\{p_1, \dots, p_m\} \in S_1$ и $\{q_1, \dots, q_n\} \in S_2$ при условии, что они удовлетворяют следующим неравенствам:

$$\{|x_{p_i} - x_{q_j}| + |y_{p_i} - y_{q_j}|\} \leq \alpha_d;$$

$$\{|u_{p_i} - u_{q_j}|\} \leq \alpha_u;$$

$$\{|v_{p_i} - v_{q_j}|\} \leq \alpha_v,$$

где $\alpha_d, \alpha_u, \alpha_v$ — пороговые константы; u_p, v_p — составляющие скорости точки p в координатах (x_p, y_p) ; $i \in \{1, \dots, m\}$, $j \in \{1, \dots, n\}$.

Кластеризация ближайшего соседа — наиболее эффективный метод для сцен с помехами. Помехи обрабатываются на этапе слежения [2].

6. Локальная обработка. Методы обнаружения границ выделяют в изображении только пикселы, лежащие на контуре. На практике это множество пикселов редко отображает контур достаточно точно по причине шумов, разрывов контуров из-за неоднородности освещения и т. п. Поэтому алгоритмы обнаружения контуров обычно дополняются процедурами связывания, чтобы сформировать множества контурных точек.

Один из способов связывания точек контура состоит в анализе характеристик пикселов в небольшой окрестности каждой точки изображения, которая была отмечена как контурная. Все точки, являющиеся сходными в соответствии с некоторыми критериями, связываются и образуют контур, состоящий из отвечающих этим критериям пикселов. При этом используются два основных параметра для установления сходства пикселов контура: отклик оператора градиента, определяющий значение пиксела контура, и направление вектора градиента.

Пиксел контура (x_0, y_0) , расположенный внутри заданной окрестности точки (x, y) , считается сходным с пикселом (x, y) по модулю градиента, если

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

где E — заданный неотрицательный порог, и по направлению градиента, если

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

где $\alpha(x, y) = \arctg \frac{\partial x}{\partial y}$; A — заданный неотрицательный угловой порог.

Пиксел в заданной окрестности объединяется с центральным пикселом (x, y) , если выполнены критерии сходства и по значению,

и по направлению. Этот процесс повторяется в каждой точке изображения с одновременным запоминанием найденных связанных пикселей при движении центра окрестности.

Простой способ учета данных состоит в том, что каждому множеству связываемых пикселей контура присваивается свое значение яркости [5].

7. Анализ с помощью графов. Подход к обнаружению и связыванию контуров на основе представления в виде графа и поиска на этом графе путей с наименьшей стоимостью, которые соответствуют значимым контурам, позволяет построить метод, хорошо работающий в присутствии шума. Такая процедура оказывается достаточно сложной и требует большого времени обработки [4].

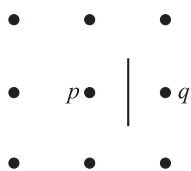


Рис. 4. Элемент контура, находящийся между пикселями p и q

Элемент контура — граница между двумя пикселями p и q , являющимися соседями. Элементы контура идентифицируются координатами точек p и q . Например, на рис. 4 элемент контура определяется парами $(xp, yp)(xq, yq)$. Контур — последовательность соединенных между собой элементов.

Каждому элементу контура, заданному пикселями p и q , соответствует некая стоимость

$$c(p, q) = H - [f(p) - f(q)],$$

где H — максимальный уровень яркости в изображении; $f(p)$, $f(q)$ — яркости пикселей p и q соответственно.

Задача отыскания на графе пути минимальной стоимости является нетривиальной по вычислительной сложности, поэтому приходится жертвовать оптимальностью в пользу скорости вычислений.

Сложность реализации и большая ресурсоемкость — вот основные недостатки такого анализа, достоинством которого является слабая чувствительность к шумам [3].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сирота А.А., Соломатин А.И. Статистические алгоритмы обнаружения границ объектов на изображениях. *Вестник ВГУ. Сер. Системный анализ и информационные технологии*, 2008, № 1, с. 58–64.
- [2] Heikkilä M., Pietikainen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, vol. 28, no. 4, pp. 657–662. doi: 10.1109/TPAMI.2006.68.
- [3] Вершинина В.В., Паламарь И.Н. Организация базы знаний семантической сети на основе XML-формата. *Тез. докл. IV ВНТК «Информационные технологии в науке, проектировании и производстве»*. Нижний Новгород, МВОО АТН РФ, 2002, с. 23.

- [4] Чудовская А.К. Возможности распараллеливания алгоритмов выделения контура по технологии CUDA. *Сб. докл. IV Межд. науч.-практич. конф. «Современная информационная Украина: информатика, экономика, философия»*. Донецк, 2010, с. 67–70.
- [5] Canny J.F. Finding edges and lines in images. *Master's thesis*. MIT, Cambridge, USA, 1983, pp.50–67.
- [6] Green B. *Canny Edge Detection Tutorial*. URL: http://dasl.mem.drexel.edu/alumni/bGreen/www.pages.drexel.edu/_weg22/can_tut.html. (дата обращения 29.05.2014).

Статья поступила в редакцию 05.06.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Сакович И.О., Белов Ю.С. Обзор основных методов контурного анализа для выделения контуров движущихся объектов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1280.html>

Сакович Илона Олеговна родилась в 1992 г. Студентка кафедры «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии, прикладная математика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: информационные технологии, распознавание образов, интеллектуальный анализ данных, системы мультимедиа. e-mail: Iлона.sakovich@rambler.ru

Белов Юрий Сергеевич родился в 1982 г. Окончил КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2006 г. Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии, прикладная математика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: информационные технологии, компьютерное моделирование, интеллектуальный анализ данных. e-mail: ybs82@mail.ru

Review of the contour analysis basic methods to distinguish moving object contours

© I.O. Sakovich, Yu.S. Belov

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, 248000, Russia

The article touches upon the issue of images analysis to extract the contours of moving objects. We analyzed characteristic features of contour analysis methods. The article describes the main advantages and disadvantages of contour analysis.

Keywords: image analysis, contours of moving objects, contour analysis, the method of active contours, the Canny edge detector.

REFERENCES

- [1] Sirota A.A., Solomatin A.I. *Vestnik VGU. Seriy Sistemnyi analiz I informatsionnye tekhnologii — Bulletin of VSU. Series System Analysis and IT*, 2008, no. 1, pp. 58–64.
- [2] Heikkila M., Pietikainen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, vol. 28, no. 4, pp. 657–662. doi: 10.1109/TPAMI.2006.68.
- [3] Vershinina V.V., Palamar' I.N. Organizatsiya bazy znaniy semanticheskoi seti na osnove XML-formata [Knowledge base organization of semantic web based on XML format]. *Tezisy dokladov IV VNTK «Informatsionnye tekhnologii v nauke, proektirovani i proizvodstve»* [Theses of reports at the IV VNTK "Information technology in science, engineering and manufacturing"]. In 3 parts. Part 2. N. Novgorod, MVVO ATS RF, 2002, p. 23.
- [4] Chudovskaya A.K. Vozmozhnosti rasparallelivaniya algoritmov vydeleniya kontura po tekhnologii CUDA [Possibilities of algorithms parallelization of edge detection by CUDA technology]. *Sbornik dokladov IV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennaya informatsionnaya Ukraina: informatika, ekonomika, filozofiya"* [Collected reports at the IV Int. sci.-practical conf. "Modern informational Ukraine: informatics, economy, philosophy"]. Donetsk, 2010, pp. 67–70.
- [5] Canny J.F. *Finding edges and lines in images. Master's thesis*. MIT, Cambridge, USA, 1983, pp. 50–67.
- [6] Green B. *Canny Edge Detection Tutorial*. URL: http://dasl.mem.drexel.edu/alumni/bGreen/www.pages.drexel.edu/_weg22/can_tut.html (accessed 29.05.2014).

Sakovich I.O. (b. 1992) is a student of the Department of Computer Software, Information Technologies, Applied Mathematics at Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests include information technologies, image recognition, intellectual data analysis, multimedia systems. e-mail: Ilona.sakovich@rambler.ru

Belov Yu.S. (b. 1982) graduated from Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University in 2006. Ph.D., Assoc. Professor of the Department of Computer Software, Information Technologies, Applied Mathematics at Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests include information technologies, computer simulation, intellectual data analysis. e-mail: ybs82@mail.ru