

Гибридный метод распознавания контуров на изображении на основе технологий компьютерного зрения

Р.А.Клестов¹, В.Ю.Столбов¹
klestovroman@gmail.com|valeriy.stolbov@gmail.com
¹ПНИПУ, Пермь, Россия

Рассматривается гибридный метод распознавания контуров, включающий несколько этапов обработки исходного изображения. Выделяются и описываются характерные особенности существующих методов распознавания контуров. Предлагается определенная последовательность применения методов. Особое внимание уделено методам, обеспечивающим работу со сложными входными данными, имеющими близкую к однородной структуру. Описывается математическая особенность работы каждого из методов. Приводятся примеры выходных данных при применении различных методов обработки изображения. На основе практического использования каждой из представленных технологий компьютерного зрения делаются соответствующие выводы и рекомендации. Проведено сравнение качества распознавания контуров на изображении в иллюстрациях.

Ключевые слова: компьютерная графика, компьютерное зрение, гибридный метод, цепной код Фримена, оператор Кэнни, Куwahара.

Complex recognizing contours method for an image based on computer vision technology

R.A.Klestov¹, V.Y.Stolbov¹
klestovroman@gmail.com|valeriy.stolbov@gmail.com
¹PNRPU, Perm, Russia

We consider a hybrid method for recognizing contours, which includes several stages of processing the original image. Identify and describe the characteristics of existing methods for recognizing contours. A certain sequence of methods is proposed. Particular attention is paid to methods that ensure work with complex input data having a close to homogeneous structure. A mathematical feature of the work of each of the methods is described. Examples of output data are given when applying various image processing methods. Based on the practical use of each of the presented computer vision technologies, appropriate conclusions and recommendations are made. The quality of contour detection in the image in the illustrations is compared.

Keywords: computer graphics, computer vision, complex method, Freeman Chain Code, Canny edge detector, Kuwahara.

1. Введение

Область компьютерного зрения является действительно инновационно привлекательной. Интерес к ней возник на заре попыток создания искусственного интеллекта [4]. В настоящее время количество новых решений и актуальных приложений для компьютерного зрения продолжает расти.

С увеличением количества предлагаемых способов и алгоритмов распознавания контуров внутри изображения становится неочевидным выбор какого-либо конкретного способа для определенных нужд. В данной статье рассматриваются основные используемые алгоритмы на примере их применимости к конкретной прикладной задаче выделения контуров на изображении.

Существует множество подходов к выделению границ, но практически все можно разделить на две категории [5]: методы, основанные на поиске максимумов, и методы, основанные на поиске нулей. Методы, основанные на поиске максимумов, выделяют границы с помощью вычисления «силы края», представленной в виде выражения градиента изображения, а затем поиска локальных максимумов силы края, используя предполагаемое направление границы, обычно перпендикулярного к вектору градиента. Методы, основанные на поиске нулей, ищут пересечения оси абсцисс выражения второй производной, которые обычно представляют собой нули лапласиана или нули нелинейного дифференциального уравнения. В качестве шага предобработки к выделению границ практически

всегда применяется сглаживание изображения, обычно фильтром Гаусса [5].

Хотя многие известные методы выделения границ основываются на вычислении градиента изображения, они отличаются типами фильтров, применяемых для вычисления градиентов в различном направлении. Предлагаемый в данной статье подход использует несколько уже существующих методов выделения границ с определенными параметрами поиска контуров для достижения более точного результата распознавания DICOM-изображения.

При этом обоснована наилучшая комбинация применяемых методов для решения задачи распознавания контура печени человека на примере DICOM изображения. Сложностью данной задачи является существенная неоднородность границ контура печени у больного человека, что требует использования различных групп методов поиска границ.

2. Поэтапное распознавание изображений

Условия и потребности при работе с алгоритмами компьютерного зрения могут быть самыми разными, поэтому постараемся максимально полно и поэтапно рассмотреть последовательность обработки входных данных.

Первым и необязательным этапом является необходимость размыть изображение. Выполняется эта операция из соображений более точного определения границ, так как шаг между градациями цветов будет выше, нежели на оригинальном изображении. Существует достаточно много фильтров, обеспечивающих сглаживание.

Наиболее точным в лабораторных условиях оказался фильтр Kuwahara, особенно в сером градиенте, что используется достаточно часто. Дополнительным «бонусом» является побочная чистка изображения от графического шума, что избавляет нас от необходимости дополнительной обработки входных данных. На рис.1 демонстрируется обработка входного изображения (а), фильтрами Гаусса (б), медианным фильтром (в) и фильтром Kuwahara (г).



Рис. 1. Обработка изображения: а) исходное; б) фильтр Гаусса; в) медианный; г) Kuwahara.

Фильтр Kuwahara выполняет нелинейную фильтрацию изображений с сохранением резких краев. После фильтрации изображение похоже на грубо нарисованную красками картину. Суть алгоритма состоит в следующем (рис. 2):

1. В окрестности каждого пикселя применить маску размером $(2r + 1) * (2r + 1)$;
2. Окрестность разделить на 4 области, указанные цифрами I, II, III, IV, размером $r * r$;
3. Вычислить среднюю интенсивность и дисперсию в каждой из областей I, II, III, IV;
4. Присвоить центральному пикселю X среднее значение интенсивности той области, дисперсия которой наименьшая.



Рис. 2. Маска фильтра.

Применение выбранного фильтра освобождает от необходимости предварительного очищения изображения от шумов, забирая эту функцию на себя. Причём информация о границах объектов в изображении будет сохранена. Применяем к исходному изображению фильтр Kuwahara. На рис. 3 слева показано исходное изображение, а на рис. 3 справа – изображение, после применения фильтра Kuwahara.

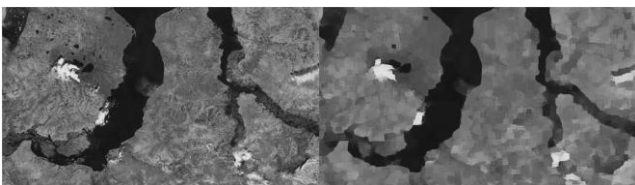


Рис. 3. Исходное изображение(слева) и рисунок, обработанный фильтром Kuwahara (справа).

Как наглядно видно, контуры изображения стали наиболее заметны и к данному рисунку требуется применить контурный фильтр. В данном случае будем использовать детектор границ Кэнни [1], использующий, в свою очередь, фильтр Собеля. Для функционирования оператора требуется две матрицы. По ним к входному изображению применяется свертка:

$$G_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} * A \quad \text{и} \quad G_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} * A$$

В каждой точке изображения приближенное значение градиента можно вычислить, используя полученные приближенные значения производных по следующей формуле:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \tag{1}$$

где A – исходное изображение, G_x и G_y – результат (число) операции свертки по выбранным матрицам, а знак $*$ обозначает саму двумерную операцию свертки. Координата x возрастает слева направо, а y – сверху вниз.

Действие алгоритма сводится к тому, что вначале будет произведен поиск градиентов, т.е. границы будут отмечаться там, где градиент изображения приобретает максимальное значение. Только локальные максимумы будут отмечены как границы, а потенциальные границы будут определены порогами. Итоговые границы определяются путем подавления всех краев, несвязанных с определенными (сильными) границами. Принцип такого подавления проиллюстрирован на рис.4. Так из исходного изображения будет получен его контурный вариант.

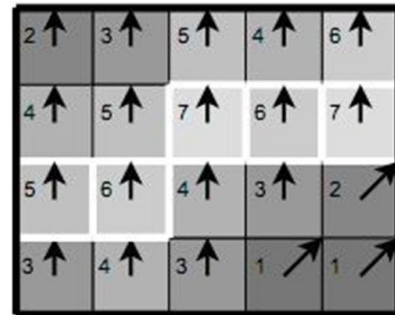


Рис. 4. Принцип подавления границ.

На рис.5 показан конечный результат изображения. Полученные контуры продемонстрированы на снимке печени, как пример применения алгоритмов. Следует обратить внимание что в данном случае также применен фильтр по минимальному радиусу и позиционированию контура, для отсекажения ложных выделений. Но только получить данный контур недостаточно. Его нужно представить в виде кода, который можно было бы хранить.

Один из наиболее используемых методов кодирования контуров – цепной код Фримена [5]. Цепные коды применяются для конвертации границы в последовательность прямых определенной длины и указателя направления. В основе этого лежит 2х или 3х-битная решетка на 4 и 8 направления соответственно. Длина определяется разрешением решетки, а направление – указателем из решетки. (рис. 6).

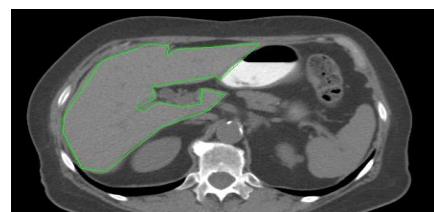


Рис. 5. Пример работы оператора Кэнни.

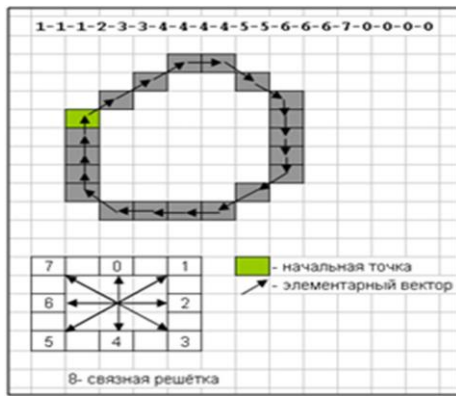


Рис. 6. Цепной код Фримена.

На контуре фиксируется точка, которая называется начальной точкой. Затем, контур обходится, и каждый вектор смещения записывается комплексным числом $a+ib$, где a – смещение точки по оси X, а b – смещение по оси Y. Смещение берется относительно предыдущей точки. При таком подходе контур определяется как совокупность элементарных векторов, представленных своими двумерными координатами. Изменение начальной точки приведет к циклическому сдвигу вектор-контра, а изменение масштаба изображения можно рассматривать как умножение элементарного вектора на масштабный коэффициент.

Скалярным произведением контуров $N1$ и $N2$ называется такое комплексное число [2]:

$$\eta = (N1, N2) = \sum_{n=0}^{k-1} (\gamma_n, v_n), \quad (2)$$

где k – размерность вектор-контра, γ_n – n -й элементарный вектор контра $N2$, v_n – n -й элементарный вектор контра $N1$, (γ_n, v_n) – скалярное произведение комплексных чисел, вычисляемых как $(a+ib, c+id) = (a+ib)(c-id) = ac+bd+i(bc-ad)$. (3)

Действительная часть скалярного произведения комплексных чисел совпадает со скалярным произведением соответствующих векторов, т.е. включает в себя векторное скалярное произведение. Чем больше значение скалярного произведения, тем «ближе» вектора друг к другу. Для перпендикулярных векторов оно будет равно нулю, станет отрицательным для векторов, направленных в разные стороны, а для коллинеарных – будет иметь максимальное значение.

Нормированное скалярное произведение (НСП), определяемое формулой (4) в пространстве комплексных чисел, также является комплексным числом. При этом, единица – это максимально возможное значение модуля НСП и она достигается только при выполнении условия (6).

$$\eta = \frac{(N2, N1)}{|N2| |N1|}, \quad (4)$$

где $|N1|$ и $|N2|$ – нормы (длины) контуров. Нормы контуров вычисляются как

$$|N2| = \left(\sum_{n=0}^{k-1} |\gamma_n|^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$N2 = \mu N1, \quad (6)$$

где μ – произвольное комплексное число.

Исходя из физического смысла умножения комплексных чисел, получается вывод, что модуль НСП достигнет максимального значения – единицы – только если контур $N2$ является тем же контуром $N1$, даже если он

будет повернут на некоторый угол и промасштабированный на определенный коэффициент.

Но равенство в (6) достигается только тогда, когда начальные точки контуров совпадают. В противном случае, даже если контуры одинаковы, модуль НСП таких контуров не будет равен единице. Для решения этой проблемы можно воспользоваться взаимокорреляционной функцией (ВКФ) двух контуров, определяемой формулой (7), значения которой показывают степень похожести контуров, если сдвинуть начальную точку N на m позиций.

$$\tau(m) = (N2, N1(m)), \quad (7)$$

где $N1(m)$ – контур, полученный из $N1$ путем циклического сдвига его элементарного вектора на m элементов. ВКФ определена на всем множестве целых чисел, но поскольку циклический сдвиг на k приведет к исходному контуру, то ВКФ имеет период k и нужно рассмотреть значения этой функции только в пределах от 0 до $k-1$.

Максимальный модуль среди значений ВКФ в (8) показывает степень похожести контуров (достигает единицы для одинаковых контуров), а аргумент $\arg(\tau_{\max})$ дает угол поворота одного контра относительно другого.

$$\tau_{\max} = \max \left(\frac{\tau(m)}{|N2| |N1|} \right), \quad (8)$$

где $\tau(m)$ – модуль ВКФ, $|N1|$ и $|N2|$ – нормы (длины) контуров, определяемые формулами (5) и (6).

3. Заключение

Предложен гибридный метод распознавания контуров на изображении, включающий три основных этапа: размытие, выделение границ, сохранение границ. Данный подход был использован при решении задачи выделения границ печени человека и распознавании контуров фаз и зерен на изображении микроструктуры стали [3], где условия работы были наиболее сложными ввиду наличия малоразличимых градаций серого на снимках и сильной неоднородности границ контуров распознаваемых объектов. Однако при подобном подходе все еще остается сложность определения того, что именно выделять, в случае если нам нужен только один контур, как в примере поиска органа человека. В случае если существует два контура этого же органа на снимке, данный подход не сработает ввиду ограничения только на один контур из-за схожего контра селезенки. Так или иначе эта проблема осталась открытой и требует дальнейшего рассмотрения.

4. Поддержка

Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта RFMEFI58617X0055. Название совместного проекта с ЕС в рамках программы "Горизонт 2020": "Fracture across Scales and Materials, Processes and Disciplines" Акроним проекта: "FRAMED".

5. Литература

- [1] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // Техносфера. Москва. 2005
- [2] Ванюкова Д.И., Попов С.С., Соколов П.А. Совмещение цифрового картографического изображения местности с радиолокационным изображением. [Электронный ресурс] В кн.: Материалы XVI конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», Санкт-Петербург, 2014, Март. URL: <http://www.elektropribor.spb.ru/kmu2014/refs> (дата обращения 10.07.2017).
- [3] Ключев А.В., Столбов В.Ю., Шарыбин С.И.

Визуализация сложных зеренных структур металлов и сплавов при идентификации их параметров // Научная визуализация. 2016. Т.8. №3. С. 95-101.

- [4] Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 176 с.
- [5] Shih Frank. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques. IEEE Press, 2010. – 537 p.

Об авторах

Клестов Роман Андреевич, магистр Пермского национального исследовательского политехнического университета. Его e-mail: klestovroman@gmail.com

Столбов Валерий Юрьевич, д.т.н., профессор кафедры вычислительной математики и механики Пермского национального исследовательского политехнического университета. Его e-mail: valeriy.stolbov@gmail.com.