

Метод сегментации перекрывающихся объектов на изображении

Д. С. Батищев, email: batishchev@bsu.edu.ru

А. А. Утянский, email: utyanskiy@bsu.edu.ru

В. М. Михелев, email: mikhelev@bsu.edu.ru

«Белгородский государственный национальный
исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Аннотация. *Аннотация. В данной работе представлен метод распознавания контуров перекрывающихся объектов на изображении. Предлагаемый подход на первом этапе предусматривает предобработку изображений. Затем выполняется разделение контура группы перекрывающихся объектов на множество сегментов, разделенных специальными точками, так называемыми вогнутыми точками. Затем предлагается использовать метод группировки сегментов, чтобы найти группу сегментов контура, которые вместе образуют объект эллиптической формы. Группировка сегментов подразумевает перебор предварительно отобранных сегментов контура с целью возможности их объединить в единый замкнутый объект. Приведенное тестирование метода сегментации перекрывающихся друг друга двух, трех и четырех объектов на изображениях показало эффективность разработанного метода.*

Ключевые слова: *перекрывающиеся объекты, распознавание контуров, сегментация, предобработка изображений, объекты эллиптической формы, тестирование метода.*

Введение

Сегментация перекрывающихся объектов направлена на решение проблемы определения контуров нескольких объектов с частично перекрытыми областями. Перекрывающиеся или перекрытые объекты встречаются в различных задачах, таких как анализ морфологии молекулярных или клеточных объектов в биомедицинских и промышленных изображениях, где требуется количественный анализ отдельных объектов как по размеру, так и форме [1–3]. Во многих таких случаях часто можно предположить, что объекты имеют приблизительно эллиптическую форму. Например, наиболее часто измеряемыми свойствами наночастиц являются их длина и ширина, которая может соответствовать большой и малой оси эллипса,

расположенного над контуром частицы [4]. Однако, даже с априори известными фигурами перекрывающихся объектов их сегментация является не простой задачей. В случае недостаточной информации об формах объектов с перекрытыми или перекрывающимися частями в процесс сегментации вносится существенная сложность. Кроме того, часто задача включает в себя одновременную сегментацию нескольких объектов. Большое количество объектов на изображении вызывает большое количество изменений в позе, размере и форме объектов и приводит к более сложной проблеме сегментации.

1. Теоретические основы

Предлагаемый подход на первом этапе предусматривает предобработку изображений. Для этого, при создании силуэта изображения используется бинаризация изображения путем подавления фона на основе метода Оцу [5] и морфологическая обработка для сглаживания границ объекта [6]. Карта границ исследуемых объектов строится с использованием детектора краев Канни [7,8].

Для сегментации частично перекрывающихся объектов предлагается предварительно решить задачу извлечения контурных данных, а затем выполнить оценку контуров. Для извлечения контурных данных необходимо выполнить два этапа: первый - сегментация контура, второй - группировка сегмента. На первом этапе контуры объекта делятся на отдельные сегменты контура. На втором этапе выполняется проверка доказательства [9] наличия контура путем объединения найденных ранее сегментов контура, которые принадлежат одному и тому же объекту.

Как только доказательство наличия контура получено, то выполняется оценка контура в результате чего наблюдаемые объекты моделируются в форме объектов эллиптической формы. Предлагается новый комбинированный подход для извлечения контурных доказательств, который основан на обнаружении специальных вогнутых точек с помощью анализа кривизны, использовании проверки на вогнутость и эффективной процедуры поиска.

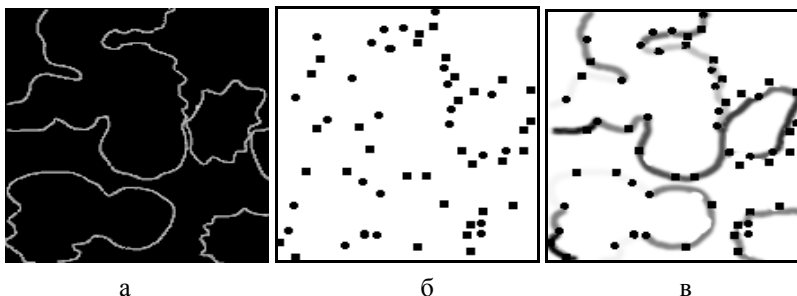
Таким образом для решение поставленной задачи предусматривает выполнение двух этапов: извлечение контурных доказательств и оценку контура. При этом извлечение данных о наличии контура включает две отдельные задачи: сегментация контура и группирование сегмента.

Контурная сегментация. Частичное перекрытие между двумя или более объектами эллиптической формы приводит к вогнутой форме с вогнутыми краевыми точками, которые соответствуют пересечениям границ объекта. Именно эти вогнутые точки используются для сегментирования контура перекрывающихся объектов.

Предлагается, что после нахождения края изображения детектором краев Канны, вогнутые точки определяются путем обнаружения угловых точек с последующей проверкой их на вогнутость. Угловые точки обнаруживаются с использованием метода модифицированного пространства кривизны, основанного на анализе кривизны [10]. Выход детектора угла включает точки с максимальной кривизной, лежащие как в вогнутой, так и в выпуклой областях контуров объекта [11,12].

Так как нас интересуют только вогнутые точки, соединяющие контуры перекрывающихся объектов, обнаруженные угловые точки проверяются на то находятся ли они на вогнутых областях. Для решения этой задачи, обозначим обнаруженную угловую точку через p_i , а две смежные точки контура точки - через p_{i-k} и p_{i+k} . Угловая точка p_i с квалифицируется как вогнутая, если линия, соединяющая точки p_{i-k} и p_{i+k} , не находится внутри объекта. Полученные вогнутые точки будем использовать для разбиения контуров объекта на сегменты контура. На рис. 1 показан пример извлечения вогнутой точки и сегментации контура.

Группировка сегментов. Из-за существующих перекрытий между объектами один объект может создавать несколько сегментов контура. Группировка сегментов необходима для объединения всех контурных сегментов, принадлежащих одному объекту. Основная идея предлагаемого метода группировки сегментов состоит в том, чтобы найти группу сегментов контура, которые вместе образуют объект эллиптической формы. Группировка сегментов подразумевает перебор предварительно отобранных сегментов контура с целью возможности их объединения в единый замкнутый объект.



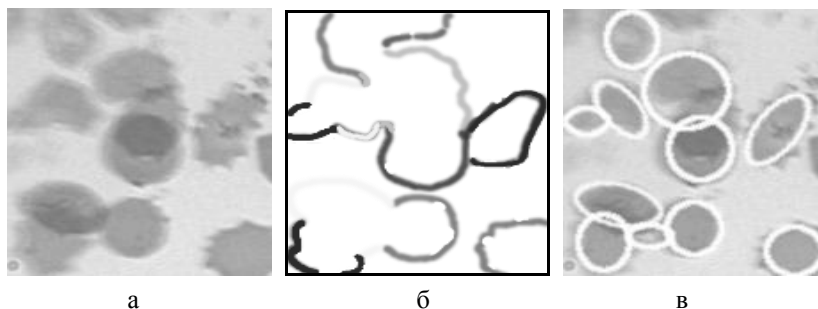
а – карта объектов, б – извлеченные вогнутые углы и удаленные выпуклые углы, в – сегментация контура по вогнутым точкам

Рис. 1. Сегментация контура

Для оптимизации процесса группировки предлагается использовать ограниченное пространство поиска, а сегмент контура в процессе группировки рассматривается только находящийся рядом с соседними сегментами. Два сегмента считаются соседними, если евклидово расстояние между их центральными точками меньше заданного порогового значения.

Группировка сегментов контура осуществляется в процессе подбора эллипса. При наличии пары контурных сегментов, s_i и s_j , и функции, измеряющей качество подгонки эллипса, сегмент s_i группируется с сегментом s_j , если вычисленное качество эллипса, подогнанного к сегментам соединения, выше, чем качество эллипса, установленного на каждый отдельный сегмент контура в отдельности.

Оценка контура. Последним этапом предлагаемого метода является оценка контура, когда на основе визуальной информации, полученной на предыдущем этапе, оцениваются недостающие части контуров объекта. Подгонка эллипса является очень распространенным подходом в сегментации перекрывающихся объектов [13]. Наиболее эффективные современные методы подбора эллипса, основанные на граничных точках формы, обычно решаются с помощью классической задачи наименьших квадратов. Поэтому оценка контура выполняется с помощью метода прямой подгонки по методу наименьших квадратов, где частично наблюдаемые объекты моделируются в форме объектов эллиптической формы. На рис. 2 показан пример оценки контура, примененной к доказательствам контура.



а – исходное изображение, б – извлечение контурных доказательств, в – оценка контура

Рис. 2. Оценка контура

2. Апробация метода сегментации

Тестирование сегментации перекрывающихся друг друга объектов проведено для разного уровня перекрытия двух, трех и четырех объектов. На рис. 3 приведены четыре различных варианта перекрытия двух объектов.

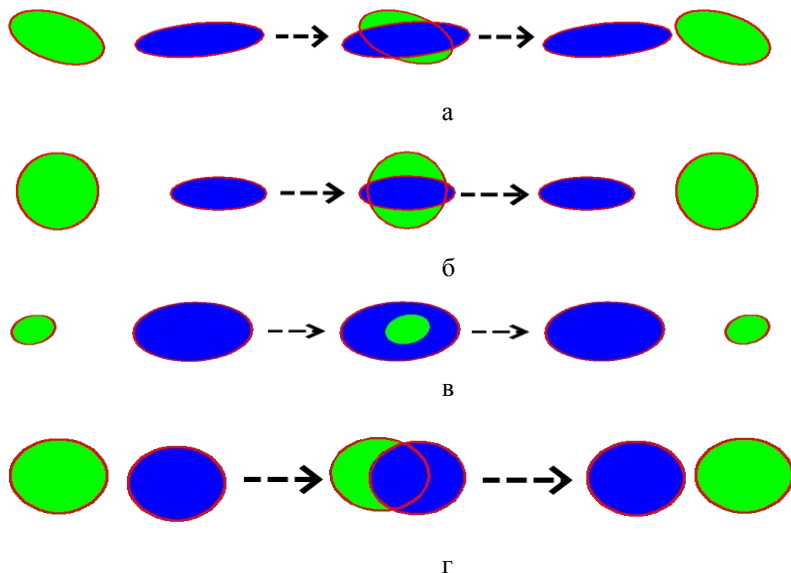


Рис. 3. Варианты перекрытия двух перекрывающихся друг друга объектов

Результаты тестирования алгоритма сегментации перекрывающихся друг друга двух объектов представлены в ниже следующей таблице (где n ($i=1..n$) – кол-во перекрывающихся объектов, $S_{i,z}$ – заданное значение площади i -того объекта, $S_{i,p}$ – расчетное значение площади i -того объекта).

Таблица 1

Результаты тестирования сегментации перекрывающихся друг друга двух объектов

№ п/п	Вариант перекрытия	% перекрытия	S1,з	S2,з	S1,р	S2,р	Кол-во найденных объектов	Ошибка δ
1	а	0%	8788	8471	8829	8388	2	0,71%
2	а	6%	8788	8471	8591	8433	2	1,36%
3	а	18%	8788	8471	8591	8433	2	1,36%
4	а	32%	8788	8471	8651	8433	2	1,01%
5	а	36%	8788	8471	8651	8388	2	1,27%
6	а	30%	8788	8471	8739	8081	2	2,54%
7	а	17%	8788	8471	8739	8081	2	2,54%
8	а	6%	8788	8471	8739	8285	2	1,36%
9	б	0%	10986	5656	11033	5465	2	1,43%
10	б	7%	10986	5656	10830	5592	2	1,32%
11	б	21%	10986	5656	10830	5610	2	1,21%
12	б	33%	10986	5656	10830	5665	2	0,99%
13	б	21%	10986	5656	10830	5584	2	1,37%
14	б	7%	10986	5656	10871	5504	2	1,60%
15	в	0%	3141	17584	3144	17659	2	0,37%
16	в	7%	3141	17584	3044	17388	2	1,41%
17	в	16%	3141	17584		17659	1	
18	в	15%	3141	17584		17914	1	
19	в	1%	3141	17584	3044	17388	2	1,41%
20	г	0%	7834	7834	7867	7867	2	0,42%
21	г	6%	7834	7834	7643	7614	2	2,62%
22	г	26%	7834	7834	7617	7754	2	1,89%
23	г	49%	7834	7834		8367	1	
24	г	26%	7834	7834	7935	7610	2	2,07%
25	г	6%	7834	7834	7744	7589	2	2,13%

На рис. 4 приведены различные варианты перекрытия трех объектов. Результаты тестирования алгоритма сегментации перекрывающихся друг друга трех объектов представлены в ниже следующей таблице.

На рис. 5 приведены различные варианты перекрытия четырех объектов. Результаты тестирования алгоритма сегментации перекрывающихся друг друга четырех объектов представлены в ниже следующей таблице

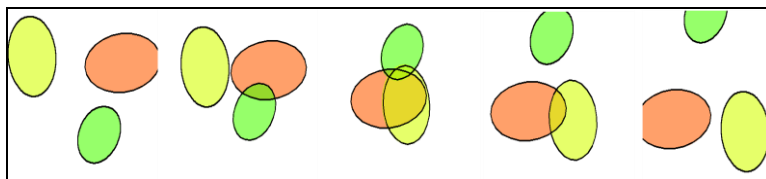


Рис. 4. Варианты перекрытия двух перекрывающихся друг друга объектов

Таблица 2

Результаты тестирования сегментации перекрывающихся друг друга трех объектов

	Номер варианта перекрытия	% перекрытия	$\sum S_{зад.}$	$\sum S_{спас.}$	Кол-во заданных объектов	Кол-во найденных объектов	Ошибка δ
0	1	0	49060	48924,5	3	3	0,35
2	3	6	49060	48664,5	3	3	0,49
4	5	34	49060	42292	3	3	7,40
5	6	27	49060	54315	3	3	5,85
6	7	4	49060	48761	3	3	0,43
7	8	0	49060	48924,5	3	3	0,35

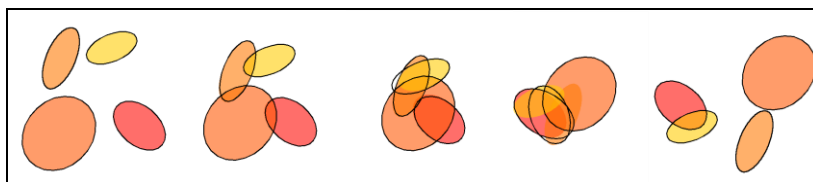


Рис. 5. Варианты перекрытия двух перекрывающихся друг друга объектов

Таблица 3

Результаты тестирования сегментации перекрывающихся друг друга четырех объектов

	Номер варианта перекрытия	% перекрытия	Σ Sзад.	Σ Sрас.	Кол-во заданных объектов	Кол-во найденных объектов	Ошибка δ
1	2	0	71956	71383	4	4	0,49
2	3	8	71956	70956	4	4	0,74
3	4	33	71956	72150	4	4	2,12
5	6	27	71956	67392	4	3	10,99
7	8	5	71956	71351	4	4	0,51

Заключение

Представленный метод сегментации перекрывающихся объектов на изображениях позволяет более точно решать задачу распознавания контуров этих объектов. Приведенные в таблицах результаты тестирования показали эффективную работу разработанного метода сегментации объектов перекрывающихся друг друга. Апробация данного метода сегментации показала возможность решения задачи сегментации одновременную для нескольких объектов.

Результаты выполненных вычислительных экспериментов продемонстрировали работоспособность и эффективность разработанных методов и алгоритмов компьютерного зрения для сегментации перекрывающихся друг друга объектов на изображениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-07-00133 А.

Список литературы

1. Segmentation, inference and classification of partially overlapping nanoparticles. / C. Park [and all] // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2013. – P. 669–681.
2. Zhang, W.H., Jiang, X., Liu, Y.M. A method for recognizing overlapping elliptical bubbles in bubble image. Pattern Recognition Letters / W.H. Zhang, X. Jiang, Y.M. Liu // 33. – 2012. – P. 1543 – 1548.
3. Батищев Д.С. Метод сегментации перекрывающихся форменных элементов крови на микроскопических медицинских изображениях. / Д.С. Батищев, В.М. Михелев, А.А. Утянский // Экономика. Информатика. – 47 (4). –2020. – С. 803–815.
4. Estimation of nanoparticle size distributions by image analysis. / R. Fisker [and all] // Journal of Nanoparticle Research. 2. – 2000. – P. 267–277.
5. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.: journal. – 1979. – Vol. 9. – P. 62–66.
6. Сойникова Е.С. О распознавании форменных объектов крови на основе медицинских изображений / Е.С. Сойникова, Д.С. Батищев, В.М. Михелев // Научный результат. Информационные технологии. – 2018. – № 3. – С. 54–65.
7. Canny J. A computational approach to edge detection. / J. Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and Machine Intelligence, 8 (6). – 1986. – P. 679–698.
8. Высокпроизводительный метод обнаружения границ на медицинских изображениях. / Е.С Сойникова [и др.] // Научный результат. Информационные технологии. – 2016. – 1(3). – С. 4–9.
9. Zhang, W.H. A method for recognizing overlapping elliptical bubbles in bubble image. / W.H. Zhang, X. Jiang, Y.M Liu // Pattern Recognition Letters, 33(12). – 2012. – P. 1543–1548.
10. He X. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support / X. He, N. Yung // In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. ICPR. – 2004. – P. 791–794.
11. Segmentation of partially overlapping nanoparticles using concave points / Z. Zafari [and all] // In: Advances in Visual Computing, Springer. – 2015. – P. 187–197.
12. Comparison of concave point detection methods for overlapping convex objects segmentation. / Z. Zafari [and all] // In: 20th Scandinavian Conference on Image Analysis. SCIA 2017, June12–14. –2017. – P. 245–256.

13. Fitzgibbon, A. Direct least square fitting of ellipses / A. Fitzgibbon, M. Pilu, R.B. Fisher // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 21. – 1999. – P. 476–480.