УДК 004.9

В.М. МИХЕЛЕВ, Д.С. БАТИЩЕВ, А.А. УТЯНСКИЙ, ЕС. СОЙНИКОВА
V.M. MIKHELEV, D.S. BATISHCHEV, A.A. UTYANSKIJ, E.S. SOJNIKOVA

МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ФОРМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

METHOD FOR SEGMENTATION OF BLOOD SHAPED ELEMENTS ON MICROSCOPIC MEDICAL IMAGES

В статье рассматривается решение задачи эритроцитометрии с использованием методов компьютерного зрения. Основная проблема при подсчете площадей эритроцитов заключается в том, что они могут перекрываться друг другом. Предложен комбинированный подход для извлечения контурных доказательств, который основан на обнаружении вогнутых точек с помощью анализа кривизны, использовании проверки на вогнутость и эффективной процедуры поиска. 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 алгоритма сегментации перекрывающих друг друга эритроцитов на микроскопических изображениях показало эффективность разработанного метода.

Ключевые слова: эритроцитометрия; сегментация; микроскопические изображения; клетки крови; перекрывающиеся объекты.

The article discusses the solution to the problem of erythrocytometry using computer vision methods. The main problem with calculating the areas of red blood cells is that they can overlap with each other. A combined approach is proposed for extracting contour evidence, which is based on the detection of concave points using curvature analysis, the use of concavity testing and an efficient search procedure. It is then suggested to use the segment grouping method to find a group ofpath segments that together form an elliptical object. Segment grouping involves iterating over preselected contour segments in order to be able to combine them into a single closed object. The above testing of the segmentation algorithm for overlapping erythrocytes on microscopic images showed the effectiveness of the developed method.

Keywords: erythrocytometry; segmentation; microscopic images; blood cells; overlapping objects.

В задачах анализа изображений клеток крови, полученных с помощью микроскопа, в рамках цитологических исследований часто возникает необходимость подсчета количества клеток определенного типа. Одним из важных диагностических исследований для установления правильного и точного диагноза является измерение диаметра эритроцитов - эритроцитометрия [1]. Графическое изображение соотношения содержания в крови эритроцитов с различными диаметрами называют эритроцитометрической кривой Прайс-Джонса, которая у практически здоровых людей носит характер нормального распределения.

Для проведения эритроцитометрии необходимо выделить эритроциты на изображении крови и затем вычислить такие их параметры как диаметр, объём и толщину. Основной проблемой при сегментации эритроцитов, часто возникающей на практике, является то, что на микроскопическом изображении крови некоторые эритроциты могут перекрывать друг друга [2].

Для извлечения контурных данных необходимо выполнить два этапа: первый - сегментация контура, второй - группировка сегмента. На первом этапе контуры объекта делятся на отдельные сегменты. На втором этапе выполняется проверка доказательства 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.

Сегментация перекрывающихся объектов. Предлагаемый подход на первом этапе предусматривает предобработку микроскопических изображений клеток крови. Для этого при создании силуэта изображения используется бинаризация изображения путем подавления фона на основе метода Оцу [3] и морфологическая обработка для сглаживания границ объекта [4]. Карта границ исследуемых объектов строится с использованием детектора краев Канни [5].

На этапе получения доказательства наличия контура граничные точки, которые принадлежали каждому объекту, группируются с использованием вогнутых точек и свойств подогнанных эллипсов [6]. Когда доказательство наличия контура будет получено, тогда выполняется оценка этого контура и осуществляется дорисовка недостающих частей перекрывающихся объектов.

Извлечение контурных доказательств. Вначале происходит извлечение данных контура, содержащего видимые части границ объектов, которые затем можно использовать для вывода перекрытых (невидимых) частей перекрывающихся объектов. 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.

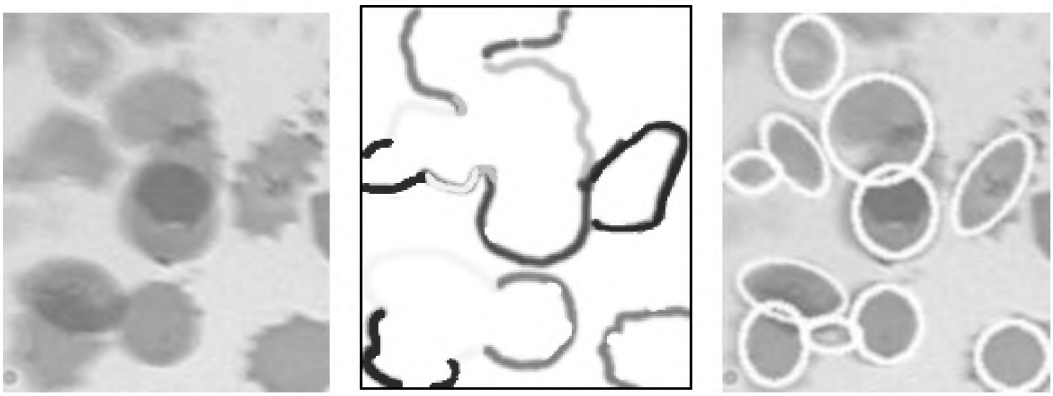
Предполагается, что после нахождения края изображения детектором краев Канни вогнутые точки определяются путем обнаружения угловых точек с последующей проверкой их на вогнутость. Угловые точки обнаруживаются с использованием метода модифицированного пространства кривизны, основанного на анализе кривизны [7]. Данный метод позволяет определить точки с максимальной кривизной, лежащие как в вогнутой, так и в выпуклой областях контуров объекта. Так как нас интересуют только вогнутые точки, соединяющие контуры перекрывающихся объектов, обнаруженные угловые точки проверяются на то, находятся ли они на вогнутых областях [8, 9].

Г руппировка 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. Для оптимизации процесса группировки предлагается использовать ограниченное пространство поиска. 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 [8]. При наличии пары контурных сегментов, *Si* и *sj*, и функции, измеряющей качество подгонки эллипса, сегмент s_i группируется с сегментом *Sj*, если вычисленное качество эллипса, подогнанного к сегментам соединения, выше, чем качество эллипса, установленного на каждый отдельный сегмент контура в отдельности.

Достоверность соответствия описывается как среднее отклонение расстояния (ADD), которое измеряет расхождение между подобранной кривой и точками-кандидатами на контуре [6]. Более низкое значение ADD указывает на более высокую степень соответствия, и поэтому объединенное правило для выполнения группировки сегментов в терминах ADD определяется как

Оценка контура. Последним этапом предлагаемого метода является оценка контура [10], когда на основе визуальной информации, полученной на предыдущем этапе, оцениваются недостающие части контуров объекта. Подгонка эллипса является очень распространенным подходом в сегментации перекрывающихся объектов. 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 рисунке 1 показан пример оценки контура, примененной к доказательствам контура.

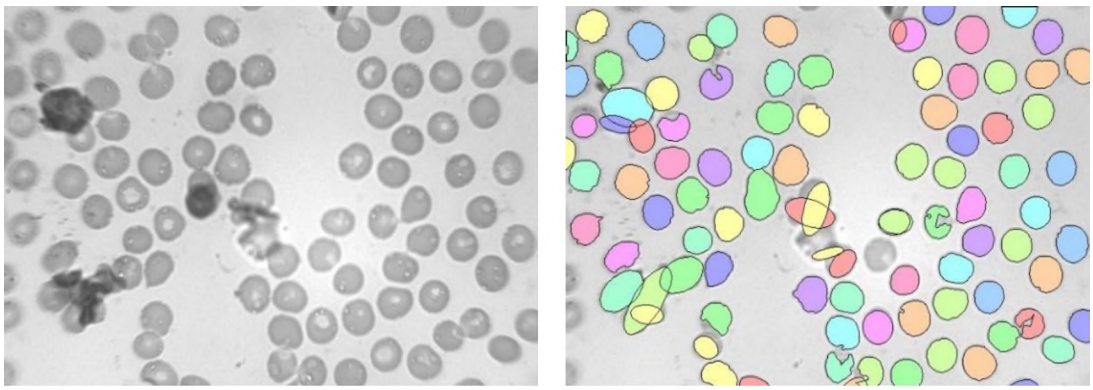


а) б) в)

Рисунок 1 - Оценка контура: (а) исходное изображение; б) извлечение контурных доказательств; (в) оценка контура

Тестирование алгоритма сегментации перекрывающих друг друга эритроцитов на микроскопических изображениях проведено на 24 реальных медицинских изображениях крови, данные изображения разделены на 4 группы.

Коэффициент аппроксимации (сглаживания) подбирался эмпирическим путём. На рисунке 2 представлен пример сегментации объектов на изображениях из 3-й группы.



а) б)

Рисунок 2 - Тестирование алгоритма сегментации на изображении из 3-й группы: а) - исходное изображение; б) - коэффициент аппроксимации 3,7

Представленный метод сегментации перекрывающих форменных элементов крови на микроскопических медицинских изображениях позволяет более точно решать задачу эритроцитометрии. Данный метод позволяет вычислить правильные площади эритроцитов на основании более точного определения их перекрывающихся контуров. Благодаря этому при проведении диагностических исследований появляется возможность установления достоверного и точного диагноза в области персональной медицины.

Результаты выполненных вычислительных экспериментов продемонстрировали работоспособность и эффективность разработанных методов и алгоритмов компьютерного зрения для сегментации перекрывающих друг друга эритроцитов на микроскопических медицинских изображениях клеток крови.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липунова Е.А., Скоркина М.Ю. Система красной крови: сравнительная физиология: монография // БелГУ. - Белгород: БелГУ, 2004. - 215 с.: ил., табл.
2. Батищев Д.С., Сойникова Е.С., Михелев В.М., Синюк В.Г. Использование алгоритмов компьютерного зрения для выполнения гематологического анализа на основе кривой Прайс-Джонса // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. - 2018. - Т. 45. № 3. С. 537-546.
3. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.: journal. - 1979. - Vol. 9. - P. 62-66.
4. Сойникова Е.С., Батищев Д.С., Михелев В.М. О распознавании форменных объектов крови на основе медицинских изображений // Научный результат. Информационные технологии. 2018. Т. 3. № 3. С. 54-65.
5. Сойникова Е.С., Рябых М.С., Батищев Д.С., Синюк В.Г., Михелев В.М. 2016. Высокопроизводительный метод обнаружения границ на медицинских изображениях. Научный результат. Информационные технологии, 1(3): 4-9.
6. Zhang, W.H., Jiang, X., Liu, Y.M.: A method for recognizing overlapping elliptical bubbles in bubble image. Pattern Recognition Letters (2012) 33(12), 1543-1548.
7. He, X., Yung, N.: Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support. In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. ICPR 2004. (Volume 2). 791-794.
8. Zafari S., Eerola T., Sampo J., Kalviainen H., Haario H. Segmentation of partially overlapping nanoparticles using concave points. In: Advances in Visual Computing, Springer, 2015, 187-197.
9. Zafari S., Eerola T., Sampo J., Kalviainen H., Haario H. Comparison of concave point detection methods for overlapping convex objects segmentation. In: 20th Scandinavian Conference on Image Analysis. SCIA 2017, June12-14, 2017, 245-256.
10. Fitzgibbon, A., Pilu, M., Fisher, R.B. Direct least square fitting of ellipses. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 21 (1999) 476-480.

Михелев Владимир Михайлович
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: +7(4722) 30-13-53
E-mail: mikhelev@bsu.edu.ru

Батищев Денис Сергеевич
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Преподаватель кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: +7(4722) 30-13-53
E-mail: batishchev@bsu.edu.ru

Утянский Артем Анатольевич
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: +7(4722) 30-13-53
E-mail: utyanskiy@bsu.edu.ru

Сойникова Екатерина Сергеевна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: +7(4722) 30-13-53
E-mail: 831468@bsu.edu.ru