

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Наркевич А. Н., Виноградов К. А., Корецкая Н. М., Соболева В. О.

*ГБОУ ВПО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого»
Минздрава России, Красноярск, Россия, e-mail: narkevichart@gmail.com*

Целью исследования явилась разработка алгоритма предобработки цифрового изображения микроскопического препарата и выделения на нем объектов с минимальными априорными данными об изображении. По результатам проведенного исследования предложен данный алгоритм и приведена блок-схема его работы. Разработанный алгоритм имеет универсальный характер по сравнению с используемыми на сегодняшний день алгоритмами и предполагает отсутствие априорной информации об изображении. Процесс выделения объектов с использованием разработанного алгоритма приведен на примере выделения клеток в цифровом изображении микроскопии крови человека, окрашенной по методу Романовского – Гимзе. Предложенный алгоритм может быть использован для дальнейшей разработки моделей идентификации объектов и изучения характеристик различных объектов на медицинских микроскопических изображениях, что может применяться при разработке автоматизированных диагностических систем.

Ключевые слова: медицинские изображения, сегментация изображений, выделение объектов, автоматизированная обработка.

AN ALGORITHM FOR EXTRACTING OBJECTS IN DIGITAL IMAGES OF MICROSCOPIC PREPARATIONS

Narkevich A. N., Vinogradov K. A., Koretskaya N. M., Soboleva V. O.

Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: narkevichart@gmail.com

The aim of the study was development of an algorithm for preprocessing a digital image of the microscopic preparation and selection of objects with minimal a priori information about the image. According to the results of the research proposed and this algorithm shows a block diagram of its operation. The developed algorithm is universal in comparison with currently used algorithms and assumes no a priori information about the image. The process of selecting objects using the developed algorithm are shown on the example of cell separation in the digital image microscopy of human blood, painted by the method Romanovsky – Giemsa. The proposed algorithm can be used for further model development identification of objects and examine characteristics of different objects on a microscopic medical images that can be used when developing automated diagnostic systems.

Keywords: medical image, image segmentation, object selection, automated processing.

На сегодняшний день процесс диагностики большого числа заболеваний включает использование микроскопической техники. С помощью микроскопа диагностируются онкологические, эндокринные или инфекционные заболевания [3, 7, 8]. Современные компьютерные технологии позволяют осуществлять автоматизированный анализ различных изображений, в том числе и микроскопических. Это требует, как правило, использование методов и алгоритмов предобработки изображений, их сегментации для выделения на них объектов и дальнейшего изучения данных объектов или их идентификации [1, 2, 4]. Однако большинство используемых для этого алгоритмов требует наличия ручной предобработки изображений или наличия априорных знаний об анализируемом изображении [5, 6], что затрудняет их применение в практическом здравоохранении ввиду недостаточности специальных знаний и навыков у медицинского персонала.

Целью исследования является разработка алгоритма предобработки цифрового изображения микроскопического препарата и выделения на нем объектов с минимальными априорными данными об изображении.

Материалы и методы

Для разработки алгоритма предобработки цифрового изображения микроскопического препарата и выделения на нем объектов использовались снимки, получаемые при цифровой съемке изображений видимых в объективе микроскопа. Описание работы алгоритма осуществляется с использованием цифрового изображения микроскопии клеток крови человека, окрашенной по методу Романовского – Гимзе.

Результаты

Основной идеей разработки алгоритма предобработки цифрового изображения микроскопического препарата и выделения объектов на нем являлась возможность выделения объектов при минимальном количестве априорных знаний об изображении и объектах. Схема разработанного нами алгоритма предобработки изображения и выделения объектов представлена на рисунке 1.

На первом этапе после получения цветного цифрового изображения производится перевод данного изображения в оттенки серого. Для этого выполняются следующие операции:

1. Разложение значений цвета каждого пикселя на изображении согласно цветовой схеме RGB (red, green, blue) на значения трех цветовых составляющих: R (красного), G (зеленого), B (синего).
2. Выравнивание значений составляющих цветовой схемы.

Для выравнивания значений цветовых составляющих может применяться следующий подход [4]. Значения цветовых составляющих усредняются или приравниваются к яркости, рассчитываемой по формуле (1):

$$y_i = 0,299 * R + 0,587 * G + 0,114 * B, \quad (1)$$

где y_i – значение яркости пикселя, R, G, B – значения соответствующих составляющих цвета пикселя.

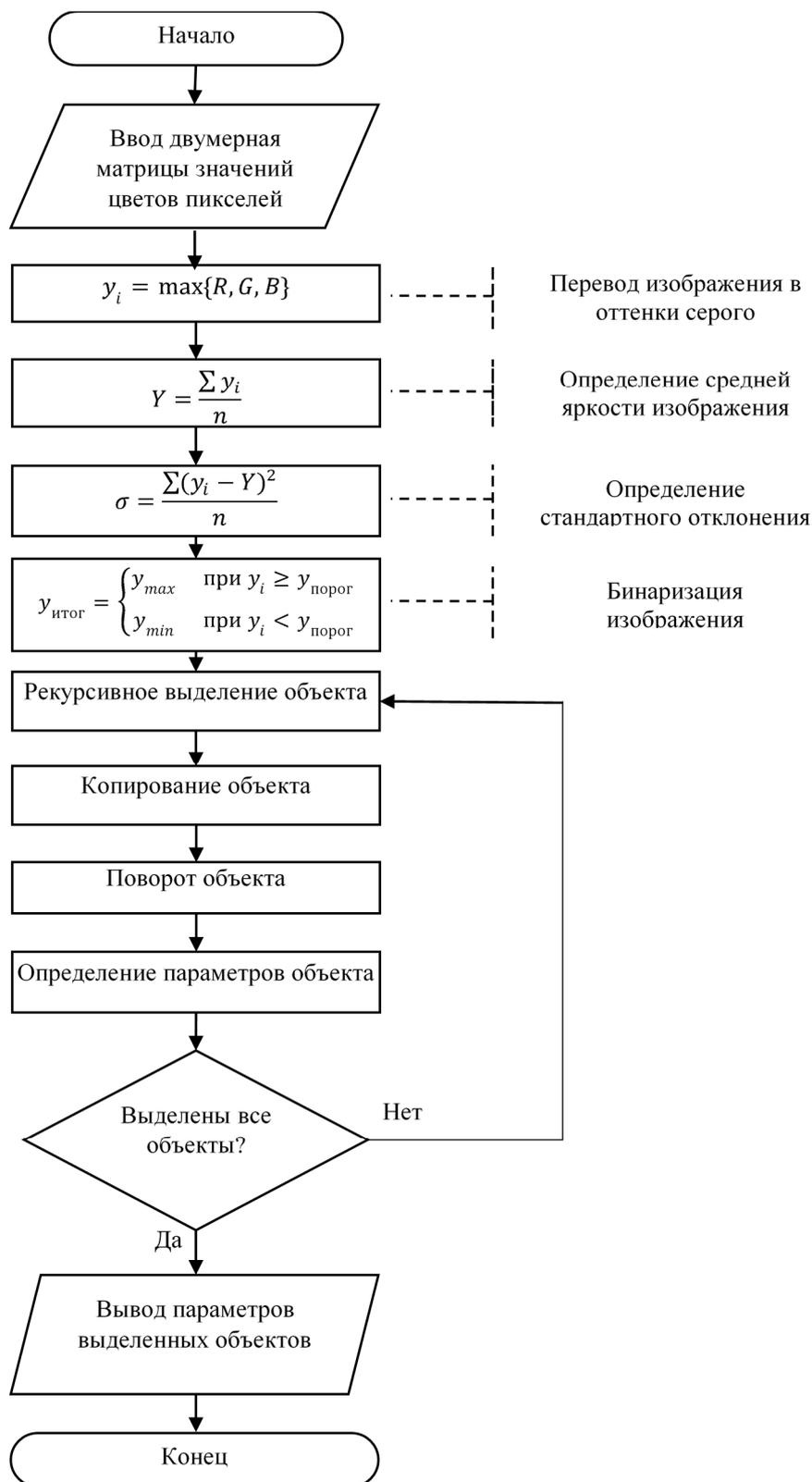


Рис.1. Схема алгоритма предобработки изображения и выделения объектов

В таком случае получаемое в оттенках серого изображение обладает меньшей контрастностью, а контрастность играет существенную роль на дальнейших этапах предобработки изображения и выделения на нем объектов, чем при использовании

предлагаемого нами подхода. Для выравнивания значений предлагается все три цветовых составляющих приравнять к наибольшему из значений цветовой схемы. Так, если наибольшее значение у конкретного пикселя имеет красное составляющее, то значения синего и зеленого составляющих приравнивается к красному.

Итогом данного этапа является цифровое изображение в оттенках серого (рис. 2).

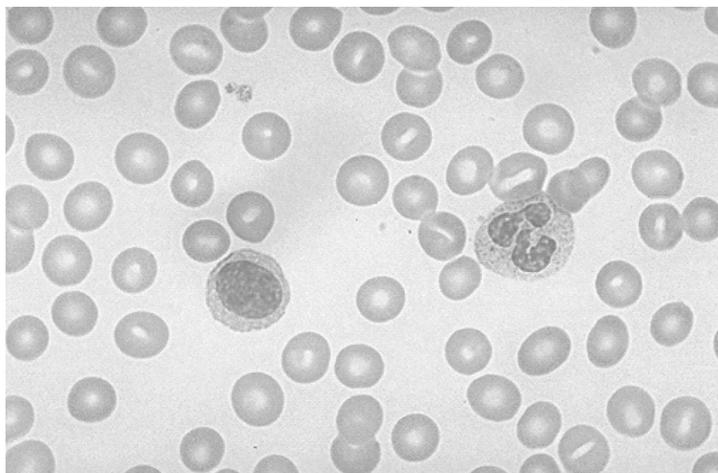


Рис.2. Микроскопическое изображение клеток крови, переведенное в оттенки серого

На втором этапе определяется средняя яркость изображения, которая вычисляется как средняя арифметическая величина яркости всех пикселей изображения. Как было обозначено выше, расчет значения яркости каждого пикселя может производиться на основании приведенной формулы (1), но так как на предыдущем этапе все значения составляющих цвета были приравнены к наибольшей величине значения цветовой схемы, то на данном этапе рассчитывается среднее арифметическое значений любого из трех составляющих цвета пикселя. Представленные два этапа предобработки изображения могут производиться за один проход по изображению.

На третьем этапе определяется стандартное отклонение яркости всего цифрового изображения. Вычисление стандартного отклонения яркости осуществляется по формуле (2):

$$\sigma = \frac{\sum(y_i - Y)^2}{n}, \quad (2)$$

где σ – стандартное отклонение яркости изображения, y_i – значение яркости конкретного i -того пикселя, Y – среднее арифметическое яркости изображения, n – число пикселей изображения. Для осуществления третьего этапа требуется второй проход по анализируемому изображению.

На четвертом этапе производится бинаризация изображения таким образом, чтобы все изображение состояло только из черных и белых пикселей. Для этого, как правило, используется какая-либо пороговая функция вида [6]:

$$y_{\text{итог}} = \begin{cases} y_{\text{max}} & \text{при } y_i \geq y_{\text{порог}} \\ y_{\text{min}} & \text{при } y_i < y_{\text{порог}} \end{cases} \quad (3)$$

где $y_{\text{итог}}$ – итоговое значение яркости пикселя, y_{max} – максимальная яркость, соответствующая белому цвету (255), y_{min} – минимальная яркость, соответствующая черному цвету (0), y_i – значение яркости конкретного пикселя, $y_{\text{порог}}$ – некоторое пороговое значение яркости.

В соответствии с формулой (3), если значение яркости пикселя больше порогового значения, то пиксель приобретает значение белого цвета, а если меньше, то черного. Пороговое значение яркости устанавливается исследователем. Проблема такого подхода заключается в том, что выбор порогового значения, как правило, основан на имеющихся априорных знаниях об изображении, что существенно снижает универсальность алгоритмов выделения объектов. Другим часто применяемым подходом выбора порогового значения яркости изображения для его бинаризации является выбор порогового значения на основании гистограммы распределения яркости [6]. После построения гистограммы распределения яркости изображения на ней определяются пики, и определение порогового значения яркости основывается на выборе значения яркости, находящегося между пиками на гистограмме (рис. 3).

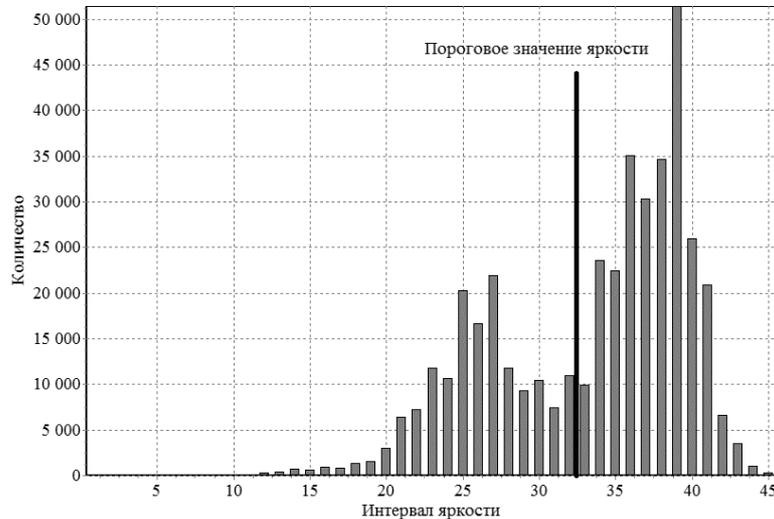


Рис.3. Определение порогового значения яркости на основании гистограммы распределения яркости изображения

Однако, такой подход к определению порогового значения яркости не всегда может быть использован. Среди медицинских изображений встречаются такие, у которых гистограмма распределения яркости имеет только один пик или более двух пиков.

Нами предлагается определять пороговое значение яркости исходя из предположения, что на изображении большую площадь занимает фон и среднее арифметическое яркости, определяемое на одном из предыдущих этапов, смещается в сторону яркости фона. В связи с

этим определением порогового значения яркости предлагается осуществлять следующим образом:

$$y_{\text{порог}} = Y - \sigma, \quad (4)$$

где $y_{\text{порог}}$ – пороговое значение яркости, Y – среднее арифметическое яркости изображения, σ – стандартное отклонение яркости изображения.

Так как стандартное отклонение является параметром, характеризующим разброс значений в наборе данных, в данном случае наборе значений яркости всего изображения и непосредственно связан с исходным изображением, то такой способ выбора порогового значения носит универсальный характер, по сравнению с использованием априорных знаний об изображении.

Осуществление четвертого этапа предобработки изображения требует еще одного прохода по изображению и его итогом является бинаризованное черно-белое изображение (рис. 4). На этом предобработка изображения заканчивается и начинается непосредственный поиск объектов.

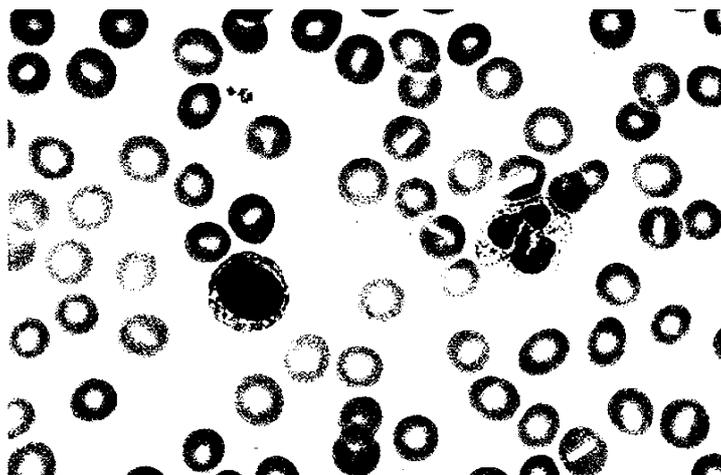


Рис. 4. Бинаризованное микроскопическое изображение клеток крови

Поиск объектов осуществляется с помощью рекурсивного алгоритма, который требует заключительного четвертого прохода по изображению. Рекурсивный алгоритм предусматривает поиск вокруг черного пикселя других черных пикселей. Если в окружении найден черный пиксель, то осуществляется переход к данному пикселю, и поиск осуществляется вокруг него. В том случае, когда все черные пиксели, находящиеся рядом, найдены, выделение объекта заканчивается, и координаты выделенных пикселей используются для копирования пикселей с исходного цветного изображения.

Следующий этап – копирование объекта с цветного изображения. Копирование объекта производится на контрастный фон. Нами используется цвет фона, имеющий

значение цвета в шестнадцатеричной системе счисления равно $\$FFFFFF00$. Это необходимо для дальнейшей работы с объектом, его поворота и определения различных его параметров. Примеры выделенных объектов представлены на рисунке 5.

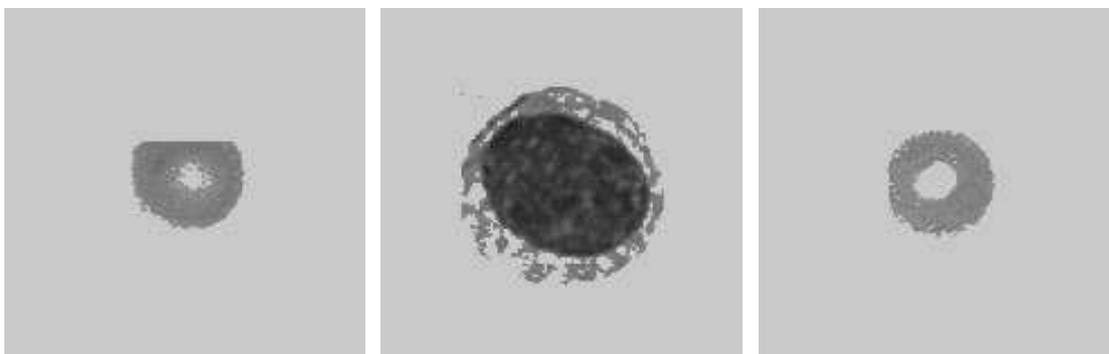


Рис. 5. Примеры выделенных и скопированных объектов

Дальнейшим этапом является поворот объектов относительно их центра. Для этого, исходя из размеров объекта, по оси X и Y определяется центр объекта и измеряются длины отрезков, соединяющих центр и края объекта, отложенные под различным углом относительно оси X с шагом 5 градусов. После этого определяется угол, при котором длина объекта является наибольшей и производится поворот объекта на этот угол.

Необходимость поворота объекта возникает в связи с тем, что линия, проходящая через наибольший размер объекта на медицинских изображениях, может находиться под различным углом к осям системы координат XY . Это существенно затрудняет их дальнейшую машинную обработку, так как у одного и того же объекта, имеющего различное положение, размеры по осям X и Y будут отличаться. После поворота объекта таким образом, что его наибольший размер расположен по оси X , производится определение параметров объекта. Объекты на медицинских изображениях можно характеризовать параметрами: размер, цвет и форма. Нами предлагается измерять такие параметры, как: площадь (в пикселях), длина объекта по осям X и Y , средние значения цветов пикселей по красному, зеленому и синему спектру, длины отрезков, соединяющих центр и края объекта, отложенные под углом относительно оси X с шагом 5 градусов, и соотношение длин противоположных отрезков (например, отношение длины отрезка, отложенного под углом 15 градусов к длине отрезка, отложенного под углом 195 градусов). Таким образом, каждый объект описывается 114 параметрами.

Таким образом, предложенный алгоритм предобработки изображения и выделения на нем объектов не предполагает наличия априорных знаний об изображении, что придает алгоритму универсальность. Данный алгоритм может быть использован в исследованиях,

направленных на разработку моделей идентификации объектов на цифровых изображениях микроскопических препаратов с целью автоматизированного анализа и определения параметров различных объектов.

Проект поддержан программой «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Список литературы

1. Ананченко В. Н., Ананченко А. И., Литвин А. В., Литвин А. А. Компьютерная обработка медицинских изображений в системе MatLab // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2002. – № 5. – С.68–71.
2. Косых Н. Э., Смагин С. И., Гостюшкин В. В., Савин С. З., Литвинов К. А. Система автоматизированного компьютерного анализа медицинских изображений // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – № 3. – С. 51–56.
3. Мордык А. В., Пузырева Л. В., Аксютин Л. П. Современные международные и национальные концепции борьбы с туберкулезом // Дальневосточный журнал инфекционной патологии. – 2013. – № 22. – С. 92–97.
4. Порев В. Н. Компьютерная графика. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 432 с.
5. Привалов О. О. Методы и алгоритмы обработки растровых изображений для решения задач автоматизированной микроскопии медико-биологических препаратов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01. – Волгоград, 2007. – 22 с.
6. Сойфер В. А. Компьютерная обработка изображений. Ч. 2. Методы и алгоритмы // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С. 110–121.
7. Федотов Н. Г., Шульга Л. А., Кольчугин А. С., Романов С. В., Смолькин О. А., Курынов Д. В. Предварительная обработка гистологических изображений в системе распознавания заболеваний щитовидной железы // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Т. 1. – Пенза: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», 2006. – С. 245–246.
8. Филимонова Е. С., Тарасенко С. Л., Дыхно Ю. А., Хлебникова Ф. Б. Оценка эффективности цитологической диагностики злокачественных новообразований легких // Сибирское медицинское обозрение. – 2014. – № 3. – С. 65–69.