

КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДА БИНАРИЗАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ АНАЛИЗОВ

Приводятся результаты исследования основных методов бинаризации изображений применительно к различным изображениям лабораторных медицинских анализов. На основании этого предлагаются критерии выбора оптимального метода бинаризации.

Введение

Одной из важных задач при исследовании фотоснимков лабораторных медицинских анализов является выделение объектов интереса (ОИ), например, для подсчета их количества, анализа формы. Во многих случаях первой процедурой обработки изображения является бинаризация, после которой пиксели изображения могут принимать одно из двух значений: 0 – пиксел черного цвета или 1 – пиксел белого цвета.

Цель данного исследования – разработка правила выбора оптимального метода бинаризации для изображений, содержащих объекты интереса различного вида.

Для исследований были выбраны цветные изображения формата bmp разрешением 300 dpi, которые преобразуются в полутоновые изображения и помещаются в память как матрица размерностью $M \times N$, соответствующая размерности исходного изображения. Каждый элемент матрицы содержит информацию о яркости соответствующего пикселя. Далее к полутоновым изображениям применяется процедура бинаризации.

Исследования проводились по следующим методам бинаризации.

Бинаризация отсечением по порогу яркости

Для исследований была выбрана бинаризация с нижним порогом, реализованная согласно правилу:

$$f'(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \leq t; \\ 1, & f(m, n) > t, \end{cases}$$

где $f(m, n)$ – яркость пикселя на исходном изображении; $f(m, n) \in [0.2^k - 1]$, $f'(m, n)$ – значение пикселя результирующего изображения; $f'(m, n) \in [0, 1]$, t – порог бинаризации.

Любая точка изображения, для которой выполняется условие $f(m, n) > t$, называется точкой объекта, а в противном случае – точкой фона [1].

Метод Отса

В этом методе вычисляется порог t , минимизирующий среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону. Значения яркостей пикселей изображения рассматриваются как случайные величины, а их гистограмма – как оценка плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный порог для сегментации изображения на два класса c_0 и c_1 (объекты и фон) [2].

Исследования основывались на следующем: изображение представляется с помощью L уровней яркости; h_i – число элементов изображения, имеющих яркость i , $i = 0, 1, \dots, L-1$; N – общее число пикселей на изображении; гистограмма изображения является нормализованной и ее можно рассматривать как распределение вероятностей:

$$p_i = \frac{h_i}{N}, i = 0, 1, \dots, L-1; \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1.$$

Элементы изображения делятся на два класса c_0 и c_1 с помощью порогового значения t , где класс c_0 содержит пиксели с яркостями из множества $(0, 1, \dots, t)$, а класс c_1 – пиксели с яркостями из множества $(t, t+1, \dots, L-1)$. Вероятности каждого из этих двух классов и средние значения их яркости описываются выражениями:

$$P_0 = \sum_{i=0}^t p_i = P_t, \quad P_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_t, \quad \mu_0 = \sum i p_i / P_0 = \mu_t / P_t, \quad \mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / P_1 = (\mu_T - \mu_t) / (1 - P_t),$$

где $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$ означает среднюю яркость всего изображения.

Метод Бернсена

Все изображение делится на квадраты $r \times r$ (r – нечетное) с центром в точке (m, n) . Для каждого пикселя изображения в пределах квадрата используется порог, имеющий значение

$$t(m, n) = \frac{j_{\text{high}} + j_{\text{low}}}{2},$$

где j_{high} и j_{low} являются соответственно наименьшим и наибольшим уровнем яркости в квадрате. Если в принятой области используемая мера контраста удовлетворяет условию

$$G(m, n) = (j_{\text{high}} - j_{\text{low}}) \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная пороговая величина, то исследуемый квадрат содержит объекты только одного класса: объектов или фона [3].

Наилучшие результаты были получены при $\varepsilon = 15$ и $r = 15$.

Метод Эйквеля

В этом методе используются два окна r и R , из которых большее по размерам (окно R) служит для вычисления значения порога, в то время как меньшее (окно r) определяет область изображения, в которой будет использоваться полученный порог. Оба окна перемещаются параллельно по изображению с шагом, равным размеру меньшего окна r , и каждый раз для всех элементов окна R вычисляется оптимальный порог по методу Отса. Если вычисленные средние значения μ_0 и μ_1 различаются сильно и для них выполняется условие $|\mu_0 - \mu_1| \geq \varepsilon$, где ε – заданный параметр, то пиксели внутри окна r подвергаются бинаризации в соответствии с вычисленным порогом t . Если же $|\mu_0 - \mu_1| < \varepsilon$, то все пиксели внутри окна r относятся к классу с ближайшим средним значением [4]. Были использованы следующие значения параметров: $r = 3 \times 3$, $R = 15 \times 15$ и $\varepsilon = 15$.

Метод Ниблэка

В данном методе для каждого пикселя изображения используется свое значение порога. Величина порога определяется на основе вычисления локального среднего и локального среднеквадратического отклонения. Значение порога в точке с координатами (m, n) вычисляется в соответствии с формулой:

$$t(m, n) = \mu(m, n) + k \cdot \sigma(m, n),$$

где $\mu(m, n)$ – среднее, а $\sigma(m, n)$ – среднеквадратичное отклонение в локальной окрестности точки изображения (m, n) [5].

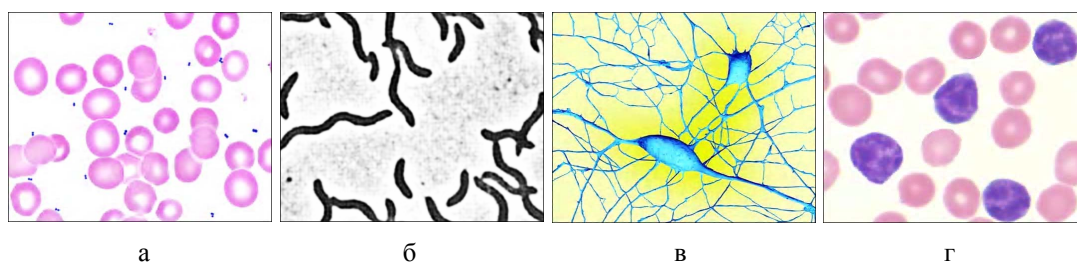
Размер окрестности пикселя был выбран $r = 15 \times 15$, а $k = -0.2$.

Для реализации рассмотренных методов была написана программа на C++.

Результаты исследований

Исследования проводились со следующими классами изображений (рис.1).

Изображения, содержащие ОИ в виде объектов округленной формы однородного цвета, расположенных на однотонном фоне (рисунок, поз.а); изображения, на которых ОИ представлены в виде объектов, отличающихся от остальных элементов изображения размером, цветом и контрастностью (рисунок, поз.б, в); изображения, на которых ОИ представлен объектом, распределенным по всему изображению в виде сети (рис.1,г).



Шпорообразные спириллы (а); бактерии стрептококка пневмонии – точечные объекты повышенной контрастности (б); увеличенные тромбоциты при острой лимфоцитарной лейкемии (в); нейроны Пуркинье (г)

Применение для изображений на рисунке, поз.а,б,в метода отсечения по порогу яркости со значениями порога 0,3, 0,5, 0,7, 0,9 показало, что наилучший результат достигается при пороге яркости 0,5 – фон становится белым, шум на изображении практически отсутствует, а объекты интереса становятся более контрастными. При других значениях порога яркости на полученном изображении остаются элементы фона, заметны другие элементы исходного изображения, иногда наблюдаются искажения формы ОИ. Для изображения на рисунке, поз.г наилучшие результаты достигнуты при значении порога яркости 0,7 – фон стал белым, и все фрагменты ОИ остались на изображении без искажений.

Применение метода Отса дало хорошие результаты для изображения на рисунке, поз.а – цвет фона стал белым, а ОИ стали равномерно окрашенными. Для изображений на рисунке, поз.б,в,г этот метод применять нельзя, поскольку на результирующем изображении остаются и ОИ, и элементы фона, а также другие объекты исходного изображения.

Метод Бернсена не показал положительных результатов ни с одним из изображений, представленных на рисунке. На изображении остались фрагменты фона, ОИ получились сильно искаженными.

Метод Эйквеля показал хорошие результаты только с изображением на рисунке, поз.г. Все фрагменты ОИ сохранились без искажений, фон стал белым.

Метод Ниблэка не дал положительных результатов ни с одним из использованных изображений. ОИ получились искаженными, фон был сильно зашумлен.

Эффективность использованных методов бинаризации предлагается оценивать следующим образом: «хорошо» – ОИ без искажений, фон – белого цвета, без шума; «удовлетворительно» – ОИ без искажений, но фон зашумлен; «плохо» – ОИ с искажениями, фон зашумлен. Результаты исследований отражены в таблице.

Результаты исследований методов бинаризации

Изображение на рисунке	Методы бинаризации и их результаты							
	Отсечением по порогу яркости				Метод Отса	Метод Бернсена	Метод Эйквеля	Метод Ниблэка
	0,3	0,5	0,7	0,9				
Поз., а	плохо	хорошо	удовл.	удовл.	хорошо	плохо	удовл.	плохо
Поз., б	плохо	хорошо	плохо	плохо	плохо	плохо	плохо	плохо
Поз., в	плохо	хорошо	плохо	плохо	плохо	плохо	удовл.	плохо
Поз., г	плохо	плохо	хорошо	плохо	плохо	плохо	хорошо	плохо

Выводы

Практическая значимость проведенных исследований заключается в разработке рекомендаций по выбору метода бинаризации, оптимального для используемых изображений. Так, для бинаризации изображений, на которых объекты интереса имеют гладкую форму однородного цвета, целесообразно выбирать или метод Отса, или

метод отсечения по порогу яркости, значение которого рекомендуется взять 0,5. Для изображений, на которых объекты интереса отличаются повышенной контрастностью по сравнению с остальными объектами изображения и фона, рекомендуется применять бинаризацию отсечением по порогу яркости со значением 0,5 в случае, если ОИ имеют небольшие размеры по сравнению с другими объектами на изображении. В том случае, когда размеры ОИ больше, чем у остальных элементов изображения, рекомендуется воспользоваться методом Отса. Бинаризацию изображений с ОИ в виде распределенной структуры целесообразно проводить по методу Эйквеля или по методу отсечения по порогу яркости, значение которого рекомендуется взять 0,7.

Дальнейшим направлением работ может быть исследование эффективности различных методов фильтрации применительно к рассмотренным изображениям.

Литература: 1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 2. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. 1979. Vol. 9, no. 1. P. 62–66. 3. Bernsen J. Dynamic thresholding of grey-level images Proc. Eighth Int'l Conf Pattern Recognition, 1986. P. 1, 251–1, 255, Paris. 4. Eikvil L., Taxt T., and Moen K. A fast adaptive method for binarization of document images Proc. First Int'l Conf Document Analysis and Recognition, 1991. P. 435–443, Saint-Malo, France. 5. Niblack W. An Introduction to Digital Image Processing, 1986. P. 115–116. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

Поступила в редколлегию 28.11.2010

Янковский Александр Аркадиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61276, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-354.

Бугрий Андрей Николаевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61276, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-354.