

УДК 004.93`1; 004.932

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ РАСТРОВЫХ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Н. Самойлов, В. Р. Петренко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: seticom@yandex.ru

Процесс оконтуривания и выделения фрагментов интереса может быть реализован на основе различных подходов. Особенно удобным представляется использование методов пороговой бинаризации полутоновых растровых изображений, полученных из цветных растровых изображений. В идеальном случае определение перепада яркости полутонового изображения не представляет проблемы. Ошибки в процессе распознавания идентифицируемых фрагментов являются причиной появления большого числа методов бинаризации. Предлагаются результаты сравнительного анализа наиболее применяемых глобальных методов бинаризации с целью фрагментации растровых изображений на основе количественного сравнения эффективности методов бинаризации: RenyiEntropy, MaxEntropy, MinError(I), Otcu, Shanbhadg, Triangle, Huang, IsoData, Li, Mean, Moments, Percentile, Yen, Intermodes, Minimum.

Ключевые слова: глобальная бинаризация, цифровое цветное изображение, цифровой фильтр, распознавание, сегментация.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛОБАЛЬНИХ МЕТОДІВ БІНАРИЗАЦІЇ РАСТРОВИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

А. М. Самойлов, В. Р. Петренко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: seticom@yandex.ru

Процес оконтурювання та виділення фрагментів інтересу може бути реалізований на основі різних підходів. Особливо зручним є використання методів порогової бинаризації напівтонових растрових зображень, отриманих з кольорових растрових зображень. В ідеальному випадку визначення перепаду яскравості напівтонового зображення не є проблемою. Помилки у процесі розпізнавання фрагментів, що ідентифікуються, визвали появу значної кількості методів бинаризації. Пропонуються результати порівняльного аналізу найбільш вживаних глобальних методів бинаризації з метою фрагментації растрових зображень на основі кількісного порівняння ефективності методів бинаризації: RenyiEntropy, MaxEntropy, MinError(I), Otcu, Shanbhadg, Triangle, Huang, IsoData, Li, Mean, Moments, Percentile, Yen, Intermodes, Minimum.

Ключові слова: глобальна бинаризація, цифрове кольорове зображення, цифровий фільтр, розпізнавання, сегментація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Прикладные задачи обработки цветных растровых изображений, востребованные на современном этапе развития информационного общества, связаны с извлечением информации из растровых документов во всех сферах человеческой деятельности – научной, образовательной и т.д.

Под сегментацией изображения понимается процесс его разбивки на составные части, имеющие содержательный смысл: фрагменты, их границы или другие информативные характеристики, характерные геометрические особенности и др. Эффективная сегментация упрощает задачу достоверной оценки параметров фрагментов – кандидатов для последующей классификации.

Процесс распознавания фрагментов цветных растровых изображений может быть реализован путём выполнения следующих этапов [1]:

1. Предобработка изображения, включающая шумоподавление, коррекцию контрастности/яркости и цветового баланса.

2. Оконтуривание областей и выделение на изображении фрагментов – кандидатов, которые могут содержать искомый фрагмент. Это возможно как с применением сегментации на однородные области, так и на основе проверки всех возможных фрагмен-

тов изображения, что требует более сложного подхода к распознаванию. Критичным является случай определения параметров в наложенных или искажённых фрагментах.

3. Классификация фрагментов на основе параметров.

4. Распознавание фрагмента изображения на основании идентификации по некоторому набору признаков определённого класса.

Принципы формирования отдельного отсчёта результата на основе совокупности элементов отсчётов исходного сигнала в алгоритмах цифровой обработки могут быть следующими: точечные, локальные и глобальные. При этом имеют место значительные различия в количестве базовых операций, необходимых для достижения результирующего отсчёта в растровом изображении [2].

Точечные преобразования – обработка каждого элемента исходных данных производится независимо от соседнего. Отсчет результата – функция от одного отсчета исходного сигнала, с совпадающими номерами отсчетов сигнала и результата. Затраты на вычисления для матрицы размером $N \times N$:

$$Q_m = N^2 (BO), \quad (1)$$

т.е. квадрат базовых операций.

Локальные преобразования формируют каждый элемент матрицы или вектор результата как функцию от множества соседних элементов матрицы или вектора отсчетов исходного сигнала, составляющих некоторую локальную окрестность. Затраты на вычисления для матрицы размером $N \times N$ и размера окна оценки соседних элементов $m \times m$ составляет:

$$Q_m = N^2 m^2 (BO), \quad (2)$$

где под базовой операцией понимается выполнение заданного преобразования для отдельного отсчета исходных сигналов.

Глобальное преобразование предусматривает формирование каждого отсчета результата как функции от всей совокупности отсчетов исходного сигнала и некоторого множества, меняющихся от одного отсчета результата к другому по определенному правилу коэффициентов, составляющих так называемое ядро преобразования. В случае обработки одномерного исходного сигнала глобальное преобразование можно определить как:

$$Y_i = F(G_i, X), \quad (3)$$

где $X = [x_0, x_1, x_2, \dots, x_n]$, $i = 0, N-1$, G_i – изменяемое ядро преобразования.

Вычислительная сложность глобального преобразования в общем случае при обработке двумерного сигнала составляет:

$$Q_m = N^4 (BO), \quad (4)$$

где под базовой операцией понимается выполнение заданного преобразования вида (3) для отдельного элемента исходных данных.

Таким образом, наиболее трудоёмким является глобальное преобразование, предусматривающее формирование отсчёта результата как функции от всей совокупности отсчётов исходного изображения, наименее трудоёмким – точечное преобразование, базовые операции которого достаточно просты и наименее громоздки.

Количество базовых операций локального преобразования зависит не только от размера изображения, но и от размера окна сканирования результирующего отсчёта.

Рассматривая оконтуривание областей и выделение фрагментов на растровых цветных изображениях, стоит отметить, что фрагментация возможна на основе достаточно большого числа методов [3]. Обнаружение перепадов (порогов) на основе группы методов выделения границ с использованием свойств первой и второй производной по яркости предшествуют, например, методу градиентов, пороговым методам [1].

Пороговая фрагментация сравнивает значение яркости каждого пикселя с некоторым порогом. Особенно удобным представляется использование методов пороговой бинаризации полутоновых растровых изображений при условии преобразования цветных растровых изображений в полутоновые. Алгоритмы бинаризации изображения рассматривают пороговые значения яркости $V_T(x, y)$ каждого пикселя $V(x, y)$. Больше, чем пороговое значение яркости пикселя, даёт на бинарном изображении

белый пиксель, или, в противном случае, черный соответственно. Принцип построения пороговой поверхности, которой является матрица размерностью $M \times N$, определяет методы глобальной и локальной бинаризации, где каждая ячейка матрицы задает порог яркости бинаризации для соответствующего пикселя на исходном изображении.

В идеальном случае перепад яркости чёрно-белого и цветного изображения, переведённого для сокращения количества обрабатываемых данных в полутоновое изображение, не представляет проблемы для определения.

Большое количество ошибок процесса бинаризации для зашумленных или малоконтрастных растровых изображений, например, отсканированных изображений или однородных материалов с небольшой яркостной разницей деталей, связано с разнообразием и неоднозначным трактованием идентифицируемых фрагментов в процессе распознавания. Это вызвало появление большого числа методов бинаризации.

Наличие значительного числа методов для решения какой-либо задачи всегда приводит к появлению проблемы выбора наилучшего метода для решения конкретной задачи в конкретных реальных условиях.

Цель данной работы – исследование эффективности глобальных методов бинаризации растровых изображений и формулирование рекомендаций по их применению.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Чтобы облегчить решение упомянутой выше проблемы, авторы данной работы предлагают на основе данных литературных источников и некоторых экспериментальных исследований выполнить сравнительный анализ наиболее распространённых методов по их применимости для решения тех или иных задач фрагментации в тех или иных конкретных условиях.

Анализируется эффективность следующих известных методов глобальной бинаризации: RenyiEntropy и MaxEntropy [4], MinError(I) [5], Отсу [6], Shanbhag [7], Triangle [8], Huang [9], IsoData [10], Li [11], Mean [12], Moments [13], Percentile [14], Yen [15], Intermodes [11], Minimum [17].

Любой метод фрагментации можно считать эффективным в случае выполнения нескольких очевидных условий получения результирующих отсчётов: минимальные или приемлемые вычислительные затраты, степень точности обработки структуры и границы фрагмента, корректная обработка наложенных или искажённых фрагментов, наличие автоматически устанавливаемых параметров, наконец, малая степень влияния шума и качества исходного цветного растрового изображения.

Большое количество методов фрагментации пороговой обработки позволяют уверенно выделять фрагменты с бимодальной гистограммой, что характерно для достаточно контрастных изображений, которая используется для выделения тех или иных объектов с применением методов корректировки ошибок.

В методах глобальної бінаризації порогова поверхня являється плоскістю з постійним значенням порогової яркості і розраховується в околицях пікселя на основі деяких глобальних ознак всього зображення.

Експериментальне дослідження ефективності глобальних методів бінаризації для фрагментації растрових кольорових зображень було проведено на зображеннях, отриманих на інтерферометрі МІІ-4, з наступним перетворенням к полутоновому восьмибитному растровому зображенню.

На рис. 1,а і рис. 2 представлені фотографії препаратів пилецьких рослин для ситуацій обробки полутонового восьмибитного растрового зображення з нерівномірним фоном (рис. 1,а) і контрастним полутоновим восьмибитним растровим зображенням (рис. 2). Порядок розмірності інтересуючих фрагментів становить 50–70 мк.

Для дослідження стійкості методів бінаризації к зашумленим зображенням, т.е. якості обробки меж фрагментів і правильності захоплення областей інтереса, полутонове восьмибитне растрове зображення було змінено додаванням імпульсного шуму «сіль і перець» (Salt and Pepper), шуму Гаусса со стандартною відхиленням в трьох варіантах: 10, 18, 25. Шум «сіль і перець» (Salt and Pepper) заміняє в зображенні 2,5 % чорних пікселів і 2,5 % білих пікселів, а шум Гаусса вносить спотворення пропорційно вказанній відхиленню.

Методи бінаризації оцінювалися окремо для випадку обробки полутонового восьмибитного растрового зображення з нерівномірним фоном (рис. 1,а) і для полутонового 8-бітного растрового зображення без шумів (рис. 2), з використанням шуму «сіль і перець» (Salt and Pepper) і шуму Гаусса с раніше вказаною величиною стандартної відхилення.

Для дальнішої оцінки якості використовувалися еталонні зображення (рис. 1,б і рис. 3) і наступні показники: S_{S0} – загальна площа будь-яких фрагментів для еталона; S_{SN} – загальна площа будь-яких фрагментів n-методу; S_{E0} – мінімальна площа обраного фрагмента, вибрана по еталону (400 для рис. 3 і 1000 – для рис. 1,б); N_{E0} – кількість знайдених фрагментів для еталона при умові $S_{E0} = 400$ для рис. 3, $S_{E0} = 1000$ для рис. 1,а; N_{en} – кількість знайдених фрагментів для n-методу при умові $S_{Fn} \geq S_{E0}$; S_{F0} – площа фрагмента області інтереса для еталона; S_{fn} – площа фрагмента області інтереса для n-методу; S_{A0} – площа всіх фрагментів еталона за виключенням фрагментів області інтереса: $S_{A0} = S_{S0} - S_{F0}$; S_{an} – площа всіх фрагментів n – методу за ис-

ключенням фрагментів області інтереса: $S_{an} = S_{SN} - S_{fn}$.

Для кількісної порівняльної оцінки використовується показник якості Q_n для n-методу глобальної бінаризації, вираховується як сума *відносительних* показників модуля різниці критерія оцінки n-методу і еталона. Відносительні показники розраховувалися по критеріям:

– загальної площі всіх оброблених фрагментів, виключаючи область інтереса: $|S_{an} - S_{A0}| / S_{A0}$;

– площі фрагментів області інтереса, вибраних для характеристики якості: $|S_{fn} - S_{F0}| / S_{F0}$;

– кількості отриманих фрагментів після бінаризації: $|N_{en} - N_{E0}| / N_{E0}$.

Таким чином, показник якості для n-методу:

$$Q_n = |S_{an} - S_{A0}| / S_{A0} + |S_{fn} - S_{F0}| / S_{F0} + |N_{en} - N_{E0}| / N_{E0}, \quad (5)$$

де $S_{A0} = S_{S0} - S_{F0}$, $S_{an} = S_{SN} - S_{fn}$.

Вибірка кількості урахування фрагментів N_{en} вироблялася для площі більше або рівної площі S_{E0} для фрагментів еталона (рис. 1,б і рис. 3): $S_{fn} \geq S_{E0}$

Показник якості враховує відносительну різницю обробки по вищеописаним трьом критеріям в порівнянні з еталоном для кожного з варіантів вихідного зображення і має мінімальне значення для методу з найкращими можливостями обробки.

В табл. 1 наведені значення показника якості Q_n після експериментальної обробки фрагментів визначеного типу вихідного зображення вищеописаними методами.

В табл. 2 наведені результати досліджень с ранжуванням по величині показника якості Q_n . Мінімум значення означає найкращу порівняльну оцінку результатів обробки фрагментів вищеописаними методами, кожне більше значення – порівняльно погіршене якість обробки.

Якщо метод не зміг правильно обробити фрагмент або порушив відношення фону к фрагментам, то оцінка не виставлялася.

Таким чином, відсутність оцінки в таблиці означає крайню незадовільну обробку фрагментів растрових зображень.

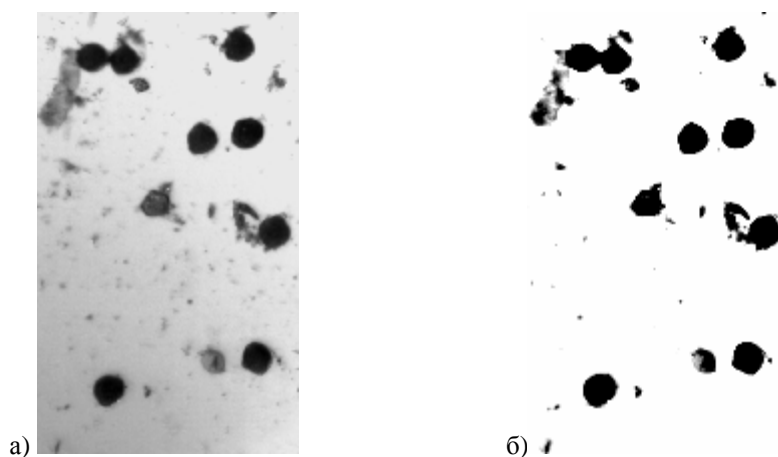


Рисунок 1 – Полутонове восьмибитне растрове зображення:
а) с неравномерным фоном; б) эталонное полутоновое восьмибитное растровое изображение

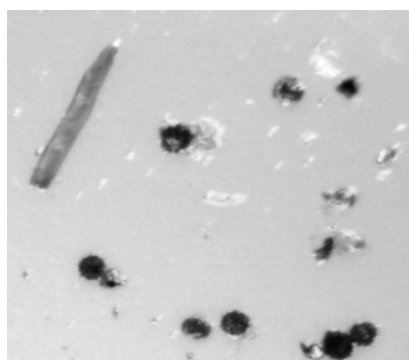


Рисунок 2 – Полутоновое восьмибитное растровое изображение без шума



Рисунок 3 – Эталонное полутоновое восьмибитное растровое изображение

Таблица 1 – Величина показателя качества для рассматриваемых методов глобальной бинаризации Q_n

Метод глобальной бинаризации	Полутоновое восьмибитное растровое изображение с неравномерным фоном	Полутоновое восьмибитное растровое изображение без шума	Влияние шума на качество методов глобальной бинаризации			
			Шум «соль и перец»	Шум Гаусса со стандартной девиацией		
				10	18	25
Huang	–	4,413	–	5,513	–	–
Intermodes	–	0,959	–	0,237	0,400	0,306
IsoData	–	2,642	–	3,077	2,758	8,890
Li	–	0,146	–	0,373	0,892	0,900
MaxEntropy	3,686	7,441	7,515	6,561	3,758	1,220
Mean	–	–	–	–	–	–
MinError(I)	–	10,208	8,448	14,167	–	–
Minimum	–	–	–	4,017	4,856	5,127
Moments	–	2,777	2,143	6,770	–	–
Otsu	–	2,777	0,838	3,382	2,758	–
Percentile	–	–	–	–	–	–
RenyiEntropy	3,863	6,664	11,232	6,381	2,584	1,701
Shanbhag	6,812	–	–	–	–	–
Triangle	–	10,419	10,334	8,350	4,500	3,309
Yen	3,807	7,441	–	6,561	2,509	0,306

Таблиця 2 – Результати ранжирования методов глобальной бинаризации по качеству обработки

Метод глобальной бинаризации	Полутонное восьмибитное растровое изображение с неравномерным фоном	Полутонное восьмибитное растровое изображение без шума	Влияние шума на качество методов глобальной бинаризации			
			Шум «соль и перец»	Шум Гаусса со стандартной девиацией		
				10	18	25
Huang	–	5	–	6	–	–
Intermodes	–	2	–	1	1	1
IsoData	–	3	–	3	5	0
Li	–	1	–	2	2	2
MaxEntropy	1	7	3	8	6	3
Mean	–	–	–	–	–	–
MinError(I)	–	8	4	11	–	–
Minimum	–	–	–	5	8	6
Moments	–	4	2	9	–	–
Otsu	–	4	1	4	5	–
Percentile	–	–	–	–	–	–
RenyiEntropy	3	6	6	7	4	4
Shanbhag	4	–	–	–	–	–
Triangle	–	9	5	10	7	5
Yen	2	7	–	8	3	1

ВЫВОДЫ. В результате проведенных экспериментов выявлена группа методов глобальной бинаризации с устойчиво хорошими качественными показателями на исследуемых изображениях: RenyiEntropy, Triangle, MaxEntropy, Yen, Otsu, Moments, MinError(I).

Часть этих методов (Otsu, Moments, MinError(I)) требуют более качественной предварительной обработки растрового изображения.

Методы RenyiEntropy, MaxEntropy, Yen показали относительную устойчивость при обработке изображения с зональной неравномерностью яркости.

С зашумленными изображениями хорошие достижимые качественные показатели в процессе сегментации фрагментов цветных растровых изображений показали методы RenyiEntropy, Triangle, MaxEntropy.

С монотонными областями яркости, при наличии шумов, хорошие достижимые качественные показатели в процессе выделения фрагментов цветных растровых изображений показали методы RenyiEntropy, Triangle, MaxEntropy. Методы Otsu, Moments после предварительной обработки цветного растрового изображения также способны к эффективной обработке.

Требуемая предварительная обработка, кроме преобразования цветного растрового изображения в полутонное восьмибитное растровое изображение, должна включать ослабление неравномерности фона, повышение контрастности и меры по снижению шума.

Остаются неправильно обработанными случаи наложения и сближения фрагментов изображения. Другими словами, процесс подготовки требует определения конфигурации фрагмента в местах его наложения с другими объектами. Ни один исследованный алгоритм бинаризации не смог интерпрети-

ровать зоны наложения объектов, в связи с этим дальнейшие исследования следует посвятить методам обработки изображений с наложенными фрагментами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ., под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Очин Е.Ф. Вычислительные системы обработки изображений. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1989. – 136 с.
3. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. – М: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Kapur J.N., Sahoo P.K. and Wong A.K.C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram // Computer Vision, Graphics and Image Processing. – 1985. – № 29. – PP. 273–285.
5. Kittler J. and Illingworth J. Minimum error thresholding // Pattern Recognition. – 1986. – Vol. 19, №1. – PP. 41–47.
6. Otsu N. A thresholding selection method from graylevel histogram // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. – 1979. – № 9. – PP. 62–66.
7. Shanbhag, Abhijit G. Utilization of information measure as a means of image thresholding // Graph. Models Image Process. (Academic Press, Inc.). – 1994. – № 56 (5). – PP. 414–419.
8. Zack G.W., Rogers W.E., Latt S.A. Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency // J. Histochem. Cytochem. – 1977. – № 25 (7). – PMID 70454 – PP. 741–753.

9. Huang L-K and Wang M-J.J. Image thresholding by minimizing the measure of fuzziness // *Pattern Recognition*. – 1995. – № 28 (1). – PP. 41–51.

10. Ridler T.W. and Calvard S. Picture thresholding using an iterative selection method // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. – 1978. – № 8. – PP. 630–632.

11. Sezgin M. and Sankur B. Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation // *Journal of Electronic Imaging*. – 2004. – № 13 (1). – PP. 146–165.

12. Glasbey C.A. An analysis of histogram-based thresholding algorithms // *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*. – 1993. – № 55. – PP. 532–537.

13. Tsai W. Moment-preserving thresholding: a new approach // *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. – 1985. – № 29. – PP. 377–393.

14. Doyle W. Operation useful for similarity-invariant pattern recognition // *Journal of the Association for Computing Machinery*. – 1962. – № 9. – PP. 259–267.

15. Yen J.C., Chang F.J., Chang S. A New Criterion for Automatic Multilevel Thresholding // *IEEE Trans. on Image Processing*. – 1995. – № 4 (3). – PP. 370–378.

16. Prewitt J.M.S. and Mendelsohn M. L. The analysis of cell images // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 1966. – № 128. – PP. 1035–1053.

COMPARISON GLOBAL METHODS AND ALGORITHMS RECOGNITION OF FRAGMENTS OF COLOR IMAGE

A. Samoilo, V. Petrenko

Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskiy State University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: seticom@narod.ru

The ROI fragments bounding and separation can be implemented by different approaches. The most appropriate is usage of threshold binarization methods for grayscale bitmap images derived from the color bitmap images. Ideally, the determination of the differential brightness grayscale image is not a problem. Recognition errors of the fragments identifiable are caused by a large number of binarization methods. The authors of this paper offer the comparative analysis of such most used global binarization methods to the fragmentation of bitmap images based on a quantitative comparison of the effectiveness of methods for binarization as RenyiEntropy, MaxEntropy, MinError (I), Otsu, Shanbhag, Triangle, Huang, IsoData, Li, Mean, Moments, Percentile, Yen, Intermodes, Minimum.

Key words: global binarization, digital color image, digital filter, pattern recognition, segmentation.

REFERENCES

1. Gonsales R., Vuds R. *Cifrovaya obrabotka izobrazheniy*: Per. s angl./ Pod red. Chochia P.A. – M.: Texnosfera, 2005. – 1072 p. [in Russian]

2. Ochin E.F. *Vychislitelnie sistemy obrabotki izobrazheniy*. – L.: Energoatomizdat, Leningr. otd., 1989. – 136 p. [in Russian]

3. Pytyatin E.P., Averin S.I. *Obrabotka izobrazheniy v robototekhnike*. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 320 p. [in Russian]

4. Kapur J.N., Sahoo P.K. and Wong A.K.C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram // *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. – 1985. – № 29. – PP. 273–285.

5. Kittler J. and Illingworth J. Minimum error thresholding // *Pattern Recognition*. – 1986. – Vol. 19, №1. – PP. 41–47.

6. Otsu N. A thresholding selection method from graylevel histogram // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*. – 1979. – № 9. – PP. 62–66.

7. Shanbhag, Abhijit G. Utilization of information measure as a means of image thresholding // *Graph. Models Image Process. (Academic Press, Inc.)*. – 1994. – № 56 (5). – PP. 414–419.

8. Zack G.W., Rogers W.E., Latt S.A. Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency // *J. Histochem. Cytochem.* – 1977. – № 25 (7). – PMID 70454 – PP. 741–753.

9. Huang L-K and Wang M-J.J. Image thresholding by minimizing the measure of fuzziness // *Pattern Recognition*. – 1995. – № 28 (1). – PP. 41–51.

10. Ridler T.W. and Calvard S. Picture thresholding using an iterative selection method // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. – 1978. – № 8. – PP. 630–632.

11. Sezgin M. and Sankur B. Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation // *Journal of Electronic Imaging*. – 2004. – № 13 (1). – PP. 146–165.

12. Glasbey C.A. An analysis of histogram-based thresholding algorithms // *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*. – 1993. – № 55. – PP. 532–537.

13. Tsai W. Moment-preserving thresholding: a new approach // *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. – 1985. – № 29. – PP. 377–393.

14. Doyle W. Operation useful for similarity-invariant pattern recognition // *Journal of the Association for Computing Machinery*. – 1962. – № 9. – PP. 259–267.

15. Yen J.C., Chang F.J., Chang S. A New Criterion for Automatic Multilevel Thresholding // *IEEE Trans. on Image Processing*. – 1995. – № 4 (3). – PP. 370–378.

16. Prewitt J.M.S. and Mendelsohn M. L. The analysis of cell images // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 1966. – № 128. – PP. 1035–1053.

Стаття надійшла 29.05.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Оксаничем А.П.