

# ЗАХИСТ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ / SOFTWARE & HARDWARE ARCHITECTURE SECURITY

DOI: [10.18372/2225-5036.23.12094](https://doi.org/10.18372/2225-5036.23.12094)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

Любовь Рябова, Яна Мазур, Наталия Вишневецкая

*Национальный авиационный университет*



**РЯБОВА Любовь Владимировна**

*Год и место рождения:* 1975 год, г. Житомир, Украина.  
*Образование:* Киевский институт инженеров гражданской авиации, 1999 год.  
*Должность:* ассистент кафедры средств защиты информации с 2004 года.  
*Научный интерес:* биометрическая идентификация.  
*Публикации:* 20 научных статей, тезисы и патенты на изобретения.  
*E-mail:* [lubanau@ukr.net](mailto:lubanau@ukr.net)



**МАЗУР Яна Сергеевна**

*Год и место рождения:* 1984 год, Донецкая обл. г. Волноваха, Украина.  
*Образование:* Национальный авиационный университет, 2006 г.  
*Должность:* ассистент кафедры компьютеризованных систем защиты информации с 2006 г.  
*Научные интересы:* биометрическая идентификация.  
*Публикации:* 20 научных статей, тезисы и патенты на изобретения.  
*E-mail:* [Yana\\_YS@ukr.net](mailto:Yana_YS@ukr.net)



**ВИШНЕВСКАЯ Наталия Сергеевна**

*Год и место рождения:* 1977, г. Киев, Украина.  
*Образование:* Киевский международный университет гражданской авиации.  
*Должность:* старший преподаватель кафедры безопасности информационных технологий.  
*Научные интересы:* информационная безопасность, биометрическая идентификация.  
*Публикации:* 7 научных публикаций, включая материалы и тезисы докладов на конференциях, статьи в специализированных научных журналах.  
*E-mail:* [nsvyshnevskaya@gmail.com](mailto:nsvyshnevskaya@gmail.com)

**Аннотация.** В статье анализируется проблема бинаризации цветного изображения радужки, для задачи идентификации пользователя систем контроля и управления доступом. Обсуждаются современные версии классических методов бинаризации изображений, модель которых описывается случайным нерегулярным полем цветности (яркости). Предобработка включает: выравнивание общего яркостного фона изображения, ликвидацию на исходном изображении высокочастотных помех и различного рода артефактов, выполнение (в случае необходимости) контрастирования, бинарного и других функциональных преобразований. Но при всех этих преобразованиях одним из важнейших показателей должно быть сохранение максимального числа особых элементов исходной информации. Определены перспективные направления дальнейших исследований в области распознавания изображений радужной оболочки глаза. В качестве тестовых данных использованы изображения из открытой базы данных CASIO.

**Ключевые слова:** бинаризация, сегментация, радужная оболочка глаза, строма, мера контраста.

## Введение

Одной из основных задач в области компьютерного зрения является задача извлечения информации из изображений. Как правило, исходное изображение искажено шумами аппаратуры сканирования, дискретизации или каналов передачи данных, в результате чего, изображения имеют неравномерную яркость и контрастность. Это приводит к разрывам линейных объектов, маскировке сложных объектов анализа, что приводит к большому числу ошибок и отказов, особенно автоматических систем идентификации и распознавания. Предобработка включает: выравнивание общего яркостного фона изображения, ликвидацию на исходном изображении высокочастотных помех и различного рода артефактов, контрастирование бинарного изображения и других функциональных преобразований. Применительно к системам идентификации личности, основанным на анализе геометрических характеристик объекта, содержащихся в изображении (отпечаток пальца, радужная оболочка глаза, лицо, изображение кисти руки и так далее), очень часто на стадии предобработки выполняется так называемая бинаризация исходного полутонового изображения, которая трансформирует исходное полутоновое изображение в бинарное, оставляя при этом интересные нас объекты и удаляя шум и ненужную информацию о цвете и яркости. Для систем, работающих в реальном масштабе времени (real-time systems), другой важнейшей задачей стадии предобработки является поиск в исходном сигнале полезной информации. Тогда как вторичная обработка включает процессы сегментации и кодирования, причем выходное описание исходного информационного образа должно быть максимально приспособлено для хранения, передачи и анализа всех допустимых решений.

Для того чтобы обрабатывать изображения, необходимо разбить его на элементы. Сегментацией изображения называют разбиение изображения на области или сектора, отличающиеся друг от друга по каким-либо признакам. При решении задач обработки изображений и компьютерного зрения, сегментация играет важную роль. Область – это множество четырех или восьмисвязных пикселей при определении «соседства» в соответствии с выбранным признаковым пространством. Обычно пиксели, которые соответствуют одной и той же области, имеют какие-либо схожие параметры (цвет, яркость и т.п.). Выбор исходного описания объектов является одной из центральных задач проблемы идентификации. При удачном выборе исходного описания (пространства признаков) задача распознавания может оказаться тривиальной и, наоборот, неудачно выбранное исходное описание может привести либо к очень сложной дальнейшей переработке информации, либо вообще к отсутствию решения.

## Общая постановка проблемы

При решении задачи идентификации личности по изображению радужной оболочки глаза (РОГ) большое влияние оказывает выбор алгоритма бинаризации, поскольку обычно только результаты работы алгоритма бинаризации используются в алго-

ритмах маркировки связанных областей, что является неотъемлемой частью решения задачи сегментации. Выбор алгоритма бинаризации влияет на алгоритмы, применяемые далее для анализа изображения. Правильный выбор алгоритма бинаризации позволит использовать более простые и эффективные топологии и классификации, более быстрые методы сегментации и существенно повлияют на точность результата анализа изображения. Выделяют следующие виды алгоритмов бинаризации изображения:

- адаптивная бинаризация;
- обработка с постоянным порогом;
- методы бинаризации на основе гистограмм (как правило, гистограммы содержат функцию яркости от количества точек с соответствующей яркостью).

Распознавание, как правило, применяется именно для растрового типа изображений, поскольку векторное изображение является способом представления определенных объектов, основанным на использовании элементарных геометрических объектов. Это подразумевает содержание непосредственно в формате хранения векторного изображения информации об этих объектах: их фактического расположения, параметров формы, цвета. Все это в подавляющем большинстве случаев избавляет от необходимости проводить бинаризацию изображения РОГ и операцию сегментации изображений.

**Сравнение алгоритмов бинаризации РОГ.** Естественно, что среди широкого круга задач, связанных с проблемой достоверной бинаризации и сегментации, особый интерес представляет цветовой анализ РОГ человека. Ведь именно радужка, в силу своей природной уникальности, позволила реализовать высоконадежные системы информационной безопасности. Самым общим показателем, описывающим РОГ, является ее цвет. Цвет глаз – характеристика, определяемая пигментацией радужной оболочки, которая состоит из переднего – мезодермального, и заднего – эктодермального слоёв. Передний слой состоит из наружного пограничного отдела и стром. В нём распределены хроматофоры, содержащие меланин. От характера распределения пигментов в этом слое и зависит цвет глаза. В заднем слое содержится много заполненных пигментных клеток и независимо от цвета глаз, задний слой всегда имеет темный цвет. Не углубляясь в специфику классификации по результатам цветового гистограммного анализа можно с уверенностью утверждать, что объект исследования (изображение РОГ) по своей природе описывается моделью случайного негладкого (нерегулярного) малоконтрастного поля. Для удобства сравнения различных цветных изображений РОГ они представлены в единых градациях серого (рис.1.а), а на рис.1.б представлен цветовой профиль каждой РОГ(i). Даже беглый визуальный анализ цветового (яркостного) профиля подчеркивает сравнительно низкий уровень контраста.

Если хорошо известный метод J.G. Daugman [1], основан на сравнении вейвлетных описаний текстурных особенностей РОГ, то настоящая работа посвящена применению только локальных данных о морфологической структуре волокнистого отдела радужки, так называемой строме.

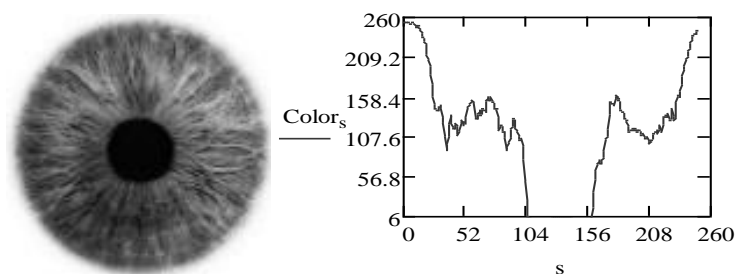


Рис. 1.а - Исходное изображение РОГ(i) в градациях серого

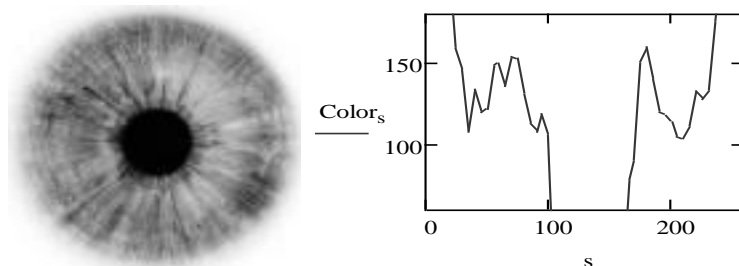


Рис. 1.б - цветовой профиль РОГ(i) для диапазона Colors = (0-260)

Для распознавания объектов в задаче идентификации личности используются как цветные, так и черно-белые изображения РОГ. В первом подходе мы можем получить больше информации об объекте, в то время как второй – может облегчить обработку изображений РОГ по времени и скорости. В такой ситуации хватит и черно-белого, так как обработка будет проходить на определении границы между фоном и объектом. Для этого, будет приниматься алгоритм преобразования изображения из цветного в шкалу серых тонов (Grayscale), что позволит исключить влияние возможного разброса условий при регистрации РОГ.

Алгоритм сканирует все изображение, где каждый пиксель конвертируется из RGB в HLS цветовую модель. Затем понижаем Насыщенность (Saturation) с 100 до 1 и опять переводим назад. Перевод происходит по следующим уравнениям:

$$H = \arcsin \sqrt{(3/2) * (G - R) / S} ; L = (R + G + B) / 3 ;$$

$$S = \sqrt{(R^2 + G^2 + B^2 - B * G - B * R - G * R)} ;$$

$$R = L - 1/3 * S * \cos(T) - 1/\sqrt{3} * S * \sin(T) ;$$

$$G = L + 2/3 * S * \cos(T) ;$$

$$B = L - 1/3 * S * \cos(T) + 1/\sqrt{3} * \sin(T) ,$$

где H – тон (Hue); L – яркость (Lightness); S – насыщенность (Saturation); R – красный (Red); G – зеленый (Green); B – синий (Blue). В WinApi существуют готовые функции для перевода ColorRGBToHLS и ColorHLSToRGB, которые были задействованы в программе.

Адаптивную бинаризацию можно рекомендовать для обработки полутоновых изображений невысокого качества, на которых из-за неравномерности фона обычная бинаризация дает плохие результаты. В отличие от обычной бинаризации, когда все области изображения бинаризируются с использованием единого установленного пользователем порога, при выполнении адаптивной бинаризации программа анализирует различные области изображения. Функция сглаживания результирующего раstra при

адаптивной бинаризации позволяет получить удовлетворительный результат без использования дополнительных фильтров.

Для каждого пикселя изображения  $I(x, y)$  :

1. В окрестности пикселя радиуса  $r$  высчитывается индивидуальный для данного пикселя порог  $T$ ;
2. Если  $I(x, y) > T + C$  результат 1, иначе 0.

Варианты выбора  $T$  :  $T = mean$  ;  $T = median$  ;

$$T = (\min + \max) / 2 .$$

**Метод Niblack** [4]. Простота метода Ниблэка локальной адаптивной бинаризации позволяет достичь высокую скорость обработки изображений. Метод используется на практике для быстрой фильтрации контрастных изображений, на которых отсутствуют сильно зашумленные области с плавными переходами яркости. Идея данного метода состоит в варьировании порога яркости  $T$  бинаризации от точки к точке на основании локального значения стандартного отклонения. Порог яркости в точке  $(x, y)$  рассчитывается так:  $T = m + k * s$   $T = m + k * s$ , где  $m, s$  – среднее и стандартное отклонение выборки для некоторой окрестности точки. Размер окрестности должен быть минимальным, но таким, чтобы сохранить локальные детали изображения. В то же время размер должен быть достаточно большим, чтобы понизить влияние шума на результат. Значение  $k$  определяет, какую часть границы объекта взять в качестве самого объекта. Значение  $k = 0,2$  задает достаточно хорошее разделение объектов, если они представлены черным цветом, а значение  $k = +0,2$  – если объекты представлены белым цветом.

В местах плавного перехода яркости метод дает ложные объекты с небольшим шумом. Метод получил свое распространение на практике благодаря его интеграции с этапом постпроцессинга. При этом скорость обработки падает в 3 раза, и количество ошибок сокращается на 20% [2].

**Метод Sauvola** [2]. Улучшенный метод Ниблэка, предотвращающий наложение шума на объект и да-

ющий более точное отделение объекта от фона. Согласно данному методу изображение обрабатывается с помощью концентрического окна с радиусом  $R$ . Обычно форма окна принимается квадратной. Оно последовательно слева направо сверху вниз накладываются на изображение с шагом равным диаметру. Для окна рассчитывается порог по формуле:  $T = m * (1 - k * (1 - (s / R)))$ , где  $k$  определяет, что есть объект. Является константой и принимает часто значение 0,5.  $R$  – радиус обработки изображения, динамическая величина, которая обычно равна 128. Значения  $s$  и  $m$  описаны выше. Метод Sauvola может превзойти по быстротедействию Niblack применяя только для обработки четких и контрастных изображений, но есть трудности с изображениями, у которых зафиксировано недостаточно освещения, особенно когда значения пикселей объекта находятся близко друг к другу. При обработке тонких пересекающихся линий могут возникать разрывы, поэтому метод хорош для толстых линий и крупных объектов.

**Метод Chistian.** Чтобы преодолеть выше сказанную проблему, есть метод Chistian. Тут предлагается определить местное пороговое значение, нормализуя контраст и шум изображения следующим образом:  $T = (1 - k) * m + k * M + k * (s / R) * (m - M)$ , где  $k = 0,5$ ;  $M$  – минимальное серое значение всего изображения и  $R$  – максимальное среднеквадратичное отклонение серого значения из локального окна, которые вычисляемы из гистограммы. Этот подход достигает лучших результатов бинаризации среди трех методов локального порогового значения, описанные выше. Однако, производительность метода Chistian значительно ухудшается, когда есть заметные изменения серого фоновых значений по всему изображению.

**Метод Bernsan [3].** Часто используется метод Бернсена. Для схематических и картографических изображений.

Для каждого пикселя  $(x, y)$  выбирается порог яркости:  $T = (T_{max} - T_{min}) / 2$ , где  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  – соответственно, самый низкий и самый высокий уровень яркости пикселей из квадратной окрестности пикселя  $(x, y)$ . Если уровень контраста (разность самого высокого уровня и самого низкого уровней) превышает некоторый порог, то пиксель считается либо белым, либо черным. Для всего изображения этот порог контраста является константой и должен подбираться интерактивно.

Имеет ряд недостатков: после обработки монотонных областей яркости формируются сильные паразитные помехи, в некоторых случаях приводит к появлению ложных черных пятен. Недостатки могут быть компенсированы с помощью дополнительной обработки – постпроцессинга. Метод является наиболее быстрым среди остальных, даже в совокупности с этапом постпроцессинга.

**Метод гистограмм.** Формируется гистограмма на основе яркостей точек изображения и количества точек с определенной яркостью. Гистограмма нормализуется, и строится кумулятивная гистограмма, для каждого значения которой строятся с использованием нормализованной гистограммы еще две гистограммы: по энтропии черного цвета и по

энтропии белого цвета. На основе гистограмм, построенных по энтропиям черного и белого цвета, определяется значение максимальной суммы, и выбирается соответствующий порог бинаризации. Далее происходит пороговая бинаризация для найденного значения порога.

### Результаты сравнения алгоритмов

Достаточно сложно сравнивать непосредственно результат работы алгоритмов бинаризации по данным анализа изображения целым комплексом алгоритмов, в которых алгоритмы бинаризации применяются. Один из подходов, используемых при сравнении результата работы таких типов алгоритмов, был взят на вооружение в работах [3-7] и основывался на бинарном сравнении работы метода с эталонным результатом с помощью F-меры (F-measure) как определенный аналог расстояния Левенштейна [8], применяемого при анализе печатного текста. Для получения сравнимых оценок различных алгоритмов использовались пять групп по 10 изображений различных цветов (карие, голубые, синие, серые, зеленые), которые подвергались воздействию бинаризации. Этап предварительной обработки (фильтрация, удаление артефактов, нормализация контраста) проводился согласно рекомендаций [9] для всех образцов, что в конечном результате производить усреднение  $F$ -меры.

Основными проблемами, с которыми сталкиваются методы, использующие средние значения серого цвета, а именно свойства гистограммы, являются: ошибочное разделение объекта от фона и ошибочное объединение объекта с каким-либо другим объектом. Все эти проблемы успешно решаются при применении описанных алгоритмов.

Результаты сравнения алгоритмов по параметру F-меры Таблица 1

Алгоритм	Значение F-меры
Метод Niblack	0,2967
Метод Sauvola	0,3254
Метод Chistian	0,3385
Метод Bernsan	0,4272
Метод гистограмм	0,1946

Каждый из представленных методов имеет свои преимущества и недостатки. Следует отметить, что вследствие высокой вариабельности и слабой контрастности большинства малоконтрастных структур в настоящий момент отсутствуют автоматизированные системы обработки и анализа изображений, которые дают достоверные результаты.

На основании представленного обзора можно заключить, что эффективность указанных методов бинаризации для сегментации конкретного класса изображений можно выявить только экспериментальным путем.

### Выводы

Для совершенства данных алгоритмов еще необходимо проводить исследования. Работа по разработке новых алгоритмов бинаризации изображений, является попыткой решения не только проблем, существующих в распознавание образов, но и проблем, входящих в одну из областей информационных технологий – цифровую обработку изобра-

жений. А значит, имеет своей целью способствовать развитию информационных технологий.

### Литература

[1] J. Daugman, «Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition», *Int'l Journal of Wavelets, Multi-resolution and Information Processing*, Vol. 1, № 1, p 1-17, 2003.

[2] J. Sauvola, M. Pietikainen, «Adaptive document image binarization», *Pattern recognition* 33, p. 225-236, 2000.

[3] J. Bernsen, «Dynamic thresholding of grey-level images», *Proceedings of the Eighth ICPR*, pp. 1251-1255, 1986.

[4] W Niblack, «An Introduction to Image Processing», Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 115-116, 1986.

[5] S. Jarek, «Maximum Entropy Thresholding», [Online]. Available at, <http://ij-plugins.sf.net>

[6] А. Федоров, «Бинаризация черно-белых изображений: состояние и перспективы развития», Электронный ресурс, Режим доступа: <http://iu5.bms.tu.ru/~philippovicha/ITS/IST4b/ITS4/Fyodorov.htm>

[7] В. Вдовин, А. Муравьев, А. Певзнер, «Метод адаптивной бинаризации растрового изображения», *Ярославский педагогический вестник*, № 4, Том III, 2012.

[8] V. Levenshtein, «Binary codes capable of correcting deletions, insertions and reversals», *Sov. Phys. Dokl.*, 6, p. 707-710, 1966.

[9] Л. Рябова, С. Подгорний, Я. Мазур, «Пристрій для отримання зображення райдужної оболонки ока», Пат. 98230 України, МПК А61В 7/00, №u201410964 Заявл. 07.10.2014; Опубл.27.04.2015, Бюл. №8, 6 с.

### УДК 621.321 (045)

**Рябова Л.В., Мазур Я.С., Вишнеvsька Н.С. Порівняльний аналіз методів бінаризації зображень райдужної оболонки ока**

**Анотація.** У статті аналізується проблема бінаризації кольорового зображення райдужної оболонки ока, для задачі ідентифікації користувача систем контролю і управління доступом. Обговорюються сучасні версії класичних методів бінаризації зображень, модель яких описується випадковим нерегулярним полем кольоровості (яскравості). Передобробка включає: вирівнювання загального яркісного фону зображення, ліквідацію на оригінальному документі високочастотних перешиход і різного роду артефактів, виконання (у разі необхідності) контрастування, бінарного та інших функціональних перетворень. Але при всіх цих перетвореннях одним з найважливіших показників повинно бути збереження максимального числа особливих елементів вихідної інформації. Визначено перспективні напрями подальших досліджень в області розпізнавання зображень райдужної оболонки ока. В якості тестових даних використані зображення з відкритої бази даних Casio.

**Ключові слова:** бінаризація, сегментація, райдужна оболонка ока, волокно строми, міра контрасту.

**Ryabova L., Mazur Y., Vyshnevskaya N. Comparative analysis of binarization methods for images of eye iris**

**Abstract.** The article analyzes the problem of binarization of the color image of the iris, for the task of user identification of access control systems. Modern versions of classical methods of binarization of images, whose model is described by a random irregular color field (brightness), are discussed. Preprocessing includes: aligning the overall brightness of the image, eliminating high-frequency noise and various artifacts on the source image, performing (if necessary) contrasting, binary and other functional transformations. But with all these transformations, one of the most important indicators should be the preservation of the maximum number of special elements of the initial information. Prospective directions of the further researches in the field of recognition of images of an iris of the eye are determined. As test data images from the open database of CASIO were used.

**Key words:** binarization, segmentation, iris of eye, fibre of storms, measure of contrast.

Отримано 20 липня 2017 року, затверджено редколегією 12 жовтня 2017 року