

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ БИНАРИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

## Исрафилов Х.С. Email: Israfilov630@scientifictext.ru

Исрафилов Хидирнеби Сираждинович – студент,  
кафедра компьютерных систем и сетей, факультет информатики и систем управления,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

**Аннотация:** в данной статье рассматривается процесс бинаризации изображений. Исследуются различные виды и алгоритмы, такие как пороговые методы бинаризации, методы Оцу, Ниблэка, Бернсена, Эйквеля, Саувола, Кристиана. Приведены различные примеры бинаризации, достоинства и недостатки каждого из методов. В работе представлены алгоритмическое описание методов бинаризации. Проведены эксперименты по исследованию качественных показателей эффективности. Представлены результаты проведенных экспериментов, показывающие работу того или иного метода бинаризации.

**Ключевые слова:** адаптивные методы, пороговые методы, бинаризация, метод Оцу, метод Ниблэка, метод Бернсена, метод Эйквеля, метод Саувола, метод Кристиана.

## RESEARCH OF METHODS FOR BINARISATION OF IMAGES

### Israfilov H.S.

Israfilov Hidirnebi Sirazhdinovich – Student,  
DEPARTMENT COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS, FACULTY INFORMATICS AND MANAGEMENT SYSTEMS,  
BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MOSCOW

**Abstract:** the article considers the process for binarization of images. Reaserch various types and algorithms of binarization, such as threshold binarization methods, methods of Otsu, Niblek, Burnsen, Eykvel, Sauvol, Christian. Various Examples of binarization, advantages and disadvantages of each method are give. The algorithmic description of binarization methods is presented in the article. Experiments on the study of qualitative performance indicators were carried out. The results of the experiments, showing the operation of a particular method of binarization are presented.

**Keywords:** adaptive methods, threshold methods, binarization, Otsu's method, Niblec's method, Burnsen's method, Eikvel's method, Sauvol's method, Christian's method.

УДК 611.018.5

Процесс бинаризации представляет собой перевод цветного изображения или изображения в градациях серого в двухцветное черно-белое. Основной параметр данного преобразования – порог  $t$ , со значением которого затем сравнивается яркость всех. После сравнения, пикселю присваивается одно из двух возможных значений: 0 - «граница объекта» или 1 - «остальная область».

Общая схема бинаризации представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Общая схема бинаризации

Главной целью бинаризации является радикальное уменьшение количества информации, с которой приходится работать. Удачная бинаризация сильно упрощает последующую работу с изображением.

Существуют различные методы бинаризации, которые можно условно разделить на две группы:

- глобальные (пороговые);
- локальные (адаптивные) [4].

В глобальных методах бинаризации происходит работа со всем изображением сразу. В ходе работы находится порог бинаризации  $t$ , с помощью которого происходит деление на черное и белое, причем величина порога  $t$  остается неизменной в течение всего процесса бинаризации. К пороговым методам бинаризации относятся:

- бинаризация с нижним порогом;
- бинаризации с верхним порогом;
- бинаризация с двойным ограничением;
- неполная пороговая обработка;
- многоуровневое пороговое преобразование [1].

Одним из наиболее простых методов преобразования изображения является *бинаризация с нижним порогом*, в котором рассматривается лишь одно значение порога:

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, & F(m, n) \geq t, \\ 1, & F(m, n) < t. \end{cases} \quad (1)$$

Если в приведенной выше формуле для точки изображения выполняется первое условие, то такая точка является точкой объекта, если же выполняется второе условие, то точка будет точкой фона.

В некоторых случаях можно использовать вариант метода бинаризации с нижним порогом, в результате которого получается негатив исходного изображения. Такой метод называется *бинаризацией с верхним порогом* и представляется формулой:

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, & F(m, n) \leq t, \\ 1, & F(m, n) > t. \end{cases} \quad (2)$$

Если необходимо выделить определенные области, значения яркости пикселей в которых могут изменяться в определенном диапазоне, то применяется *метод бинаризации с двойным ограничением*. Такой метод называется бинаризацией с верхним порогом и представляется формулой:

$$F'(m, n) = \begin{cases} 0, & F(m, n) \geq t_1, \\ 1, & t_1 < F(m, n) \leq t_2, \\ 0, & F(m, n) > t_2. \end{cases} \quad (3)$$

Если необходимо получить наиболее простое для дальнейшего анализа изображение, то стоит применить *алгоритм неполной пороговой обработки*, в ходе которого изображение лишается фона со всеми его деталями, которые были на исходном изображении. Формула неполной пороговой бинаризации представлена ниже:

$$F'(m, n) = \begin{cases} F(m, n), & F(m, n) > t, \\ 0, & F(m, n) \leq t. \end{cases} \quad (4)$$

В случае, если необходимо получить изображение, которое содержит в себе сегменты, обладающие различной яркостью, можно применить *метод многоуровневого порогового преобразования*. Однако, при этом, полученное в ходе преобразования изображение уже не будет являться бинарным. Формула данного преобразования представлена ниже:

$$F'(m, n) = \begin{cases} 1, & F(m, n) \in D_1, \\ 2, & F(m, n) \in D_2, \\ \dots \\ n, & F(m, n) \in D_n, \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (5)$$

Пример преобразования исходного изображения методом пороговой бинаризации отображен на рисунках 2, 3.



Рис. 2. Исходное изображение

Пример после преобразования методом пороговой бинаризации отображен на рисунке 3.

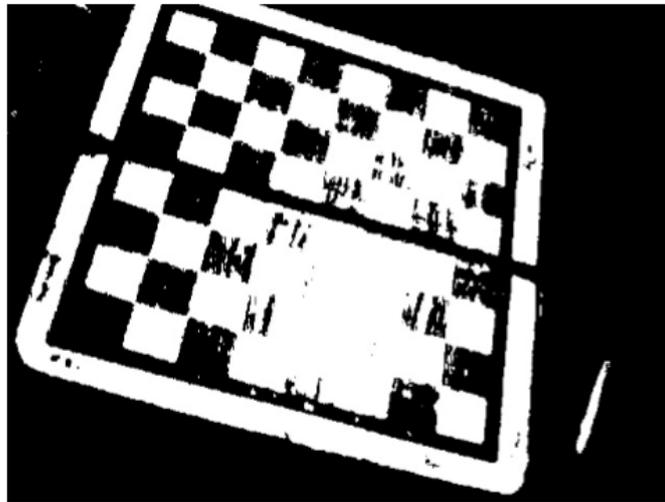


Рис. 3. Результат преобразования изображения методом пороговой бинаризации

Популярным методом глобальной бинаризации изображений является метод Оцу.

С помощью данного метода вычисляется порог  $t$ , минимизирующий среднюю ошибку сегментации, т.е. среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей изображения объекту или фону. Значения яркостей пикселей изображения можно рассматривать как случайные величины, а их гистограмму – как оценку плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный (в смысле минимума ошибки) порог для сегментации изображения на два класса  $s_0$  и  $s_1$  (объекты и фон).

Гистограмма строится по значениям  $p_i = \frac{ni}{N}$ . В данной формуле  $N$  – общее количество пикселей изображения с уровнем яркости  $i$ . Порог  $t$  представляет собой целое значение от 0 до  $L = \max$ . При помощи гистограммы все пиксели разделяются на «полезные» (объектные) и фоновые. Каждому виду соответствуют относительные частоты  $W_0$  и  $W_1$ :

$$W_0(t) = \sum_{i=1}^t p_i \quad (6)$$

$$W_1(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i = 1 - W_0(t). \quad (7)$$

Далее вычисляются средние уровни для каждого вида изображения по формулам:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^t \frac{ip_i}{W_0} \quad (8)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^L \frac{ip_i}{W_1} \quad (9)$$

Далее ищется порог, который уменьшает дисперсию внутри вида пикселей, определяемую следующей формулой:

$$\delta_W^2(t) = W_1(t)\delta_1^2(t) + W_2(t)\delta_2^2(t) \quad (10)$$

Следующим шагом определяется межклассовая дисперсия, по формуле, представленной ниже:

$$\sigma_{\text{кл}}^2(t) = W_0(t)W_1(t) * (\mu_1(t) - \mu_0(t))^2 \quad (11)$$

Затем вычисляется максимальное значение для оценки качества деления изображения на две части, которое соответствует искомому порогу:

$$\eta(t) = \max \left[ \frac{\sigma_{\text{кн}}^2(t)}{\sigma_{\text{кв}}^2(t)} \right] \quad (12)$$

Достоинствами метода Оцу являются:

- простота реализации;
- адаптация к различного рода изображениям, при помощи выбора оптимального порога;
- быстрое время выполнения.

На рисунках 4 и 5 изображено преобразование исходного изображения методом Оцу.

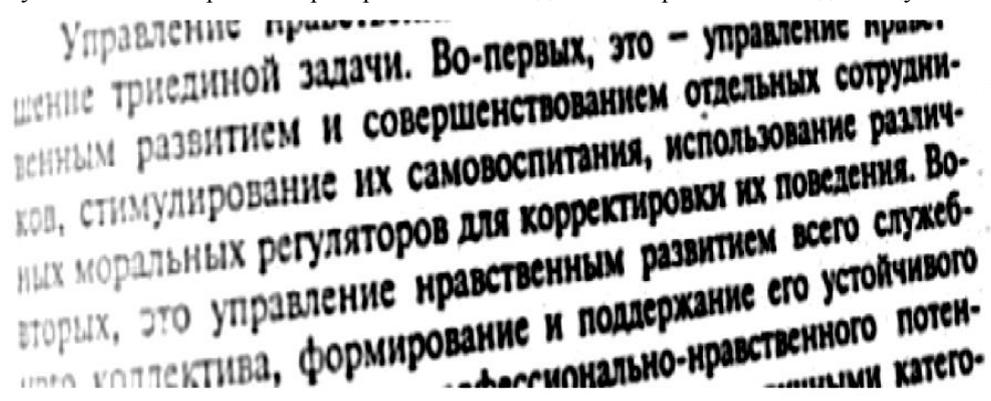


Рис. 4. Исходное изображение

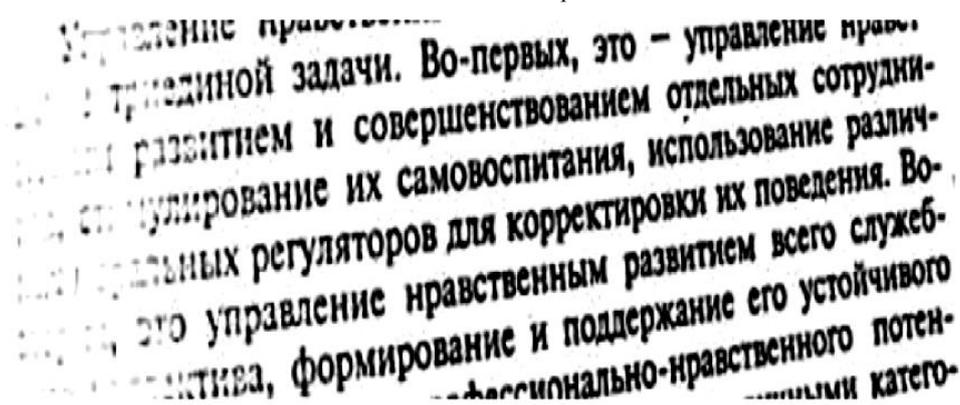


Рис. 5. Результат преобразования изображения методом Оцу

Локальные (адаптивные) методы бинаризации производят разбиение изображения на несколько областей, для каждой из которых необходимо вычислить порог, основываясь на информации об интенсивности пикселей.

Алгоритмы данного класса предполагают разбиение изображения на блоки определенного размера, при этом размер блока должен быть минимальным, но достаточным для сохранения исходных особенностей и деталей изображения. Однако при этом блоки должны быть настолько большими, чтобы шумы влияли на результат минимально. Функция сглаживания результирующего растра при адаптивной бинаризации позволяет получить удовлетворительный результат без использования дополнительных фильтров.

Рассмотрим наиболее популярные адаптивные методы бинаризации изображений:

- метод Ниблэка;
- метод Бернсена;
- метод Эйквеля;
- метод Саувола;
- метод Кристиана.

В *методе Ниблэка* для каждого пикселя изображения необходимо получить свое значение порога. Его величина определяется на основе вычисления локального среднего и локального среднеквадратического отклонения. Значение порога для точки с координатами  $(m, n)$  считается по следующей формуле:

$$t(m, n) = \mu(m, n) + k * \sigma(m, n) \quad (13)$$

В данной формуле  $\mu(m, n)$  представляет собой среднее,  $\sigma(m, n)$  – среднеквадратичное отклонение в локальной окрестности рассматриваемой точки изображения, а значение  $k$  определяет, какую именно часть границы объекта необходимо взять в качестве объекта.

Метод Ниблэка за счет своей простоты позволяет достичь наиболее высокую скорость бинаризации изображений. Метод используется на практике для быстрой фильтрации контрастных изображений, на которых практически отсутствуют сильно зашумленные участки с плавными переходами яркости.

На рисунке 5 показано применение метода Ниблэка для бинаризации изображения.

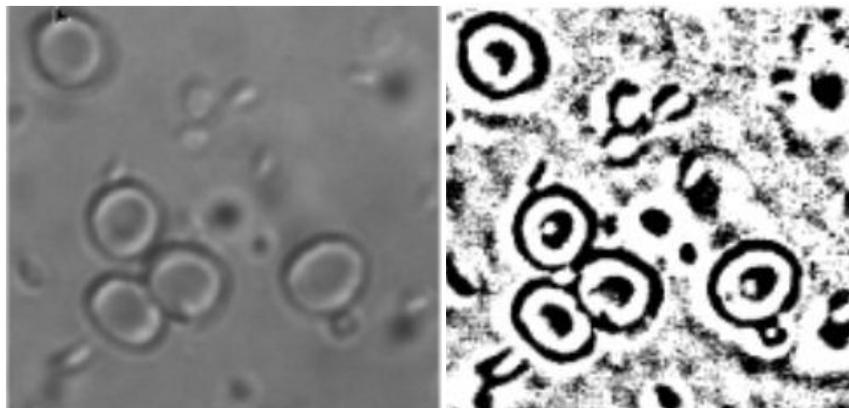


Рис. 5. Применение метода Ниблэка для бинаризации изображения

Метод Бернсена предполагает деление всего изображения на квадраты размером  $g \times g$ , имеющие центр в точке  $(m, n)$ . Каждый пиксель имеет порог в пределах квадрата, вычисляющийся по следующей формуле:

$$t(m, n) = \frac{J_{high} + J_{low}}{2} \quad (14)$$

В данной формуле  $J_{high}$  и  $J_{low}$  представляют собой наибольший и наименьший уровни яркости квадрата. Если текущий пиксель  $t(m, n) < \epsilon$ , где  $\epsilon$  представляет собой константу, изначально заданную пользователем, то пиксель будет относиться только к одному из видов: черному или белому.

Если среднее отклонение меньше порога контраста - то рассматриваемый пиксель становится того цвета, который задавался параметром «цвет сомнительного пикселя».

Данный метод имеет ряд недостатков: в полученном изображении при обработке однородных областей формируются достаточно сильные помехи, что в ряде случаев приводит к появлению ложных черных пятен. Эти недостатки могут компенсироваться за счет дополнительной обработки – постпроцессинга, и даже вместе с ним является наиболее быстрым. Метод может быть применен для схематических и картографических изображений [4].

Результаты применения метода Бернсена для бинаризации изображены на рисунке 6.

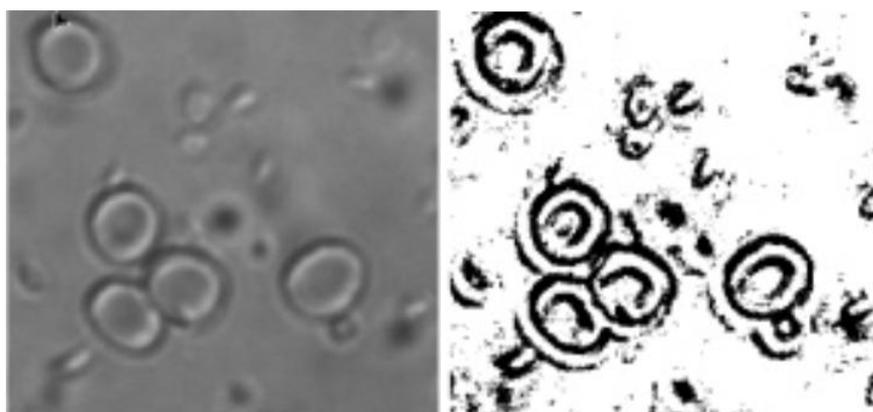


Рис. 6. Применение метода Бернсена для бинаризации изображения

Наиболее производительным методом является метод Эйквеля, зачастую применяемый для обработки четких или контрастных изображений. Суть данного метода заключается в том, что изображение обрабатывается при помощи двух concentрических окон: маленького –  $S$  и большого  $L$ . Окна имеют квадратную форму. Данные окна последовательно накладываются на изображение слева направо, сверху вниз, используя шаг в длину стороны маленького окна  $S$ . Для большого окна  $L$  рассчитывается порог  $B$  таким образом, чтобы пиксели можно было поделить на два кластера.

Если математические ожидания уровня яркости в двух кластерах имеют разницу, превышающую некоторый заданный пользователем уровень  $|\mu_1 - \mu_2| \geq t$ , то все пиксели внутри окна  $S$  бинаризируются в соответствии с порогом  $t$ . В противном случае, яркость пикселей из окна  $S$  заменяется значением, близким к исходному.

К методам локальной адаптивной бинаризации относится и *метод Саувола*. Определение локального порога бинаризации осуществляется с помощью прохождения всего изображения окном  $w \times w$ . В методе бинаризации Саувола порог  $t(x, y)$  определяется следующей формулой, используя для вычисления среднее значения  $m(x, y)$  и среднеквадратическое отклонение  $s(x, y)$  интенсивности пиксела в окне  $w \times w$  вокруг пиксела  $(x, y)$ :

$$t(x, y) = m(x, y) \left[ 1 + k \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right] \quad (15)$$

В данной формуле  $R$  представляет максимальное отклонение ( $R = 128$  для изображения в оттенках серого), а  $k$  является параметром, который принимает значения в диапазоне  $[0.2, 0.5]$ .

В методе Саувола есть понятие интегрального изображения. Интегральное изображение представляет собой изображение, у которого значение пикселей определяет сумму всех значений пикселей выше и левее позиции в исходном изображении. Единоразово посчитав интегральное изображение, можно найти среднее значение в окне, выполнив всего три арифметические операции, вместо суммирования всех пикселей в окне по формуле:

$$m(x, y) = \left( I \left( x + \frac{w}{2}, y + \frac{w}{2} \right) + I \left( x - \frac{w}{2}, y - \frac{w}{2} \right) - I \left( x + \frac{w}{2}, y - \frac{w}{2} \right) - I \left( x - \frac{w}{2}, y + \frac{w}{2} \right) \right) / w^2 \quad (16)$$

Далее вычисляется дисперсия, по следующей формуле:

$$s^2(x, y) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=x-\frac{w}{2}}^{x+\frac{w}{2}} \sum_{j=y-\frac{w}{2}}^{y+\frac{w}{2}} g^2(i, j) - m^2(x, y) \quad (17)$$

В данной формуле  $g(i, j)$  является значением пиксела в точке  $(i, j)$ .

Метод Саувола широко применяется к изображениям, в которых яркость изображения распределяется неравномерно. Однако, алгоритм Саувола менее устойчив к зашумленности исходного изображения, чем, к примеру, алгоритм Оцу. Также у метода имеются трудности с изображениями, у которых мало освещения, особенно в случаях, 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 [3].

Результаты применения метода Саувола для бинаризации изображения представлены на рисунках 7, 8.

Управление нравственным развитием триединой задачи. Во-первых, это — управление нравственным развитием и совершенствованием отдельных сотрудников, стимулирование их самовоспитания, использование различных моральных регуляторов для корректировки их поведения. Во-вторых, это управление нравственным развитием всего служебного коллектива, формирование и поддержание его устойчивого профессионально-нравственного потенциала.

Рис. 7. Исходное изображение

Управление нравственным развитием триединой задачи. Во-первых, это — управление нравственным развитием и совершенствованием отдельных сотрудников, стимулирование их самовоспитания, использование различных моральных регуляторов для корректировки их поведения. Во-вторых, это управление нравственным развитием всего служебного коллектива, формирование и поддержание его устойчивого профессионально-нравственного потенциала.

Рис. 8. Применение метода Саувола для бинаризации изображения

Чтобы преодолеть выше сказанную проблему, есть метод Кристиана. В нем предлагается определить местное пороговое значение, нормализуя контраст и шум изображения следующим образом:

$$T = (1 - k) * m + k * M + k * \left( \frac{s}{R} \right) * (m - M) \quad (18)$$

В данной формуле  $k = 0.5$ ,  $M$  — минимальное серое значение всего изображения и  $R$  максимальное среднеквадратичное отклонение серого значения из локального окна, которые вычисляются из гистограммы. Этот подход достигает одни из лучших результатов бинаризации среди методов локального значения, описанные выше. Однако, производительность метода Кристиана значительно ухудшается, если имеются заметные изменения серого фоновых значений по всему изображению.

Результаты применения метода Саувола для бинаризации изображения представлены на рисунке 9.



Рис. 9. Применение метода Кристиана для бинаризации изображения

В общем случае адаптивную бинаризацию можно рекомендовать в случае, если необходимо обработать для обработки полутоновых изображений невысокого качества (сканированных снимок), на которых из-за неравномерности фона обычная бинаризация дает плохие результаты.

Неудачи в процессе бинаризации могут привести к искажениям, таким, как разрывы в линиях, потеря значащих деталей, нарушение целостности объектов, появление шума и непредсказуемое искажение символов из-за неоднородностей фона [2].

Различные методы бинаризации имеют свои слабые места: так, например, метод Оцу может приводить к утрате мелких деталей и «слипанию» близлежащих символов, а метод Ниблэка грешит появлением ложных объектов в случае неоднородностей фона с низкой контрастностью. Из этого можно сделать вывод, что каждый из рассмотренных методов должен быть применен в определенной области, а также для каждой области могут быть разработаны более подходящие методы.

#### *Список литературы / References*

1. *Кравцова Т.А.* Сравнительное исследование методов адаптивной бинаризации в задаче автоматизированного анализа изображений клеток в иммуноцитохимии. Молодежный научно - технический вестник, 2015.
2. *Федоров А.* Бинаризация черно-белых изображений: состояние и перспективы развития. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://it-claim.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/ist4b/its4/fyodorov.htm/> (дата обращения: 21.05.2017).
3. *Хаустов Павел Александрович.* Алгоритмы распознавания рукописных символов на основе построения структурных моделей // КО. [Электронный ресурс], 2017. № 1. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/algoritmy-raspoznavaniya-rukopisnyh-simvolov-na-osnove-postroeniya-strukturnyh-modeley/> (дата обращения: 21.05.2017).
4. *Янковский Александр Аркадиевич, Бугрий Андрей Николаевич.* Критерии выбора метода бинаризации при обработке изображений лабораторных анализов // АСУ и приборы автоматики. [Электронный ресурс], 2010. № 153. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-metoda-binarizatsii-pri-obrabotke-izobrazheniy-laboratornyh-analizov/> (дата обращения: 21.05.2017).