

ЛЕКЦИЯ 2. БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Демидов Д.В.

Обработка аудиовизуальной информации.
Бакалавры, 6 семестр. Магистры, 9 семестр

План лекции

2

- Бинаризация изображений с постоянным и адаптивным порогом.
- Использование морфологических операций для бинарных и полутоновых изображений.

3

Цвет → Полутон

Обесцвечивание изображений

Преобразование в оттенки серого

4

- Для преобразования исходного изображения в изображение в градациях серого, необходимо получить его «яркость»-составляющую.
- В цветовой модели YUV это компонента Y.
- Достаточно рассчитать одну матрицу Y на основе исходного RGB изображения:

- ▣ Усреднение:

$$Y = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

- ▣ Photoshop:

$$Y = 0,3 \times R + 0,59 \times G + 0,11 \times B$$

- При съемке цифровой камерой особенно с длинными выдержками в первую очередь «шумит» синий канал

5

Полутон → Чёрно-белый

Глобальная бинаризация изображений

Адаптивная бинаризация изображений

Бинаризация изображений

6

- **Бинаризация** изображения (thresholding) – процесс преобразования полутонного изображения в бинарное изображение, т.е. изображение, в котором каждый пиксель может иметь только два цвета.
- Бинаризация помогает отделить объект от фона.
- Бинарное изображение, полученное в результате такого преобразования, искажается по сравнению с оригиналом:
 - ▣ Появляются разрывы и размытости на объектах
 - ▣ Возникают зашумления изображения в однородных областях
 - ▣ Теряется целостность структуры объектов.
- Все методы бинаризации разделяют на два вида - методы **глобальной** и **локальной** пороговой обработки.

Бинаризация с одним порогом

7

- Суть преобразования растровых изображений заключается в сравнительном анализе яркости текущего пикселя $P(x,y)$ с неким пороговым значением $P_T(x,y)$.
 - ▣ Если яркость текущего пикселя $P(x,y) > P_T(x,y)$,
 - ▣ то цвет пикселя на бинарном изображении будет белым,
 - ▣ иначе цвет будет черным.
- Пороговой поверхностью P_T является матрица, размерность которой соответствует размерности исходного изображения.
 - ▣ Постоянный порог соответствует ситуации, когда все значения элементов P_T совпадают. Т.е. бинаризация *глобальная*.
 - ▣ Непостоянный порог соответствует ситуации *локальной* (адаптивной) бинаризации.
- Порог может быть рассчитан исходя из гистограммы яркостей пикселей изображения. Например, как среднее значение.
- Подробнее: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=28600>

Глобальная бинаризация

8

- В методах **глобальной** обработки пороговая поверхность является плоскостью с постоянным порогом яркости, т.е. значение порога является одинаковым для всех пикселей исходного изображения.
- Глобальная пороговая обработка имеет существенный недостаток: если исходное изображение имеет неоднородное освещение, области, которые освещены хуже, целиком классифицируются как передний план.

Глобальная бинаризация с двумя порогами

9

- Иногда яркость объекта распределена в некоторой зоне.
- Вводятся нижний T_1 и верхний T_2 пороги;
- Решающее правило имеет вид:
 - Если яркость текущего пикселя $P(x,y) > P_{T_1}(x,y)$ и $P(x,y) < P_{T_2}(x,y)$,
 - то цвет пикселя на бинарном изображении будет белым,
 - иначе цвет будет черным.

Адаптивная бинаризация (локальная)

10

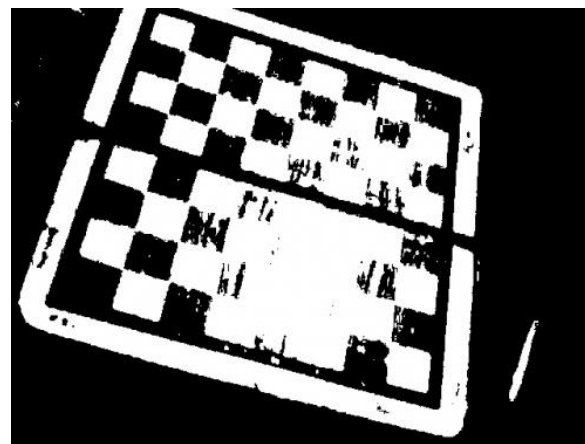
- В **локальных** (адаптивных) методах пороговое значение меняется для каждой точки исходя из некоторых признаков области, принадлежащей некоторой окрестности данной точки.
- Недостатком такого рода преобразований является низкая скорость работы алгоритмов, связанная с пересчетом пороговых значений для каждой точки изображения.

Примеры

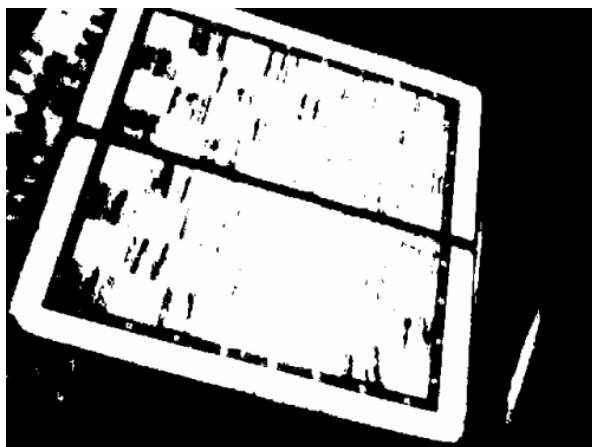
11



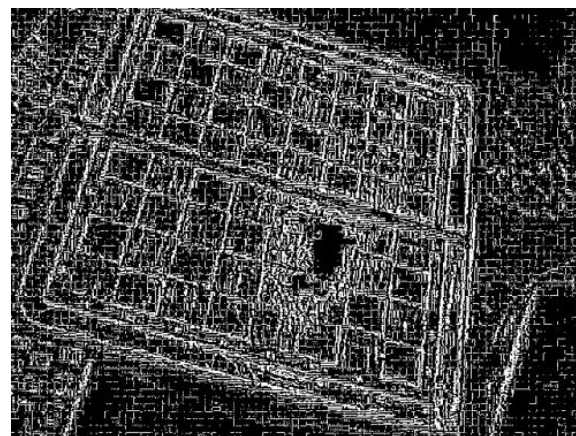
Исходное



Порог 128



С критерием Отсу

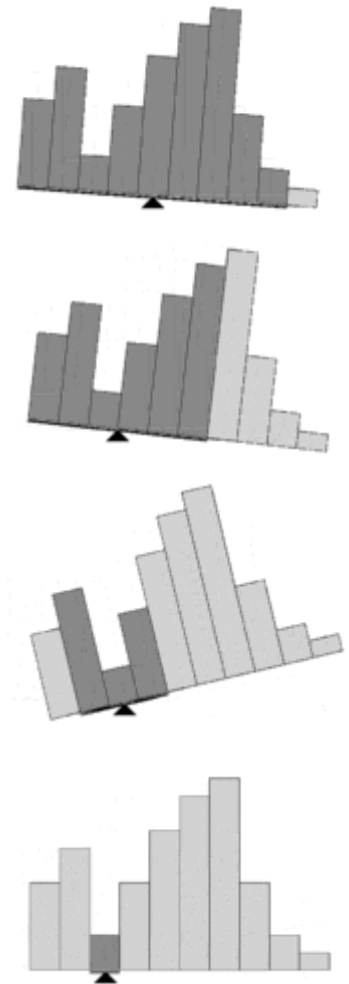


Адаптивное монохромное
преобразование

Алгоритм сбалансированного порогового отсечения гистограммы

12

- Метод основан на итеративном нахождении порогового значения, которое разделяет пиксели на два класса.
- Взвешиваются две равные доли гистограммы яркости. Если одна часть перевешивает, то из более тяжелой части удаляется наиболее крайний столбик.
- Взвешивание повторяется вновь. Итеративная процедура заканчивается, когда в гистограмме остается только один столбик.
- Соответствующее ему значение интенсивности выбирается в качестве порогового значения.



Глобальная бинаризация Отсу

13

- Метод также использует гистограмму распределения значений яркости пикселей растрового изображения.
- Пусть
 - ▣ N – это общее кол-во пикселей на изображении,
 - ▣ n_i – кол-во пикселей с уровнем яркости i .
- Тогда значения гистограммы определяются как:
$$p_i = \frac{n_i}{N}$$
- Порог бинаризации t подбирается итеративно от 0 до $L=255$ таким образом, чтобы:
 - ▣ минимизировать внутриклассовую дисперсию *или*
 - ▣ максимизировать межклассовую дисперсию *или*
 - ▣ максимизировать их отношение (след. слайд).

Глобальная бинаризация Отсу (2)

14

- Для выбранного порога t рассчитываются:
 - относительные частоты w для зон гистограммы слева и справа от t :
 - средние уровни M яркости в каждой зоне:
 - дисперсию классов D :
 - Внутрикласовая дисперсия $D_{общ}$ (взвешенная сумма дисперсий):
 - Межкласовая дисперсия $D_{кл}$:
- Для искомого порога значение оценки будет максимальным:

$$\begin{cases} w_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i \\ w_1(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i = 1 - w_0(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_0(t) = \sum_{i=0}^t \frac{i \cdot p_i}{w_0(t)} \\ M_1(t) = \sum_{i=t+1}^L \frac{i \cdot p_i}{w_1(t)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} D_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i (i - M_0(t))^2 \\ D_1(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i (i - M_1(t))^2 \end{cases}$$

$$D_{общ}(t) = w_0(t)D_0(t) + w_1(t)D_1(t)$$

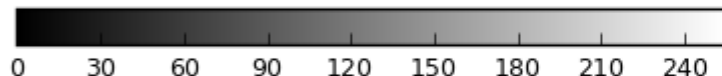
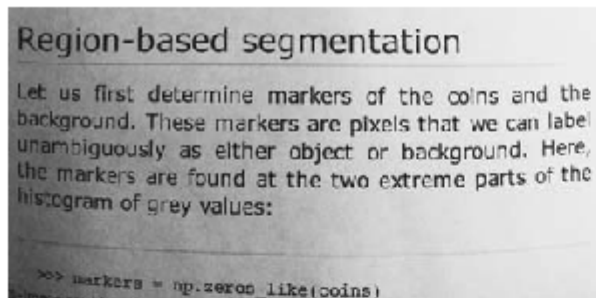
$$D_{кл}(t) = w_0(t)w_1(t)(M_0(t) - M_1(t))^2$$

$$\eta(t) = \max \left[\frac{D_{кл}(t)}{D_{общ}(t)} \right]$$

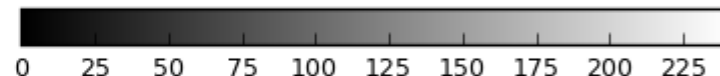
Примеры работы метода Отсу

15

Original

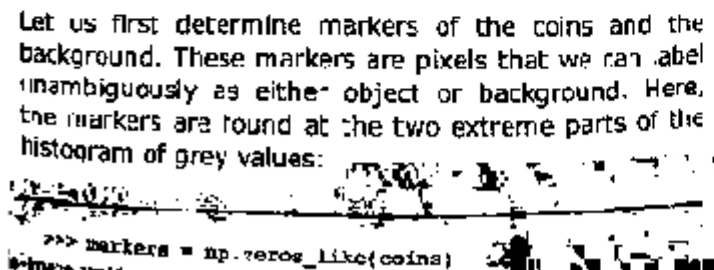


Local Otsu (radius=15)

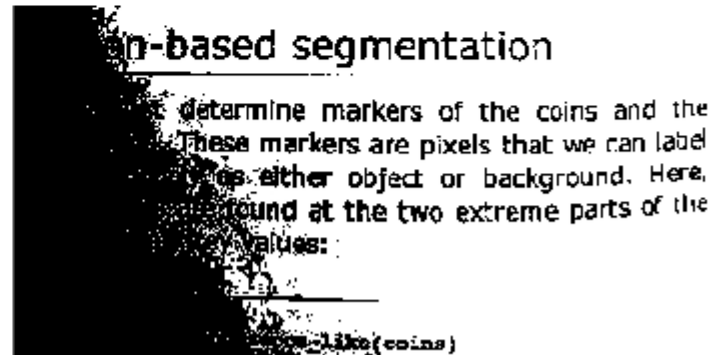


Original \geq Local Otsu

Region-based segmentation



Global Otsu (threshold = 157)



Примеры работы метода Отсу (2)

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.

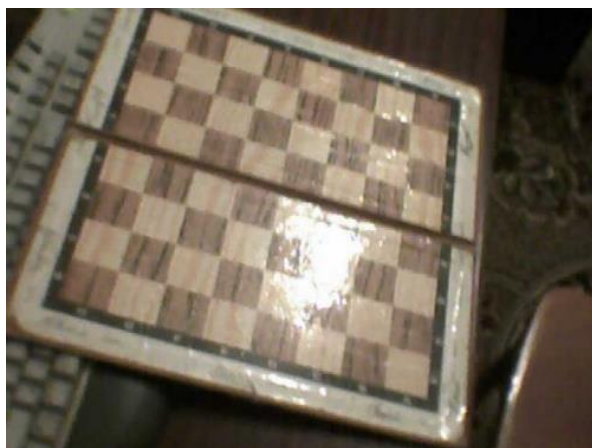
Управление нравственным развитием триединой задачи. Во-первых, это – управление нравственным развитием и совершенствованием отдельных сотрудников, стимулирование их самовоспитания, использование различных моральных регуляторов для корректировки их поведения. Во-вторых, это управление нравственным развитием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

Адаптивная бинаризация

Методы Ниблэка, Кристиана, Бернсена, Саувола, Эйквила, Брэдли и Рота, Яновица и Брукштейна

Примеры

18



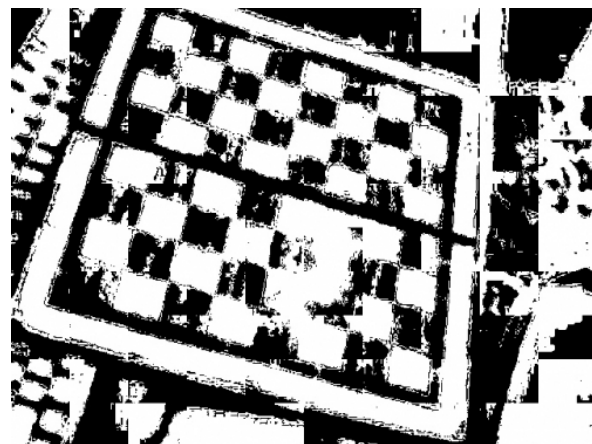
Исходное



АМФ с размером блока 25



АМФ с гауссианом

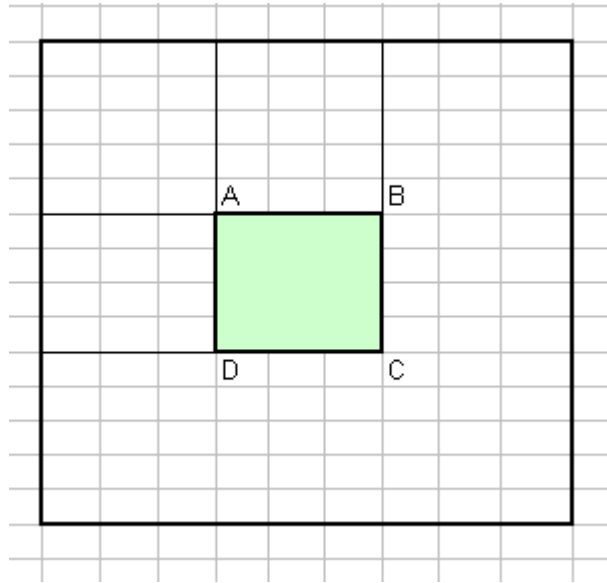


Пороговая + АМФ

Интегральное изображение

19

- Сумму яркостей внутри прямоугольника ABCD на изображении I можно выразить через суммы и разности смежных прямоугольников по формуле:
$$\text{Sum}(ABCD) = \Pi(C) - \Pi(B) - \Pi(D) + \Pi(A)$$



- Где Π – интегральное изображение для I

Интегральное изображение (2)

20

- Интегральное представление изображения — это матрица, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения.
- Элементы этой матрицы рассчитываются по формуле:
$$II(x,y) = \sum I(i,j),$$
 где $I(i,j)$ — яркость пикселя исходного изображения.
- То есть, каждый элемент интегрального изображения $II(x,y)$ содержит в себе сумму пикселей изображения в прямоугольнике от $(0,0)$ до (x,y) .
- Расчет интегрального изображения II можно производить по рекуррентной формуле:
$$II(x,y) = I(x,y) - II(x-1,y-1) + II(x,y-1) + II(x-1,y)$$
- Интегральное изображение используется для быстрого вычисления яркости заданных участков изображения (в вейвлет-преобразованиях, фильтрах Хаара, расчёте дескрипторов (SURF)).

Адаптивная бинаризация Бернсена

21

- Для каждого пикселя вычисляется скользящее среднее последних s пикселей.
 - ▣ Если значение текущего пикселя на t процентов ниже среднего,
 - ▣ то на соответствующем бинарном изображении оно устанавливается как черное,
 - ▣ иначе значение устанавливается как белое.
- Проблемы:
 - ▣ Результат зависит от порядка прохода пикселей.
 - ▣ Требуется s просмотров каждого пикселя.
 - ▣ Скользящее среднее не слишком хорошо аппроксимирует окружающие пиксели. Лучше использовать окно с квадратной апертурой.

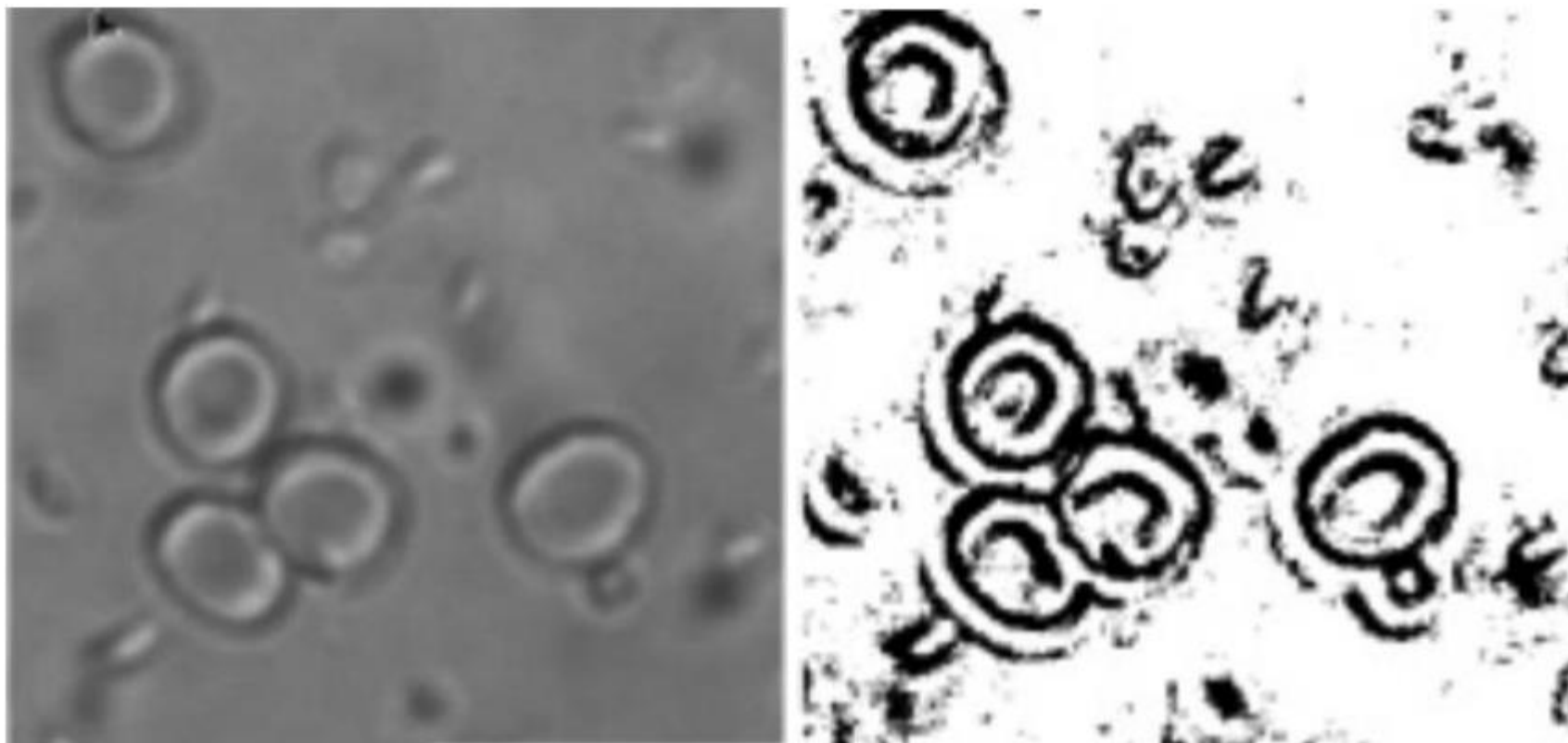
Улучшенный метод Бернсена

22

- На первом проходе по изображению вычисляется интегральное изображение.
- На втором проходе для каждого пикселя, используя интегральное изображение, вычисляется среднее значение в прямоугольнике размером $s \times s$, а затем осуществляется сравнение:
 - Если значение текущего пикселя на t процентов меньше, чем среднее,
 - То на бинарном изображении значение устанавливается в черный,
 - Иначе – в белый.
- Достоинства:
 - Требуется всего два прохода по всему изображению: время работы значительно сокращается.
 - Метод позволяет избежать резких контрастных линий и игнорирует небольшие градиентные изменения.
 - Метод свободен от недостатков метода Бернсена.

Пример работы метода Бернсена

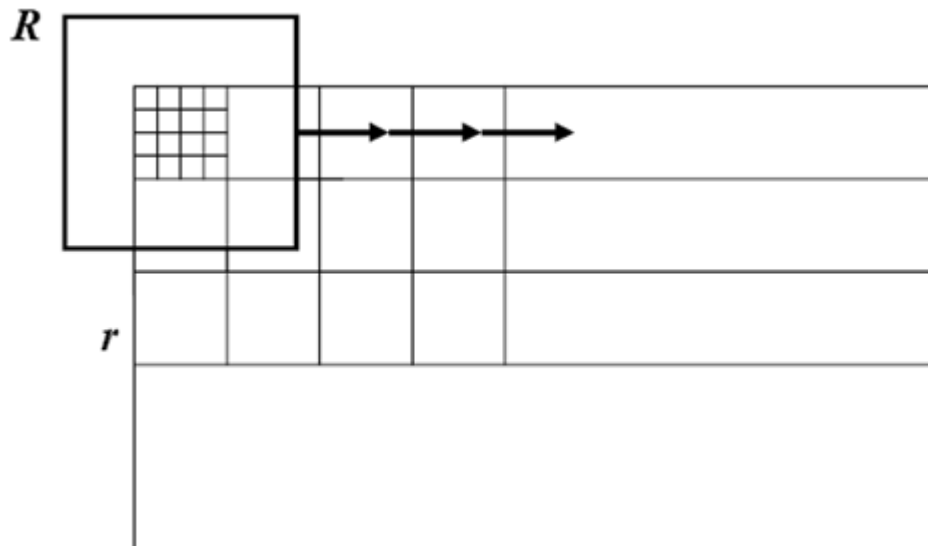
23



Адаптивная бинаризация Эйквила

24

- Изображение обрабатывается с помощью двух конгруэнтных окон (обычно квадратных):
 - ▣ маленького r (обычно 3×3) и
 - ▣ большого R (обычно 15×15) .
- Оба окна последовательно слева направо сверху вниз накладываются на изображение с шагом равным стороне маленького окна r .



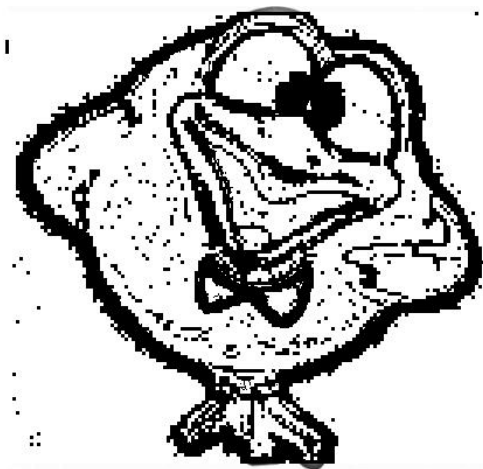
Адаптивная бинаризация Эйквила (2)

25

- Для окна R по критерию Отсу рассчитывается оптимальный порог T , так чтобы поделить пиксели на два кластера.
- Затем:
 - **Если** математические ожидания уровня яркости в двух кластерах различаются сильно:
$$|M_0 - M_1| \geq \varepsilon = 15$$
 - **то** все пиксели внутри малого окна r бинаризируются в соответствии с вычисленным порогом T ,
 - **иначе** яркость пикселей из окна r заменяется на яркость класса с наиболее близким значением M .

Результаты бинаризации Эйквила

26



Адаптивная бинаризация Ниблэка

27

- Определение величины порога для каждого пикселя происходит на основе вычисления локального среднего и локального среднеквадратического отклонения в некотором окне r .
- Размер окрестности должен выбираться таким образом, чтобы, с одной стороны, при обработке сохранялись локальные детали, а с другой – чтобы можно было устранить шумы. Хорошие результаты даёт окно 15×15 .
- Значение порога яркости в точке (x, y) вычисляется так:
 - $T(x, y) = M(x, y) + K * stdev(x, y)$, где
 - M – среднее значение выборки для некоторой окрестности точки (x, y) ;
 - $stdev$ – среднеквадратичное отклонение для той же окрестности.
- Значение K определяет, какую часть границы объекта взять в качестве самого объекта.
 - $K = -0.2$ задаёт достаточно хорошее разделение объектов, если они представлены черным цветом;
 - $K = 0.2$, если объекты представлены белым цветом.

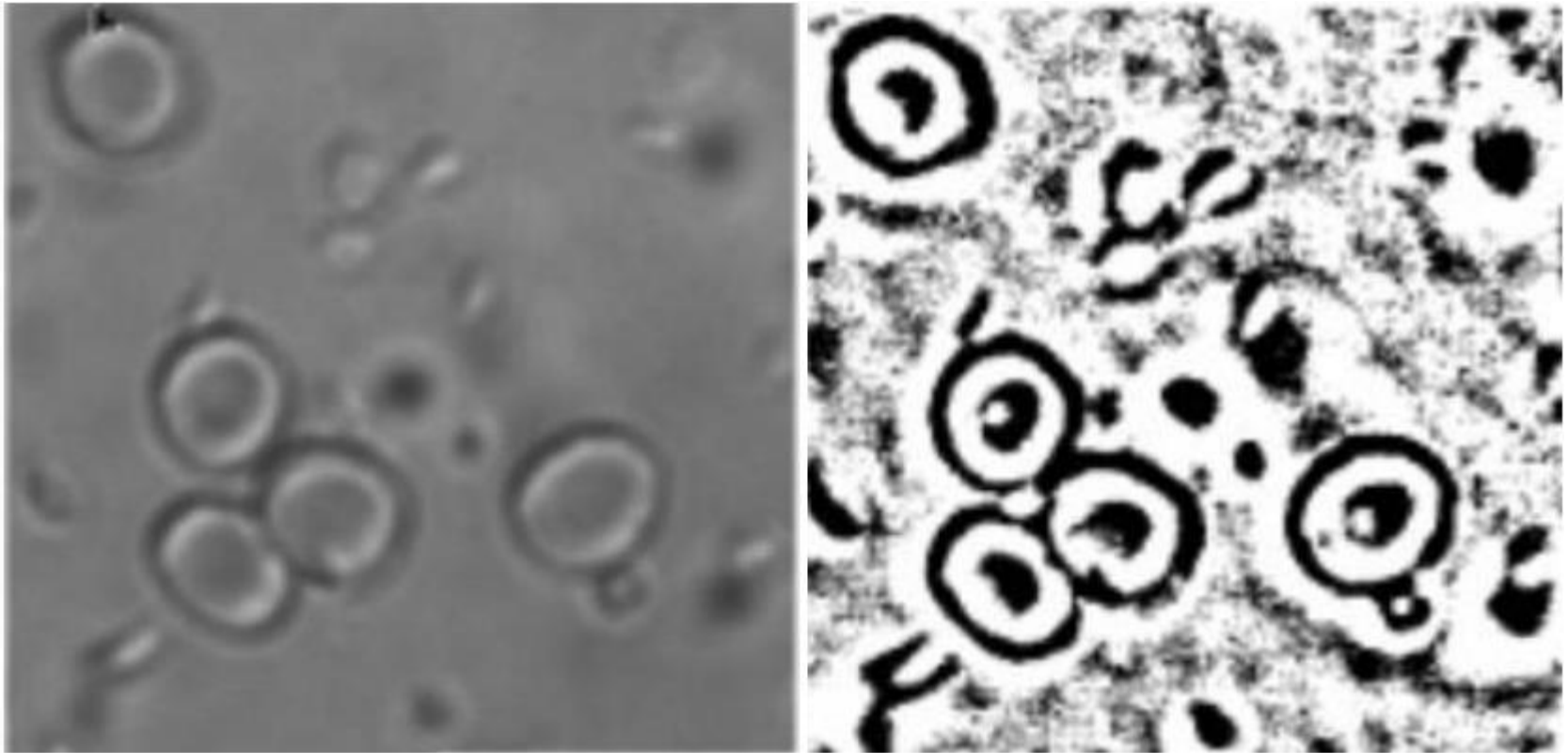
Адаптивная бинаризация Ниблэка (2)

28

- На практике составляются две вспомогательных матрицы:
 - ▣ $M(x, y)$ – *матрица средних значений*: квадратная апертура пробегает по всем пикселям, суммирует апертуру, делит на площадь и вставляет в результат.
 - ▣ $StDev(x, y)$ – *матрица отклонений*: квадратная апертура пробегает по всем пикселям, суммирует квадраты в апертуре, делит на площадь и вычитает квадрат соответствующего пикселя из $M(x, y)$ и вставляет в результат.
- Затем в основном цикле по всем пикселям применяются правила:
 - ▣ Если цвет меньше глобального минимума, **то** ставится чёрный,
 - ▣ Если цвет больше глобального максимума, **то** ставится белый.
 - ▣ Если цвет между глобальными порогами, **то** производится адаптивная бинаризация:
 - при помощи соответствующих пикселей обоих вспомогательных изображений и чувствительности K вычисляется порог для текущего пикселя. Текущий пиксель бинаризуется по этому порогу и вставляется в результат.

Пример работы метода Ниблэка

29



Адаптивная бинаризация Саувола

30

- В цикле по всем пикселям исходного изображения проходится квадратная апертура заданного размера $w \times w$.
- Порог вычисляется с использованием значений M и СКО:

$$t(x, y) = M(x, y) \left[1 + k \left(\frac{\sigma(x, y)}{R} - 1 \right) \right]$$

- где $R = 128$ для полутоновых изображений, k в диапазоне $[0.2, 0.5]$
- Для удобства вычислений составляются два вспомогательных интегральных изображения:
 - ▣ Кумулятивные суммы яркостей исходных пикселей $I(x, y)$;
 - ▣ Кумулятивные суммы квадратов яркостей исходных пикселей.
- Тогда:

$$M(x, y) = \frac{1}{w^2} \left(I(x + \frac{w}{2}, y + \frac{w}{2}) - I(x + \frac{w}{2}, y - \frac{w}{2}) - I(x - \frac{w}{2}, y + \frac{w}{2}) + I(x - \frac{w}{2}, y - \frac{w}{2}) \right)$$

$$\sigma^2(x, y) = D(x, y) = \frac{1}{w^2} \sum_{i=x-\frac{w}{2}}^{x+\frac{w}{2}} \sum_{j=y-\frac{w}{2}}^{y+\frac{w}{2}} I^2(x, y) - M^2(x, y)$$

Пример работы метода Саувола

Управление нравственным развитием коллектива. 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.

Управление нравственным развитием коллектива. 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.

Результаты бинаризации Саувола

32



Адаптивная бинаризация Кристиана

33

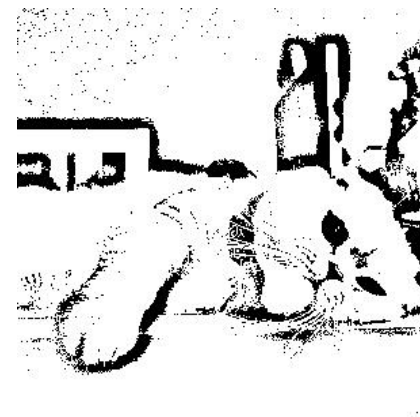
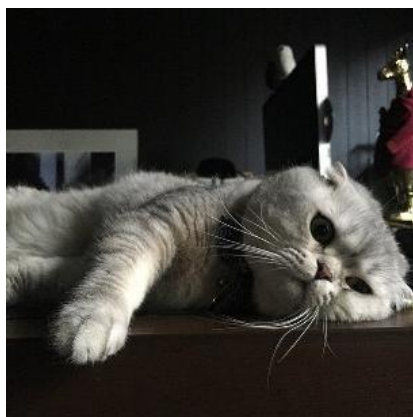
- Является модификацией метода Ниблэка
- Местное пороговое значение определяется, нормализуя контраст и шум изображения следующим образом:

$$T(x, y) = (1 - k)m(x, y) + k \cdot M + k \cdot \frac{\sigma(x, y)}{R} \cdot (m(x, y) - M)$$

- В данной формуле
 - ▣ $k = 0.5$,
 - ▣ M – минимум яркости по всему изображению,
 - ▣ R – максимальное среднеквадратичное отклонение яркости $\sigma(x, y)$ во всех локальных окнах
 - ▣ M и R оба вычисляются из гистограммы изображения.

Результаты бинаризации Кристиана

34



les suivants : les systèmes de ling
gissent en bloc aux facteurs de pho
e changement phonologique qui
onné tend à se diffuser dans
stèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, cau
changements : mais

les suivants : les systèmes de ling
gissent en bloc aux facteurs de pho
e changement phonologique qui
onné tend à se diffuser dans
stèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, cau
changements : mais

les suivants : les systèmes de ling
gissent en bloc aux facteurs de pho
e changement phonologique qui
onné tend à se diffuser dans
stèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, cau
changements : mais

Адаптивная бинаризация Яновица и Брукштейна

35

- В качестве пороговой поверхности бинаризации используется поверхность потенциалов, строящаяся на основе локальной максимизации градиента яркости.
- Значение градиента яркости часто рассчитывается с помощью контурного оператора Собеля или Кэнни.
- Изображение фильтруется с целью получения контурных линий толщины в 1 пиксель, а затем усредняющим фильтром 3×3 .
- Потенциальная поверхность строится по итерационной интерполирующей схеме:
 - ▣ Расчет поверхности идет в порядке, начиная от контурных пикселей.
 - ▣ Для каждого не контурного пикселя рассчитывается интерполяционный остаток $R(x, y)$ и новое значение пикселя $P(x, y)$ на $n+1$ -ом шаге должно рассчитываться в соответствии с формулами:

$$P_{n+1}(x, y) = P_n(x, y) + \beta \cdot \frac{R_n(x, y)}{4}$$

$$R_n(x, y) = P_n(x-1, y) + P_n(x+1, y) + P_n(x, y-1) + P_n(x, y+1) - 4 \cdot P_n(x, y)$$

- ▣ Где β в пределах $1 \leq \beta \leq 2$ для быстрой сходимости.

Адаптивная бинаризация Брэдли-Рота

36

- Разбиваем изображение на несколько областей со стороной d , берем среднее от суммы значений пикселей I_m в этой области, добавляем некоторую величину t , сравниваем значение каждого пикселя с получившимся результатом. $I_m + t$ – и есть наша искомая пороговая величина.
- Брэдли и Рот берут значения d и t соответственно $1/8$ от ширины изображения и 15% от среднего значения яркости пикселей по области.
- Вообще говоря, оба этих параметра могут и должны изменяться в соответствии с конкретной ситуацией.
- Так, если размеры объекта будут больше площади квадрата со стороной, равной d , то центр этого объекта может быть принят алгоритмом как фон, и проблема решается уменьшением значения d , однако при этом могут быть потеряны мелкие детали изображения.
- <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40854-bradley-local-image-thresholding>

Примеры работы адаптивных алгоритмов бинаризации

37

Исходное
изображение



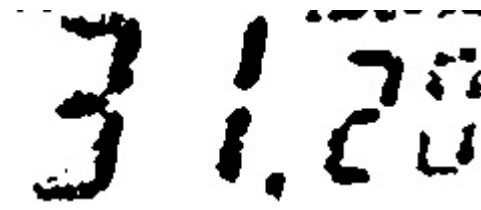
Метод Ниблэка



Метод Кристиана



Метод Брэдли



Брэдли + медианный фильтр

Примеры работы адаптивных алгоритмов бинаризации (2)

38



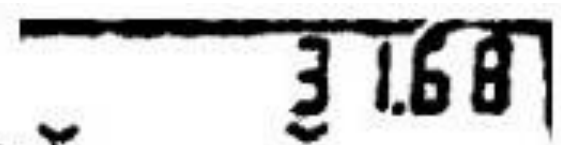
а)

Исходное
изображение



б)

Метод Брэдли



в)

Метод
Кристиана

Что почитать

39

- A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding (Метод бинаризации Отсу)
http://www.iis.sinica.edu.tw/page/jise/2001/200109_01.pdf
- Local Otsu Threshold http://scikit-image.org/docs/0.12.x/auto_examples/segmentation/plot_local_otsu.html
- Бинаризация изображений
<http://recog.ru/blog/applied/15.html>
- Adaptive thresholding using the integral image (2007) by Derek Bradley , Gerhard Roth
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.420.7883>
- J.J. Sauvola, T. Seppänen Adaptive Document Binarization
https://www.researchgate.net/publication/3710586_Adaptive_Document_Binarization
- Computer Vision – The Integral Image
<https://computersciencesource.wordpress.com/2010/09/03/computer-vision-the-integral-image/>
- Contrast adaptive binarization of low quality document images
http://web.mit.edu/mfeng/www/papers/mengling_ieice.pdf
- C++ code for document image binarization
<http://liris.cnrs.fr/christian.wolf/software/binarize/>
- Фёдоров А. Бинаризация черно-белых изображений: состояние и перспективы развития
<http://it-claim.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/ist4b/its4/fyodorov.htm>
- Ибрафиров Х.С. Исследование методов бинаризации изображений
<http://scientificjournal.ru/images/PDF/2017/VNO-30/issledovanie-metodov-binarizatsii.pdf>
- J.R.Parker - Algorithms for Image Processing and Computer Vision_2011
http://www.manalhelal.com/Books/crol/Algorithms%20for%20Image%20Processing%20and%20Computer%20Vision_2011.pdf

Что почитать

- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1979. – Vol. 9, № 1. – P. 62–66.
- Eikvil L. A fast adaptive method for binarization of document images / L. Eikvil, T. Taxt, K. Moen // International Conference on Document Analysis and Recognition, September, 1991. – P. 435–443.
- Bradley D. Adaptive thresholding using the integral image / D. Bradley, G. Roth // Journal of graphics tools. – 2007. – Vol. 12, № 2. – P. 13–21.
- Bernsen J. Dynamic thresholding of gray level images // Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR). – Paris. – 1986. – P. 1251–1255.
- Niblack W. An introduction to digital image processing // Prentice-Hall, Englewood Cliffs. – 1986. – P. 115–116.
- Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola, M. Pietikäinen // Document Analysis and Recognition. – 1997. – Vol. 1. – P. 147–152.
- C.K. Chow and T. Kaneko Automatic Boundary Detection of the Left Ventricle from Cineangiograms, Comp. Biomed. Res.(5), 1972, pp. 388-410.