

ЛЕКЦИЯ 2. БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Демидов Д.В.

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

План

2

- Обесцвечивание изображений
- Глобальные методы бинаризации
- Адаптивные методы с ручным заданием параметров
- Адаптивные методы с автоматическим вычислением параметров

3

Цвет → Полутон

Обесцвечивание изображений

Преобразование в оттенки серого

4

- Для преобразования исходного изображения в изображение в градациях серого, необходимо получить его яркостную составляющую.
- В цветовых моделях YUV и YCbCr это компонента Y, в цветовых моделях HSL(I) и LAB это компонента L — светлота.
- В цветовых моделях RGB, CMYK, XYZ яркость в явном виде отсутствует.
- Достаточно рассчитать одну матрицу Y на основе исходного RGB изображения:
 - Усреднение: $Y = (R+G+B)/3$
 - ITU-R BT.601: $Y = 0,3*R + 0,59*G + 0,11*B$
 - sRGB: $Y = 0,2126*R + 0,7152*G + 0,0722*B$
- При съемке цифровой камерой особенно с длинными выдержками в первую очередь «шумит» синий канал.

Пример

5

при и́тъо троицко введенской цркви въ тъпограф
единовѣрцески въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа слова Ѿашчѧ, индикт.
ві въ мѣа генварѧ въ ۚ дѣнь въ праднество ѿ
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спасъ нашего іс
хь . и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
басилія великағѡ , архієпіка кесаріи каппадокійскїј
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ ۚ дѣнь въ памѧть ст҃ихъ мѣченікъ агапіѧ
тимона и роміла , и иже съ ними . съ книго

Оригинал

при и́тъо троицко введенской цркви въ тъпограф
единовѣрцески въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа слова Ѿашчѧ, индикт.
ві въ мѣа генварѧ въ ۚ дѣнь въ праднество ѿ
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спасъ нашего іс
хь . и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
басилія великағѡ , архієпіка кесаріи каппадокійскїј
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ ۚ дѣнь въ памѧть ст҃ихъ мѣченікъ агапіѧ
тимона и роміла , и иже съ ними . съ книго

sRGB

6

Полутон → Чёрно-белый

Глобальная бинаризация изображений

Адаптивная бинаризация изображений

Бинаризация изображений

7

- **Бинаризация** изображения (*thresholding*) — процесс преобразования полутонаового 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

8

- 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 *глобальна*.
 - Непостоянный порог соответствует ситуации *локальной* (адаптивной) бинаризации.
- Порог может быть рассчитан исходя из гистограммы яркостей пикселей изображения. Например, как среднее значение.

Глобальная бинаризация

9

- 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 фон.

Глобальная бинаризация с двумя порогами

10

- 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)

11

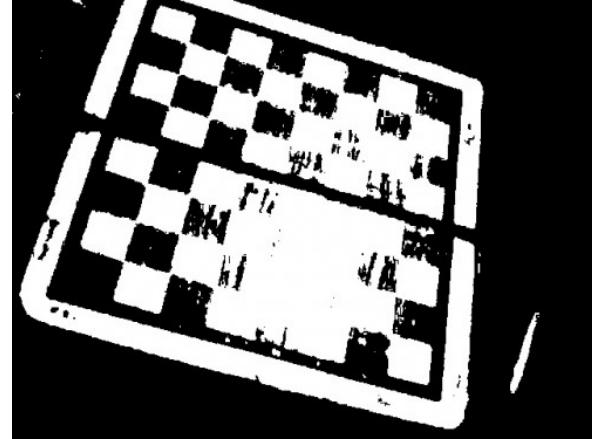
- В **локальных** (адаптивных) методах пороговое значение меняется для каждой точки с учётом особенностей окрестности данной точки.
- Недостатком такого рода преобразований является **низкая скорость работы** алгоритмов, связанная с индивидуальным расчётом пороговых значений для каждой точки изображения.

Примеры

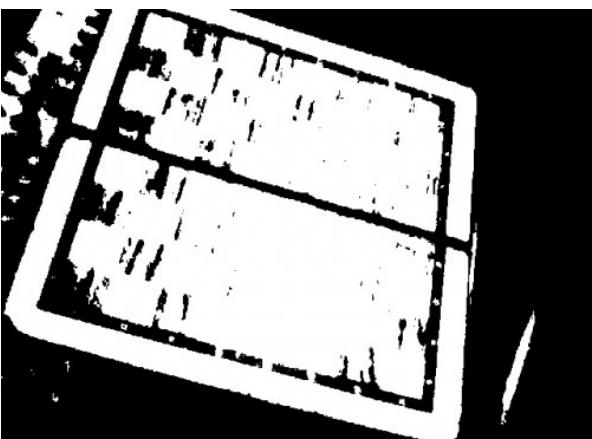
12



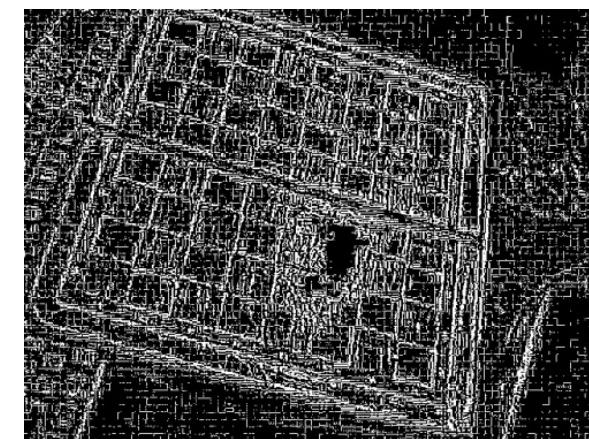
Исходное



Порог 128



С критерием Отсу

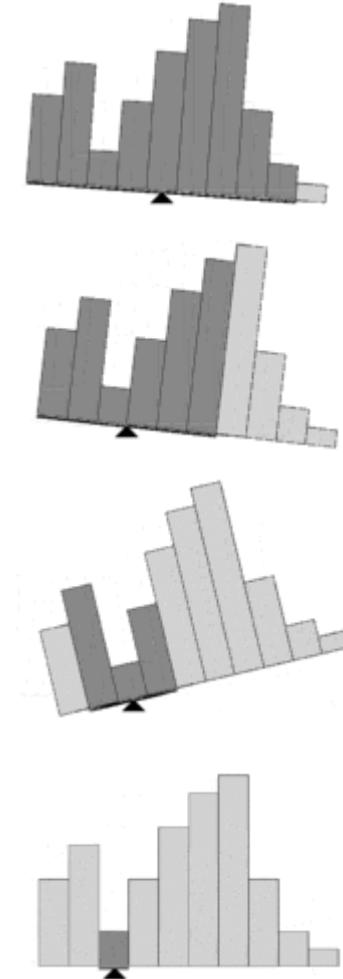


Адаптивное монохромное
преобразование

Алгоритм сбалансированного порогового отсечения гистограммы

13

- 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

14

- Метод также использует гистограмму распределения значений яркости пикселей растрового изображения.
- Пусть
 - N — 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)

15

- Для рассматриваемого порога t рассчитываются:

- относительные частоты w для зон гистограммы слева и справа от t :

- средние уровни M яркости в каждой зоне:

- дисперсию классов D :

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

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

- Внутриклассовая дисперсия $D_{\text{общ}}$ (взвешенная сумма дисперсий): $D_{\text{общ}}(t) = w_0(t)D_0(t) + w_1(t)D_1(t)$

- Межклассовая дисперсия $D_{\text{кл}}$:

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

- Для искомого порога значение оценки будет максимальным:

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

Примеры работы метода Отсу

16

при го́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцех въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡржтка же по плоти вѣа слова хвашчад въ индигет
вѣ въ мѣа генварѣ въ дѣнь на праднество сѧ
по плоти обрѣзанії гдѣ вѣа и спас нашего ѿ
хь . и память иже во стыихъ оца нашего
басилія великағѡ архієпіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ сі дѣнь на память стыихъ мѣченикъ агапії
тимона и романа и иже съ ними . съ книго

при го́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцех въ лѣто ѿ сотворенія міра ,
ѡржтка же по плоти вѣа слова хвашчад въ индигет
вѣ въ мѣа генварѣ въ дѣнь на праднество
по плоти обрѣзанії гдѣ вѣа и спас нашего ѿ
хь . и память иже во стыихъ оца нашего
басилія великағѡ архієпіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ сі дѣнь на память стыихъ мѣченикъ агапії
тимона и романа и иже съ ними . съ книго

Адаптивная бинаризация

Ниблэк, Вульф, Бернсен, Сауволы, Айквиль, Брэдли и Рот,
Яновиц и Брукштейн

Адаптивное монохромное преобразование

18

- Параметры:

- D — диаметр окна Ω

- Для каждого пикселя $I(x, y)$ вычисляется:

- Средняя яркость по всему окну:

$$Avg(x, y) = \frac{1}{D^2} \sum_{(r,s) \in \Omega} I(r, s)$$

- Альтернативно, средняя яркость по минимаксу:

$$Avg(x, y) = \frac{1}{2} \left(\max_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) + \min_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) \right)$$

- Решающее правило:

$$Bin(x, y) = [I(x, y) \geq Avg(x, y)]$$

Примеры адаптивного монокромного преобразования

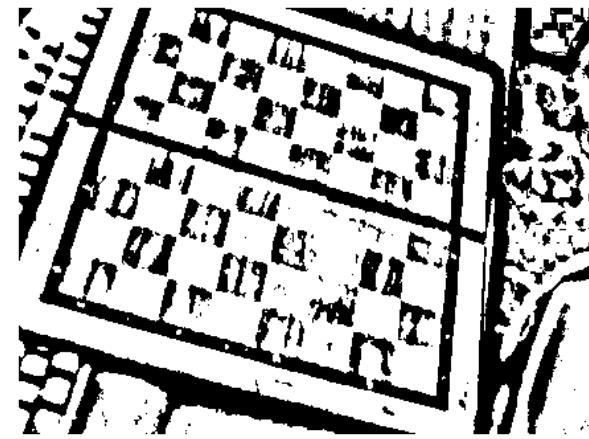
19



Исходное



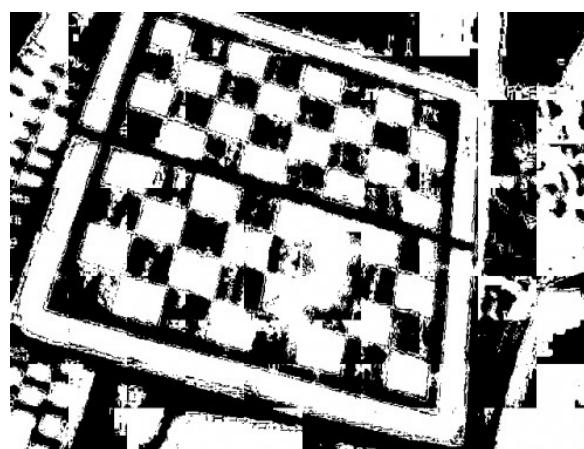
АМП с размером блока 25



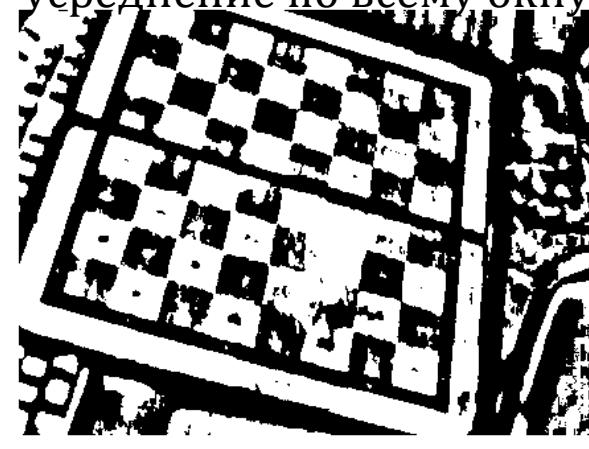
АМП с размером блока 25,
усреднение по всему окну



АМП с гауссианом



Пороговая + АМП



АМП с размером блока 25,
усреднение минимаксное

Пример работы АМП

20

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
шржтка же по плоти бга слова хвщд въ индикт
въ мѣа генварѧ въ й день въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанія гда бга и спасъ нашего іс
хь . и память иже во стыхъ оца нашего
басилія великаго архіепика кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ єи днѧ въ на память стыхъ мъченикъ агапіа
тимона и романа и иже съ ними . съ книгою

Исходное

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
шржтка же по плоти бга слова хвщд въ индикт
въ мѣа генварѧ въ й день въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанія гда бга и спасъ нашего іс
хь . и память иже во стыхъ оца нашего
басилія великаго архіепика кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ єи днѧ въ на память стыхъ мъченикъ агапіа
тимона и романа и иже съ ними . съ книгою

АМП с размером блока 25,
усреднение по всему окну

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
шржтка же по плоти бга слова хвщд въ индикт
въ мѣа генварѧ въ й день въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанія гда бга и спасъ нашего іс
хь . и память иже во стыхъ оца нашего
басилія великаго архіепика кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ єи днѧ въ на память стыхъ мъченикъ агапіа
тимона и романа и иже съ ними . съ книгою

АМП с размером блока 25,
усреднение минимаксное

Адаптивная бинаризация Бернсена

21

- Параметры:

- r — радиус скользящего окна Ω
 - t — некоторый процент
 - `contrast_limit` — порог контрастности

- Для каждого пикселя (x, y) рассматривается окно радиуса r . Вычисляются:

- Средняя яркость по минимаксу:

$$Avg(x, y) = \frac{1}{2} \left(\max_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) + \min_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) \right)$$

- Мера локального контраста:

$$C(x, y) = \max_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) - \min_{(r,s) \in \Omega} I(r, s)$$

- Решающее правило:

Если $C(x, y) < contrast_limit$

то

$Bin(x, y) = 1$ # значение по умолчанию (цвет фона, 1)

иначе

$$Bin(x, y) = [I(x, y) \geq Avg(x, y) \cdot (1 - t)]$$

Интегральное представление изображения

22

- Интегральное представление изображения I — это матрица Π той же размерности, элементы которой рассчитываются по формуле:

$$\Pi(x, y) = \sum_{r \in [0, x]} \sum_{s \in [0, y]} I(r, s) = \sum_{(r, s) \in [0 : x, 0 : y]} I(r, s)$$

- Т. е. элемент $\Pi(x, y)$ является суммой яркостей пикселей исходного изображения в окне $[0 : x, 0 : y]$
- Расчет интегральной матрицы Π можно производить по рекуррентным формулам:

$$\Pi(0, y) = I(0, y) \quad \forall y$$

$$\Pi(x, 0) = I(x, 0) \quad \forall x$$

$$\Pi(x, y) = I(x, y) + \Pi(x, y - 1) + \Pi(x + 1, y) - \Pi(x - 1, y - 1), x > 0, y > 0$$

- Интегральная матрица используется для быстрого вычисления яркости заданных участков изображения (в вейвлет-преобразованиях, фильтрах Хаара, расчёте дескрипторов (SURF)).

0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0

Исходное изображение

0	0	0	1	1	1
0	0	1	3	3	3
0	1	2	5	5	5
0	1	2	6	6	6
0	1	2	7	7	7
0	1	3	9	10	10

Интегральное изображение

Использование интегральной матрицы

23

- Сумму яркостей внутри произвольного прямоугольника ABCD на изображении I можно выразить на основе интегральной матрицы:

$$\sum_{(x,y) \in ABCD} I(x, y) = I(C) - I(B) - I(D) + I(A)$$

- Геометрический смысл:
 - площадь ABCD вычисляется на основе площадей смежных прямоугольников с углами в точках A, B, C, D
 - Например, для заданного окна сумма яркостей пикселя на основе интегральной матрицы рассчитывается так: $7 - 3 - 0 + 0 = 4$

0	0	0	1	1	1
0	A	0	1	3	B
0		1	2	5	
0		1	2	6	
0	D	1	2	7	C
0		1	3	9	10

0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0

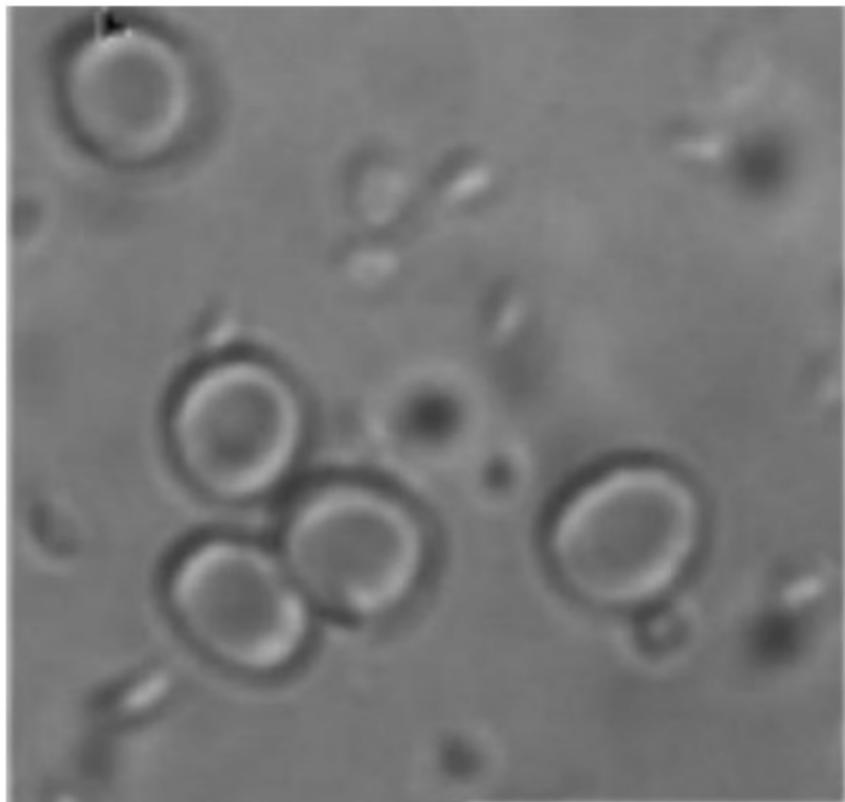
Улучшенный метод Бернсена

24

- На первом проходе по изображению вычисляется интегральная матрица.
- На втором проходе для каждого пикселя, используя интегральную матрицу, вычисляется среднее значение в прямоугольнике размером $D \times D$, а затем осуществляется сравнение:
 - **Если** значение текущего пикселя на t процентов меньше, чем среднее,
 - **То** на бинарном изображении значение устанавливается в чёрный,
 - **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

25



Пример работы метода Бернсена

26

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единокрещенскъ въ ли́то ѿ готворенія міра + зу́з
ѡ ржтвѣ же по плоти бѣа слова хашъд въ индікѣ
въ въ мѣа генварѧ въ а денѣ въ на празднество єа
по плоти обрѣзанія гда бѣа и спаса нашеаго и
хъ . и памѧть иже во стыихъ оца нашеаго
каимлѧ великаго архїепискпа кесаріи каппадокійскѧ
совершенаже бысть въ тогоже ли́та въ мѣа марта
въ сіи деніи въ памѧть стыхъ мученики агапії
тиона и романа и иже съ ними . съ книг

ци и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единокрещенскъ въ ли́то ѿ готворенія міра + зу́з
ѡ ржтвѣ же по плоти бѣа слова хашъд въ индікѣ
въ въ мѣа генварѧ въ а денѣ въ на празднество єа
по плоти обрѣзанія гда бѣа и спаса нашеаго и
хъ . и памѧть иже во стыхъ оца нашеаго
каимлѧ великаго архїепискпа кесаріи каппадокійскѧ
совершенаже бысть въ тогоже ли́та въ мѣа марта
въ сіи деніи въ памѧть стыхъ мученики агапії
тиона и романа и иже съ ними . съ книг

Адаптивная бинаризация Брэдли-Рота

27

- Для удобства вычислений строится интегральная матрица $I(x, y)$.
- В цикле по всем пикселям исходного изображения проходит квадратная апертура заданного размера $D \times D$, $r = [D/2]$. Например, $D = [\text{Width}/8]$ и рассчитываются средние значения:

$$m(x, y) = \frac{1}{D^2} (I(x+r, y+r) - I(x+r, y-r) - I(x-r, y+r) + I(x-r, y-r))$$

- Порог для (x, y) вычисляется на основе средней яркости в окне и параметра t , например 0.15 (15%):

$$T_{Bradley} = m \cdot (1 - t)$$

- Параметр D можно подбирать, исходя из размеров объектов:
 - Если размеры объекта будут меньше D , то центр этого объекта может быть принят за фон.
 - Проблема решается уменьшением значения D , однако при этом могут быть потеряны мелкие детали изображения.
 - Т.е. надо подбирать D так, чтобы объект вмещался в $D \times D$.

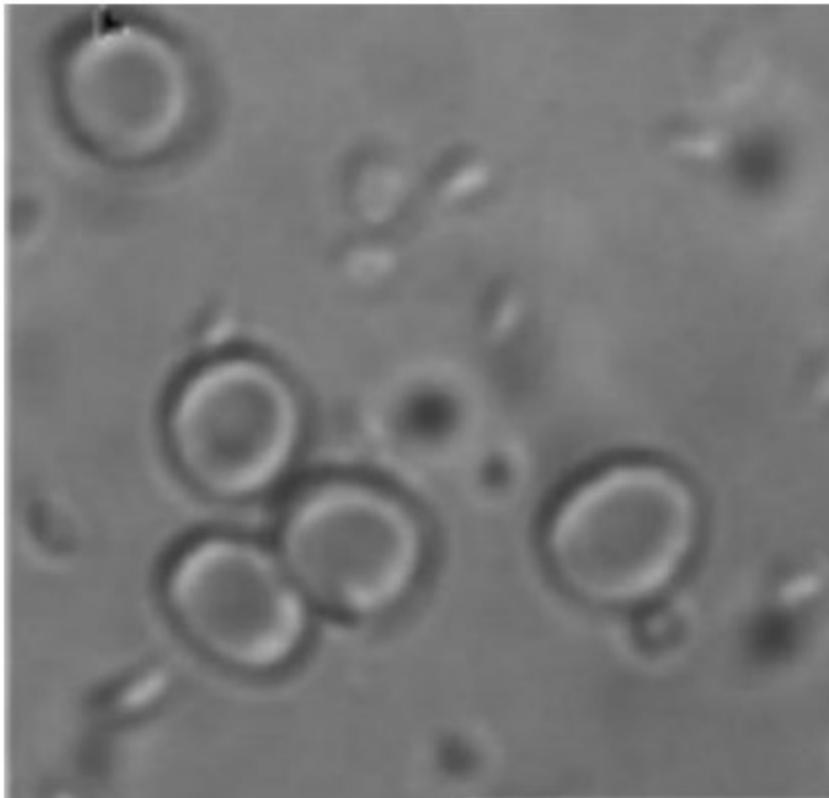
Псевдокод метода Брэдли-Рота

28

```
procedure AdaptiveThreshold(in, out, w, h)
1: for i = 0 to w do
2:   sum ← 0
3:   for j = 0 to h do
4:     sum ← sum + in[i, j]
5:     if i = 0 then
6:       intImg[i, j] ← sum
7:     else
8:       intImg[i, j] ← intImg[i-1, j] + sum
9:     end if
10:    end for
11:  end for
12:  for i = 0 to w do
13:    for j = 0 to h do
14:      x1 ← i - s/2 {border checking is not shown}
15:      x2 ← i + s/2
16:      y1 ← j - s/2
17:      y2 ← j + s/2
18:      count ← (x2-x1) * (y2-y1)
19:      sum ← intImg[x2, y2] - intImg[x2, y1-1] - intImg[x1-1, y2] + intImg[x1-1, y1-1]
20:      if (in[i, j] * count) ≤ (sum * (100-t) / 100) then
21:        out[i, j] ← 0
22:      else
23:        out[i, j] ← 255
24:      end if
25:    end for
26:  end for
```

Пример работы метода Брэдли-Рота

29



Пример работы метода Брэдли-Рота

30

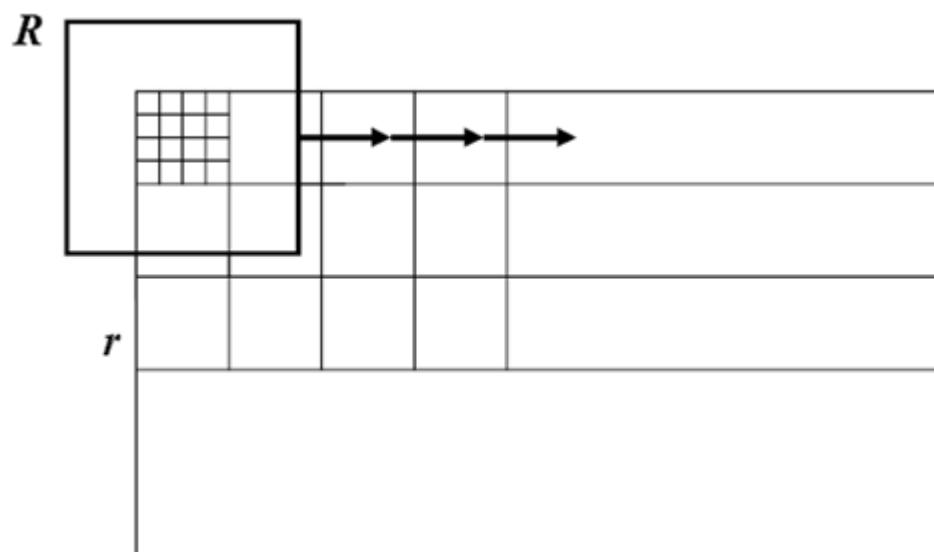
при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа глоба хашчад, въ індикѣ
въ, мѣа генварѧ въ ۚ а дѣнь въ на празднество ѿ
по плоти обрѣзанія гдѣ бѣа и спаса нашего и
хь. и памѧть иже во стыихъ оца нашего
василія великаго, архіепіка кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ того же лѣта, мѣа марта
въ ۚ сі дѣнь въ на памѧть стыхъ мученикъ агапія
тимона и романа и иже съ ними . съ книг

ири ито троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа глоба хашчад, въ індикѣ
въ, мѣа генварѧ въ ۚ а дѣнь въ на празднество ѿ
по плоти обрѣзанія гдѣ бѣа и спаса нашего и
хь. и памѧть иже во стыихъ оца нашего
василія великаго, архіепіка кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ того же лѣта, мѣа марта
въ ۚ сі дѣнь въ на памѧть стыхъ мученикъ агапія

Адаптивная бинаризация Айквиль

31

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



Line Eikvil

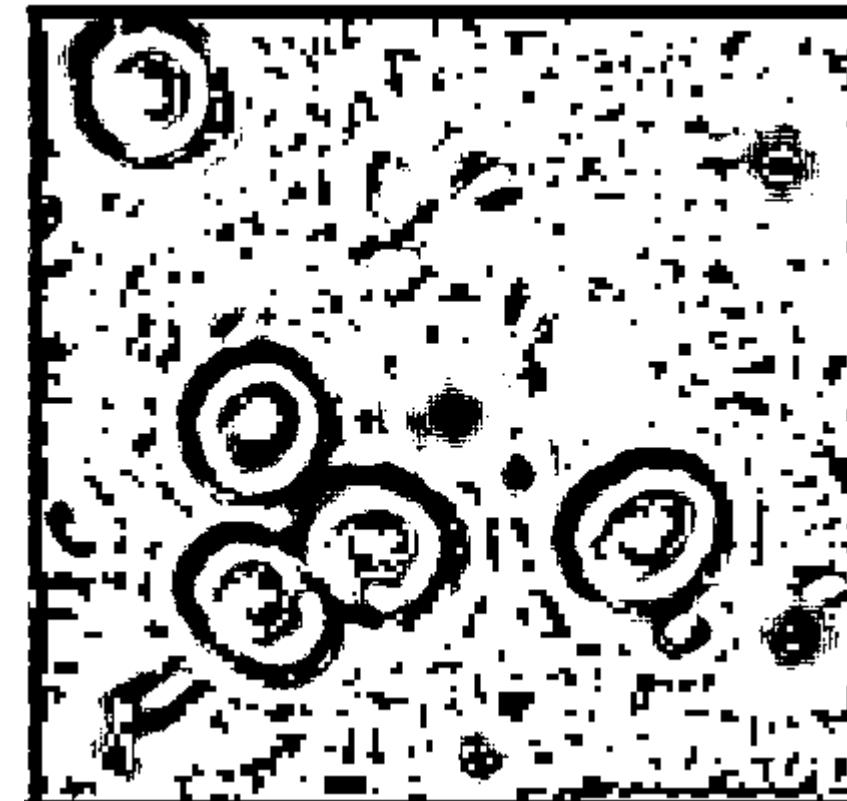
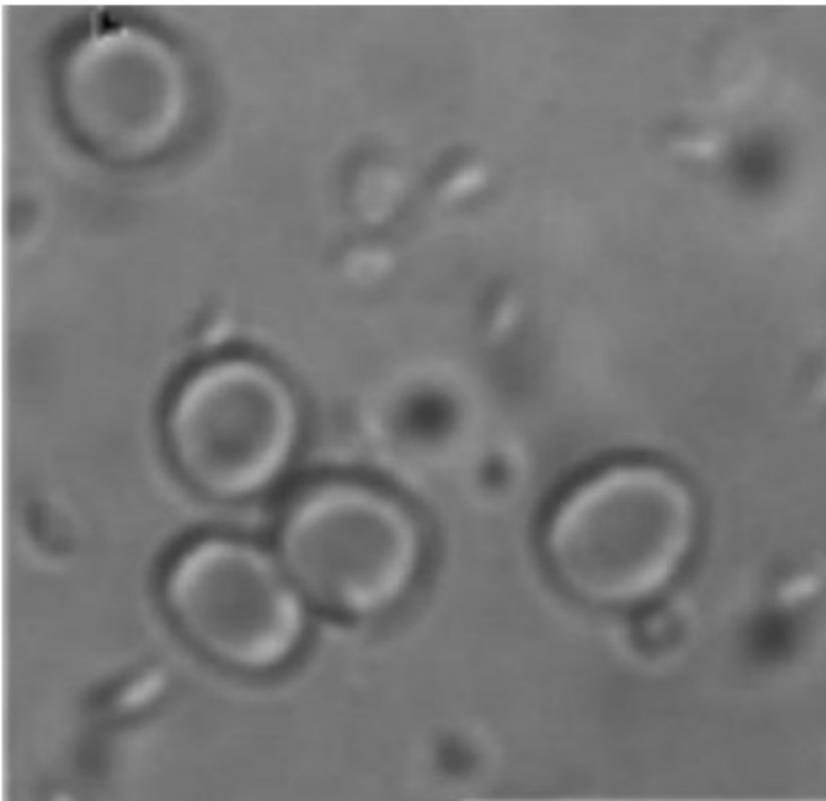
Адаптивная бинаризация Айквиль (2)

32

- 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 бинаризуются в соответствии с вычисленным порогом T ,
 - **иначе** яркость пикселей из окна r заменяется на яркость класса с наиболее близким значением M .

Пример работы метода Айквиль

33



Пример работы метода Айквиль

34

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцехъ въ лѣто ѿ сотворенїя міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слоба хашчадъ въ индикт
въ мѣа генварѧ въ а дѣнь въ на пра Знамѧтии
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спаса нашего и
хь . и памѧть иже ко стыихъ оца нашего
басилія великашъ архіепіпа кесаріи каппадокійскїи
совершенаже бысть въ того же лѣта въ мѣа марта
въ сіи дѣни въ памѧть стыхъ мученикъ агапія
тимона и романа и иже съ ними . съ книг

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцехъ въ лѣто ѿ сотворенїя міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слоба хашчадъ въ индикт
въ мѣа генварѧ въ а дѣнь въ на пра Знамѧтии
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спаса нашего и
хь . и памѧть иже ко стыхъ оца нашего
басилія великашъ архіепіпа кесаріи каппадокійскїи
совершенаже бысть въ того же лѣта въ мѣа марта
въ сіи дѣни въ памѧть стыхъ мученикъ агапія
тимона и романа и иже съ ними . съ книг

Примеры работы метода Айквиль

35



Адаптивная бинаризация Ниблэка

36

- Определение величины порога для каждого пикселя происходит на основе вычисления локального среднего m и локального среднеквадратического отклонения s в некотором окне r , площадью N пикселей.
- Размер окрестности должен выбираться таким образом, чтобы при обработке сохранялись локальные детали, и при этом устраивались шумы. Хорошие результаты даёт окно 15×15 .
- Значение порога яркости в точке (x, y) вычисляется так:

$$T_{\text{Niblack}} = m + k \cdot s = m + k \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in r} (I(i,j) - m)^2}$$

- Значение k задаётся вручную и определяет, какую часть границы объекта взять в качестве самого объекта.
 - $k = -0.2$ задает достаточно хорошее разделение объектов, если они представлены черным цветом;
 - $K = 0.2$, если объекты представлены белым цветом.
- Метод оставляет много чёрного шума.

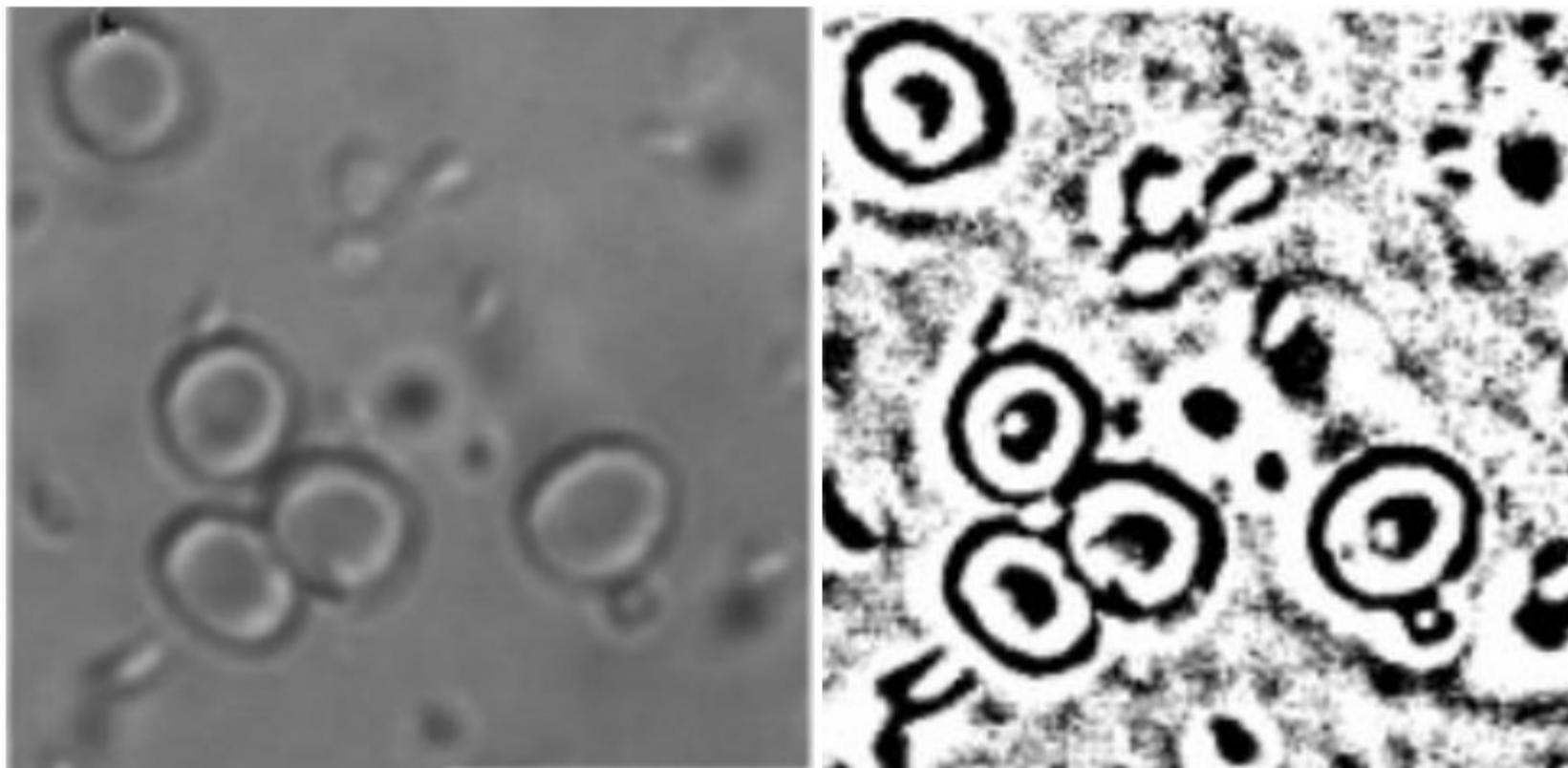
Адаптивная бинаризация Ниблэка (2)

37

- 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 к вычисляется порог для текущего пикселя. Текущий пиксель бинаризуется по этому порогу и вставляется в результат.

Пример работы методы Ниблэка

38



Пример работы метода Ниблэка

39

при это троицко кваденской цркви въ тунограф
единовѣрцехъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа глова хашчадъ въ індиктѣ
въ мѣа генварѧ въ а дѣнь въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзаніја гдѣ бѣа и спасъ нашеаго ѿ
хъ . и памѧть иже ко стыихъ оца нашеаго
басиліја великағо , архіепіппа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта , мѣа марта
въ сї дѣни въ памѧть стыхъ мѹченикъ агапіја
тимона и романа , и иже съ ними . съ книгою

при это троицко кваденской цркви въ тунограф
единовѣрцехъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти бѣа глова хашчадъ въ індиктѣ
въ мѣа генварѧ въ а дѣнь въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзаніја гдѣ бѣа и спасъ нашеаго ѿ
хъ . и памѧть иже ко стыхъ оца нашеаго
басиліја великағо , архіепіппа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта , мѣа марта
въ сї дѣни въ памѧть стыхъ мѹченикъ агапіја
тимона и романа , и иже съ ними . съ книгою

Адаптивная бинаризация Сауволы

40

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

$$T_{Sauvola} = m \left(1 + k \left(\frac{s}{R} - 1 \right) \right) = m \left(1 - k \left(1 - \frac{s}{R} \right) \right)$$

- где R — динамический диапазон (максимальное s) для полутонаовых изображений ($R = 128$),
 - k в диапазоне $[0.2, 0.5]$.
- Для удобства вычислений составляются два вспомогательных интегральных изображения:
 - Кумулятивные суммы яркостей исходных пикселей I_I ;
 - Кумулятивные суммы квадратов яркостей исходных пикселей.

- Тогда:

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

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

- Метод не любит, когда текст и фон близки по яркости.

Пример работы метода Сауволы

41

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевъ въ лѣто Шиотворенія міра + Зуэ
Шиотвѣ же по плоти бѣа слова христіа, въ индикт.
ві въ мѣа генварѣ въ ѿ денѣ въ напразднество єса
по плоти обрѣзанія гдѣ бѣа и спаси нашего и
хла. и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
басиліа великааго, архієпіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть, того же лѣта, мѣа марта
въ ѿ денѣ въ памѧть ст҃ихъ мѣченикъ агапіа
тимона и роміла, и иже съ ними. съ книго

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевъ въ лѣто Шиотворенія міра + Зуэ
Шиотвѣ же по плоти бѣа слова христіа, въ индикт.
ві въ мѣа генварѣ въ ѿ денѣ въ напразднество єса
по плоти обрѣзанія гдѣ бѣа и спаси нашего и
хла. и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
басиліа великааго, архієпіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть, того же лѣта, мѣа марта
въ ѿ денѣ въ памѧть ст҃ихъ мѣченикъ агапіа
тимона и роміла, и иже съ ними. съ книго

Адаптивная бинаризация WAN

42

- Назван по имени одного из авторов Wan Azani Mustafa, Mohamed Mydin M. Abdul Kader.
- Развитие метода Сауволы за счёт поднятия порога бинаризации:

$$T_{Wan} = m_{\max} \left(1 - k \left(1 - \frac{s}{R} \right) \right)$$

$$m_{\max} = \frac{\max(I(x, y)) + m}{2}$$

- Параметр k по умолчанию 0.2

Пример работы метода WAN

43

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцех въ лѣто ю отврѣнія міра + 373
шрѣтвѣ же по плоти вѣа слова христіа, въ индикт
бі въ мѣа генваря въ а дѣнь въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанія гдѣ вѣа и спаси нашего и
хь . и памѧть иже во стыихъ оца нашего
басилія великаго , архіепіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть , того же лѣта , въ мѣа марта
въ сї дѣнь въ памѧть стыихъ мученика агапія
тимона и романа , и иже съ ними . съ книго

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцех въ лѣто ю отврѣнія міра + 373
шрѣтвѣ же по плоти вѣа слова христіа, въ индикт
бі въ мѣа генваря въ а дѣнь въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанія гдѣ вѣа и спаси нашего и
хь . и памѧть иже во стыихъ оца нашего
басилія великаго , архіепіпа кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть , того же лѣта , въ мѣа марта
въ сї дѣнь въ памѧть стыихъ мученика агапія
тимона и романа , и иже съ ними . съ книго

Адаптивная бинаризация Сингха

44

- Вариация алгоритмов Ниблэка и Сауволы, где

$$T_{Singh} = m \left(1 + k \left(\frac{\delta}{1-\delta} - 1 \right) \right)$$

$$\delta(x, y) = I(x, y) - M(x, y)$$

- Параметр k выбирается из отрезка $[0, 1]$.

Пример работы метода Сингха

45

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевх въ лѣто ѿ отворенїя міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слова христ. въ индикт.
въ въ мѣса генварѧ въ 11 днѧ въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спаси нашего Іи
Ха. и памѧть иже во стыихъ Оца нашего
багдадскаго великааго архиепископа кесаринијского
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣса марта
въ 61 днѧ въ памѧть стыихъ мученикъ агапія
тимона и романа въ иже сѧ ними . сѧ книг

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
Единоверцевх въ лѣто ѿ отворенїя міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слова христ. въ индикт.
въ въ мѣса генварѧ въ 11 днѧ въ на празднество сѧ
по плоти обрѣзанїя гдѣ бѣа и спаси нашего Іи
Ха. и памѧть иже во стыихъ Оца нашего
багдадскаго великааго архиепископа кесаринијского
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣса марта
въ 61 днѧ въ памѧть стыихъ мученикъ агапія
тимона и романа въ иже сѧ ними . сѧ книг

Адаптивная бинаризация Вульфа

46

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

$$T_{Wolff} = (1 - k) \cdot m + k \cdot M + k \cdot \frac{S}{R} \cdot (m - M)$$

- где
 - $k = 0.5$,
 - M — минимум яркости по всему изображению,
 - $R = 128$ — аналогично методу Сауволы,
 - M и R оба вычисляются из гистограммы изображения.
- Метод справляется с недостаточной освещённостью и слабой контрастностью.
- Не любит резких изменений яркости фоновых пикселей, т.к. это влияет на M и R .

Пример работы метода Вульфа

47

при это троицко введенской цркви въ тѣпограф
единовѣрцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти егъ слова хвѣчъ, и индиктъ
въ, мѣса генваря въ а дѣнь въ на празднество ѿ
по плоти обрѣзанія гдѣ егъ и спасъ нашего и
хъ. и памѧть иже во стыихъ оца нашего
василія великаго, архіепика кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта, мѣса марта
въ сї дѣни въ на памѧть стыхъ мученикъ агапія
тимона и романа, и иже съ ними. съ книгою

при это троицко введенской цркви въ тѣпограф
единовѣрцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтвѣ же по плоти егъ слова хвѣчъ, и индиктъ
въ, мѣса генваря въ а дѣнь въ на празднество ѿ
по плоти обрѣзанія гдѣ егъ и спасъ нашего и
хъ. и памѧть иже во стыхъ оца нашего
василія великаго, архіепика кесаріи каппадокійскаго
совершенаже бысть въ тогоже лѣта, мѣса марта
въ сї дѣни въ на памѧть стыхъ мученикъ агапія
тимона и романа, и иже съ ними. съ книгою

Результаты бинаризации Вульфа



... suivants : les systèmes de phonologique qui changent en bloc aux facteurs qui donnent tendance à se diffuser dans les systèmes qui n'offraient pas au changement phonologique qui donnent tendance à se diffuser dans les systèmes qui n'offraient pas au changements : mais

Адаптивная бинаризация Феня и Тана

49

- Развитие метода Вульфа:

$$T_{Wolff} = (1 - k) \cdot m + k \cdot \frac{s}{R} \cdot (m - M) + k \cdot M$$

$$T_{FengTan} = (1 - \alpha_1) \cdot m + \alpha_2 \cdot \frac{s}{R} \cdot (m - M) + \alpha_3 \cdot M$$

- где

$$\alpha_2 = k_1 \cdot \left(\frac{s}{R} \right)^\gamma \quad \alpha_3 = k_2 \cdot \left(\frac{s}{R} \right)^\gamma \quad \alpha_1, \gamma, k_1, k_2 > 0$$

- Хорошие результаты дают:

$$\alpha_1 \in [0.1; 0.2],$$

$$\gamma = 2,$$

$$k_1 \in [0.15; 0.25],$$

$$k_2 \in [0.01; 0.05]$$

Адаптивная бинаризация NICK

50

- Назван по именам авторов: Nicole Vincent, Imran Siddiqi, Claudie Faure, Khurram Khurshid.
- Аналогичен алгоритму Ниблэка: действует в окрестности r площадью N пикселей, используется мат. ожидание m в окне r и параметр k .
- Отличается от алгоритма Ниблэка решающим правилом:

$$T_{NICK} = m + k \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{(i,j) \in r} I^2(i,j) - m^2 \right)} = m + k \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in r} I^2(i,j)}{N} - \frac{m^2}{N}}$$

- Особенно хорош для ярких изображений и изображений, где текст и фон очень близки по яркости.
- Требует ручного задания r и k .

Пример работы метода NICK

51

при и́то троицко введенской цркви въ тунограф
единовѣрцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ ржтвѣ же по плоти бгѧ слово хашчд въ индикт
бѣ въ мѣсѧ генварѧ въ 10 днѧ въ наѧзданіство въ
по плоти обрѣзанія гдѣ бгѧ и спасъ нашего и
хь . и памѧть иже во стыихъ оца нашего
басилія великаго архіепіка кесаріи каппадокійскаго
вовершенаже бысть въ тогѹ же лѣта въ мѣсѧ марта
въ 61 днѧ въ на памѧть стыихъ мученика агапіта
тимона и романа и иже съ ними . съ книгою

при и́то троицко введенской цркви въ тунограф
единовѣрцевъ въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ ржтвѣ же по плоти бгѧ слово хашчд въ индикт
бѣ въ мѣсѧ генварѧ въ 10 днѧ въ наѧзданіство въ
по плоти обрѣзанія гдѣ бгѧ и спасъ нашего и
хь . и памѧть иже во стыихъ оца нашего
басилія великаго архіепіка кесаріи каппадокійскаго
вовершенаже бысть въ тогѹ же лѣта въ мѣсѧ марта
въ 61 днѧ въ на памѧть стыихъ мученика агапіта
тимона и романа и иже съ ними . съ книгою

Адаптивная бинаризация Гатоса

52

- Составляются 2 вспомогательных изображения. Первое изображение является бинаризованным по алгоритму Ниблэка и служит для определения фона и расположения объектов.
- Второе изображение строится с использованием первого по следующему принципу: изображение становится идентичным оригинальному, изображены все точки, а соответствующие точки со значением «1» из первого изображения заменяются на интерполированные значения цвета соседних точек. В итоге получается фоновое изображение.
- Выбирается каждая точка исходного изображения, и если разница между цветом точки и цветом соответствующей точки из фонового изображения больше порога, вычисляемого по определённой формуле, то результатом бинаризации точки является «1», а в противном случае — «0».
- Также используется фильтр Винера

$$B(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{if } N(x, y) = 0 \\ \frac{\sum_{i=x-dx}^{x+dx} \sum_{j=y-dy}^{y+dy} (I(i, j)(1 - N(i, j)))}{\sum_{i=x-dx}^{x+dx} \sum_{j=y-dy}^{y+dy} (1 - N(i, j))} & \text{if } N(x, y) = 1 \end{cases}$$

$$I(x, y) = \mu + (\sigma^2 - v^2) \left(I_s(x, y) - \mu \right) / \sigma^2$$
$$T(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } B(x, y) - I(x, y) > d(B(x, y)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пример работы метода Гатоса

53

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцевх въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слова хвѣчд въ индикт
ві въ мѣа генварѧ въ ۚ дѣнь въ наѣзднество ѿ
по плоти обрѣзанїј гдѣ бѣа и спаси нашего й
хл. и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
василіј великағо архіепіпа кесарін каппадокійскіј
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ ۚ дѣна въ памѧть ст҃ихъ мѹченникъ агапіј
тимона и романа и иже съ ними . съ книг

при и́то троицко введенской цркви въ түпограф
единоверцевх въ лѣто ѿ сотворенія міра + 373
ѡ рѣтка же по плоти бѣа слова хвѣчд въ индикт
ві въ мѣа генварѧ въ ۚ дѣнь въ наѣзднество ѿ
по плоти обрѣзанїј гдѣ бѣа и спаси нашего й
хл. и памѧть иже во ст҃ихъ оца нашего
василіј великағо архіепіпа кесарін каппадокійскіј
совершенаже бысть въ тогоже лѣта въ мѣа марта
въ ۚ дѣна въ памѧть ст҃ихъ мѹченникъ агапіј
тимона и романа и иже съ ними . съ книг

Адаптивная бинаризация Яновица и Брукштейна

54

- 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:

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

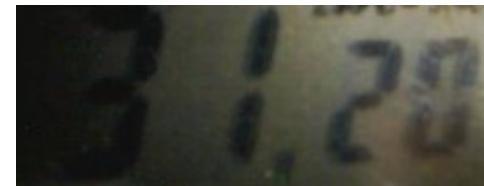
$$R_n(x, y) = P_n(x-1, y) + P_n(x+1, y) + P_n(x, y-1) + P_n(x, y+1) - 4 \cdot P_n(x, y)$$

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

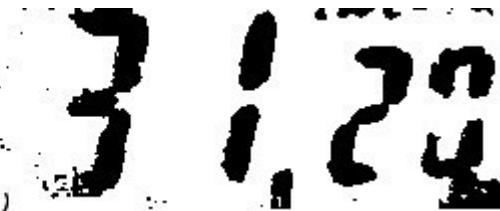
Примеры работы адаптивных алгоритмов бинаризации

55

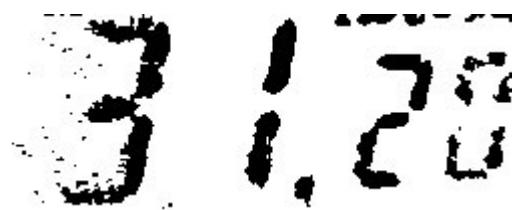
Исходное изображение



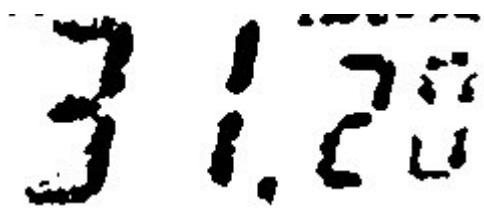
Метод Ниблэка



Метод Вульфа



Метод Брэдли



Брэдли + медианный фильтр

Примеры работы адаптивных алгоритмов бинаризации (2)

56



Исходное изображение

Метод Брэдли-Рота

Метод Вульфа

ЧТО ПОЧИТАТЬ

57

- Anjos A., Shahbazkia H. Bi-Level Image Thresholding - A Fast Method // BIOSIGNALS 2008. Vol:2. P:70-76.
- Bernsen J. Dynamic thresholding of gray level images // Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR). — Paris. — 1986. P. 1251–1255.
- Bataineh , Abdullah, Omar An adaptive local binarization method for document images based on a novel thresholding method and dynamic windows // Pattern Recognition Letters 32 (2011) 1805–1813
- Bradley D. Adaptive thresholding using the integral image / D. Bradley, G. Roth // Journal of graphics tools. — 2007. — Vol. 12, № 2. — P. 13–21.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.420.7883>
- Chow C.K. and Kaneko T. Automatic Boundary Detection of the Left Ventricle from Cineangiograms, Comp. Biomed. Res.(5), 1972, pp. 388–410.
- Feng M.-L., Tan Y.-P. Contrast adaptive binarization of low quality document images, IEICE Electronic Express, Vol.1, No.16, 501–506, 2004.
http://web.mit.edu/mfeng/www/papers/mengling_ieice.pdf
- Gatos, Pratikakis, Perantonis An Adaptive Binarization Technique for Low Quality Historical Documents // Document Analysis Systems VI, 6th International Workshop, DAS 2004, Florence, Italy, September 8–10, 2004, Proceedings. Pp 102–113
- 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.
- Khurshid K., Siddiqi I., Faure C., Vincent N. Comparison of Niblack inspired binarization methods for ancient documents. 16th International conference on Document Recognition and Retrieval, USA, 2009, pp. 1–10.
- Mustafa W.A., Kader M.M.M.A. Binarization of Document Image Using Optimum Threshold Modification // J. Phys.: Conf. Ser. 1019 012022
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1019/1/012022/pdf>
- Niblack W. An introduction to digital image processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. — 1986. — P. 215 (115–116)
- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 1979. — Vol. 9, № 1. — P. 62–66.
- Sauvola J. Adaptive document image binarization / J. Sauvola, M. Pietikäinen // Document Analysis and Recognition. — 1997. — Vol. 1. — P. 147–152.
https://www.researchgate.net/publication/3710586_Adaptive_Document_Binarization
- B. Su, S. Lu, and C. L. Tan, "Document Image Binarization Using Background Estimation and Stroke Edges," Proc. Intl. Journal on Document Analysis &Recognition, Vol. 13, No. 4, pp. 303-314, 2010.

ЧТО ПОЧИТАТЬ

58

- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. Москва: Техносфера, 2012. — 1104 с.
- 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
- 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>
- J.R.Parker - Algorithms for Image Processing and Computer Vision_2011 2nd edition
http://www.manalhelal.com/Books/crol/Algorithms%20for%20Image%20Processing%20and%20Computer%20Vision_2011.pdf
- <https://pypi.org/project/doxapy/>
- Yanowitz S., Bruckstein A.M. A New Method for Image Segmentation //Computer Vision Graphics and Image Processing · April 1989
- Мищенко В. А., Коробкин А. А. Предварительная обработка изображения в процессе распознавания текста // «Фундаментальные исследования» 2011, номер 8 (часть 3), с. 652–655.