

ЛЕКЦИЯ 2. БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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.

5



Полутон → Чёрно-белый

Глобальная бинаризация изображений

Адаптивная бинаризация изображений

Бинаризация изображений

7

- **Бинаризация** изображения (thresholding) — процесс преобразования полутонового 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.

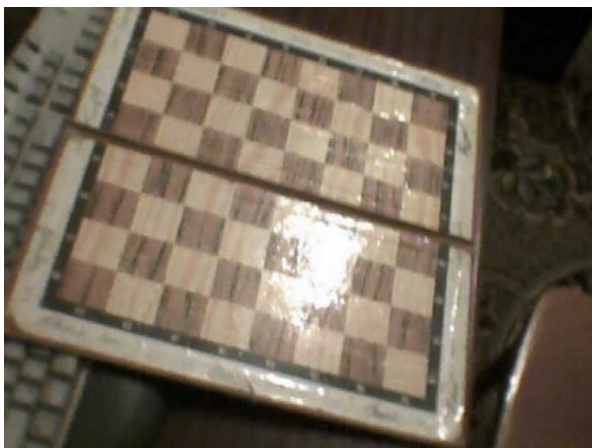
Адаптивная бинаризация (локальная)

11

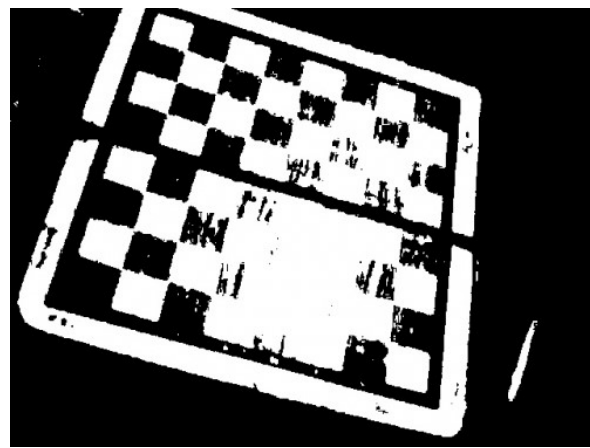
- В *локальных* (адаптивных) методах пороговое значение меняется для каждой точки с учётом особенностей окрестности данной точки.
- Недостатком такого рода преобразований является **низкая скорость работы** алгоритмов, связанная с индивидуальным расчётом пороговых значений для каждой точки изображения.

Примеры

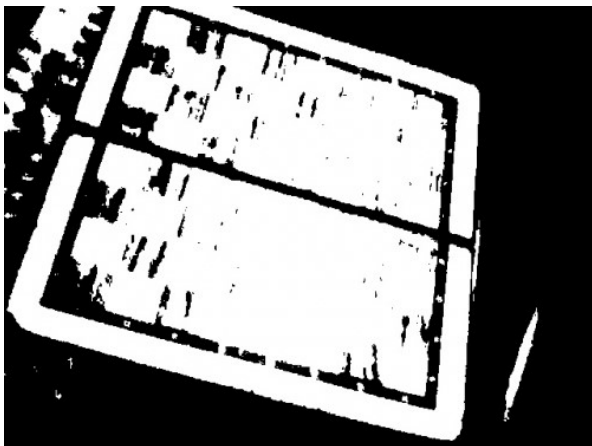
12



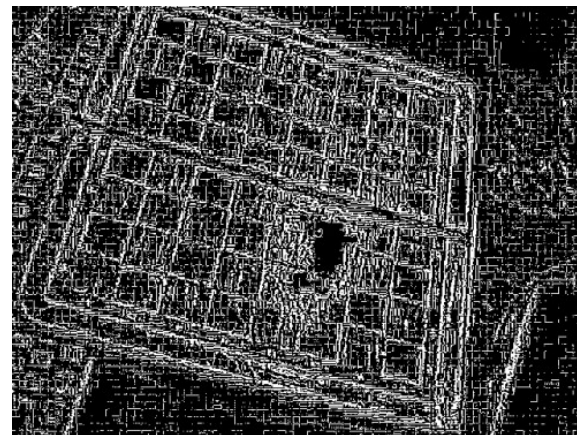
Исходное



Порог 128



С критерием Отсу

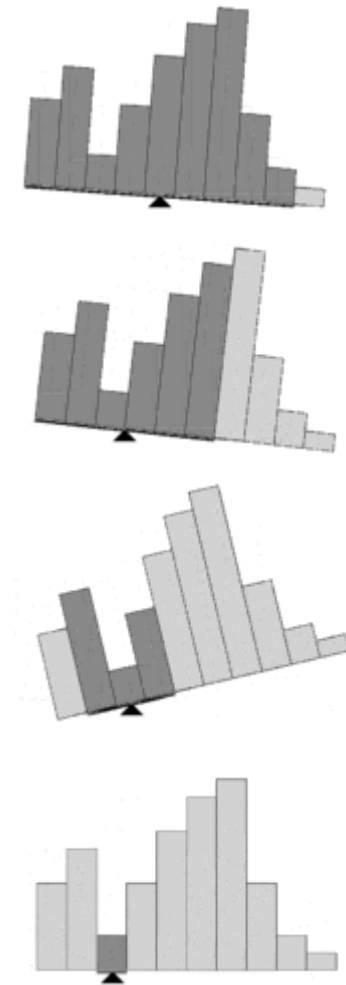


Адаптивное монохромное
преобразование

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 :

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

- средние уровни M яркости в каждой зоне:

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

- дисперсию классов D :

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

- Внутрикласовая 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

при сѣмъ троицко кведѣнскои цркви ꙗзъꙋ пограф
единокѣрецкы ꙗзъꙋ лѣто шестотвореніа міра 7353
шрижтѣаже поплоти бг҃а слова 7 ащѣдъ индиктъ
бѣ ꙗзъꙋ генварѣа въ а дѣнь ꙗзъꙋ на праздниство ея
поплоти обрѣзаніа гд҃а бг҃а и спса нашегю и
ха . и паматѣ иже во стѣхъ оца нашегю
василѣа великагю ꙗзъꙋ архієписпа кесарін каппадокійскіа
совершенѣаже бысть ꙗзъꙋ того же лѣта ꙗзъꙋ мартѣа
въ еи дѣнь ꙗзъꙋ на паматѣ стѣхъ мученикъ агапѣа
тимона и роміла ꙗзъꙋ и иже съ нимъ . съ книгѣ

при сѣмъ троицко введѣнскѣ цркви > въ тѣмъ
ѣдинобѣрцехъ > въ лѣто ѿ сотворѣнїа мїра
ѿржѣтка же по плоти бѣа слова ꙗѿѣдъ > и
бѣ > мѣа генварѣа въ а дѣнь > на прѣзидѣнство
по плоти окрѣзанїа гдѣ бѣа и спса нашегѣ
ха . и пѣмѣа иже во стѣхъ оца на
басѣа велїкагѣа > архїепїпа кесарїа каппадокїе
совершенѣаже крѣста > того же лѣта > мѣа мѣрт
въ сї дѣнь > на пѣмѣа стѣхъ мѣченнїхъ агѣпѣ
тїмона и ромїла > и иже сѣхъ нїмн . сѣхъ крѣ

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:

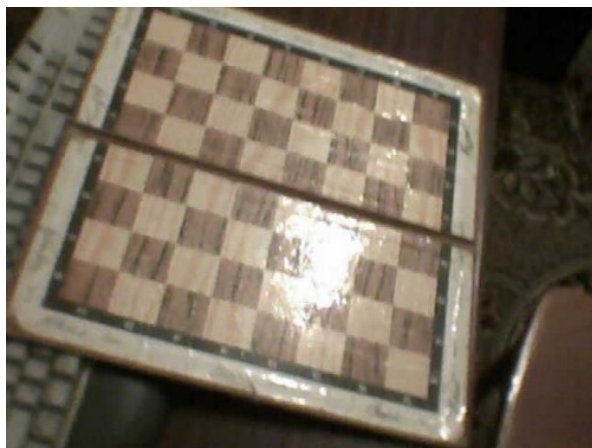
$$Avg(x, y) = \frac{1}{2} \left(\max_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) + \min_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) \right)$$

- Решающее правило:

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

Примеры адаптивного монохромного преобразования

19



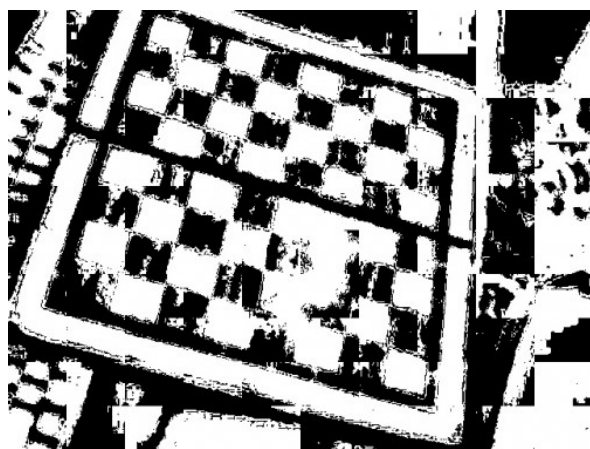
Исходное



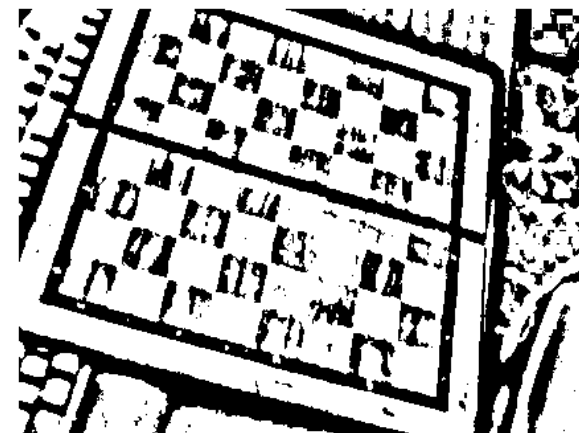
АМП с размером блока 25



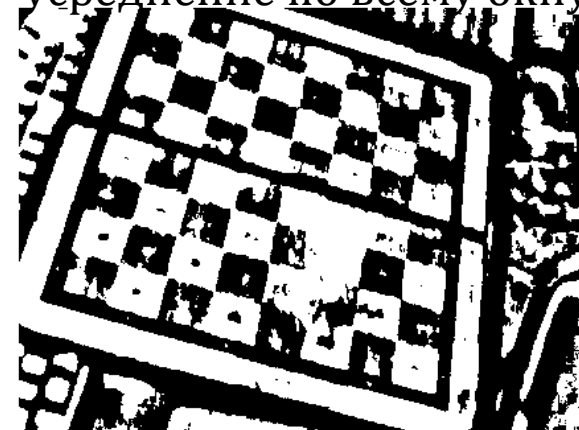
АМП с гауссианом



Пороговая + АМП



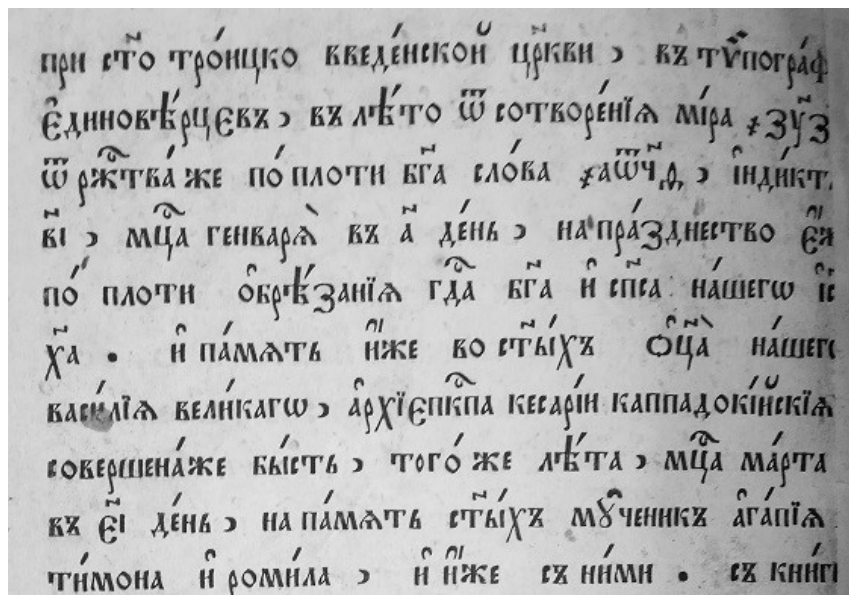
АМП с размером блока 25,
усреднение по всему окну



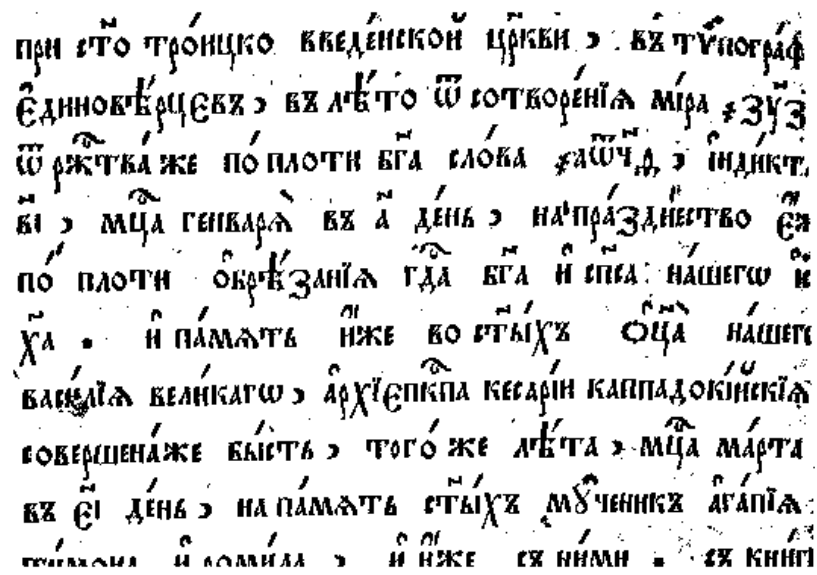
АМП с размером блока 25,
усреднение минимаксное

Пример работы АМП

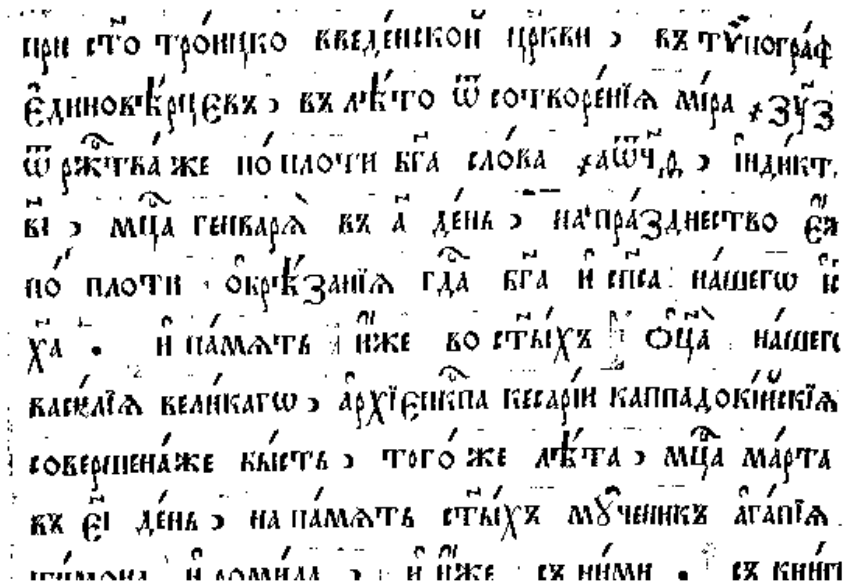
20



Исходное



АМП с размером блока 25,
усреднение по всему окну



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:
$$\text{Avg}(x, y) = \frac{1}{2} \left(\max_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) + \min_{(r,s) \in \Omega} I(r, s) \right)$$
 - ▣ 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** $C(x, y) < \text{contrast_limit}$
 - то**
$$\text{Bin}(x, y) = 1 \text{ \# значение по умолчанию (цвет фона, 1)}$$
 - иначе**
$$\text{Bin}(x, y) = \lceil I(x, y) \geq \text{Avg}(x, y) \cdot (1 - t) \rceil$$

Интегральное представление изображения

22

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

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

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

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

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

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

- 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:

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

- 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	3	3
0		1	2	5		5	5
0		1	2	6		6	6
0	D	1	2	7	C	7	7
0		1	3	9		10	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

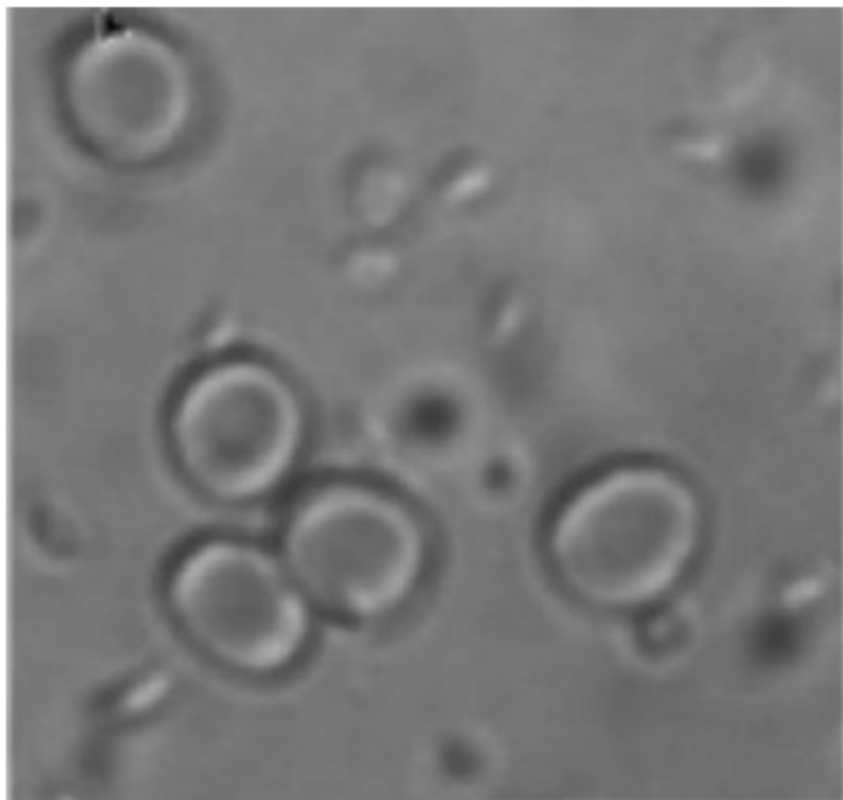
Улучшенный метод Бернсена

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 сто тронцко введенион цркви > вх тѣпограф
ѣдинокѣрцехъ > вх лѣто ѿ сотворенїа мїра & ЗѹЗ
ѿ ржѣтѣа же по плоти бѣа слова & аѿѣдъ > индикт
ѣ > мѣа генкарѣ вх а дѣна > на прѣзднество ѣа
по плоти обрѣзанїа гдѣ бѣа ѿ спѣа нашегѡ ѿ
ха . ѿ пѣмѣтѣа ѿже во стѣихъ оца нашегѡ
каскѣаа велїкагѡ > архїєписѣа кесарїн каппадокїнскїа
совершенѣаже вѣстѣа > того же лѣта > мѣа мѣрта
вх ѣ дѣна > на пѣмѣтѣа стѣихъ мѣченикѡ агапѣа
тїмона ѿ ромїла > ѿ ѿже сѣх ѿнїа . сѣх кнїгѣ

при сто тронцко введенион цркви > вх тѣпограф
ѣдинокѣрцехъ > вх лѣто ѿ сотворенїа мїра & ЗѹЗ
ѿ ржѣтѣа же по плоти бѣа слова & аѿѣдъ > индикт
ѣ > мѣа генкарѣ вх а дѣна > на прѣзднество ѣа
по плоти обрѣзанїа гдѣ бѣа ѿ спѣа нашегѡ
ха . ѿ пѣмѣтѣа ѿже во стѣихъ оца нашегѡ
каскѣаа велїкагѡ > архїєписѣа кесарїн каппадокїнскїа
совершенѣаже вѣстѣа > того же лѣта > мѣа мѣрта
вх ѣ дѣна > на пѣмѣтѣа стѣихъ мѣченикѡ агапѣа

Адаптивная бинаризация Брэдли-Рота

27

- Для удобства вычислений строится интегральная матрица $I(x, y)$.
- В цикле по всем пикселям исходного изображения проходится квадратная апертура заданного размера $D \times D$, $r = \lfloor D/2 \rfloor$. Например, $D = \lfloor \text{Width}/8 \rfloor$ 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 $D \times D$.

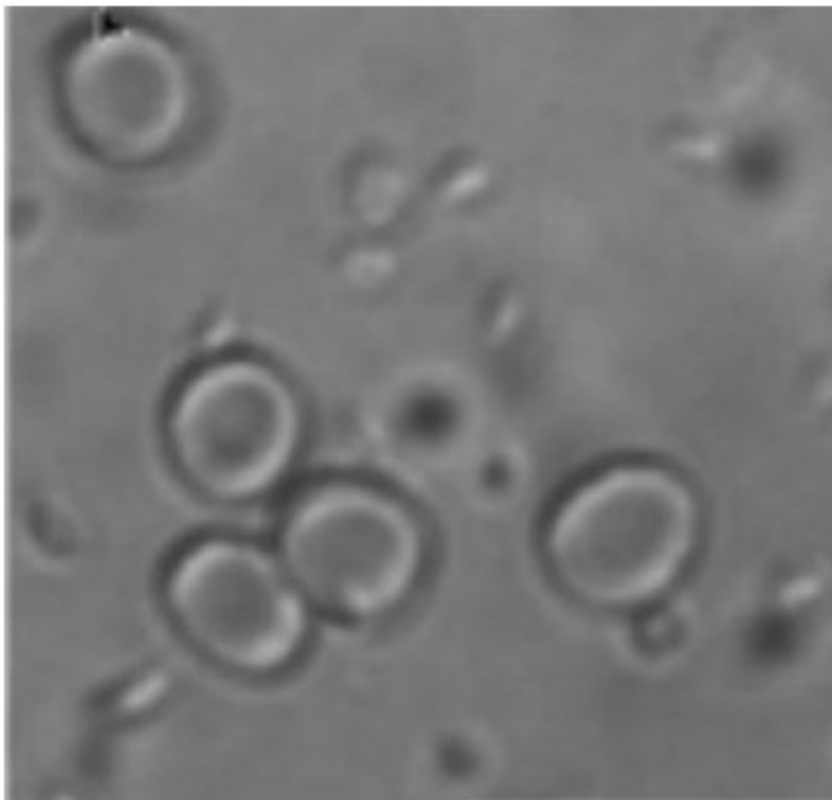
Псевдокод метода Брэдли-Рота

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

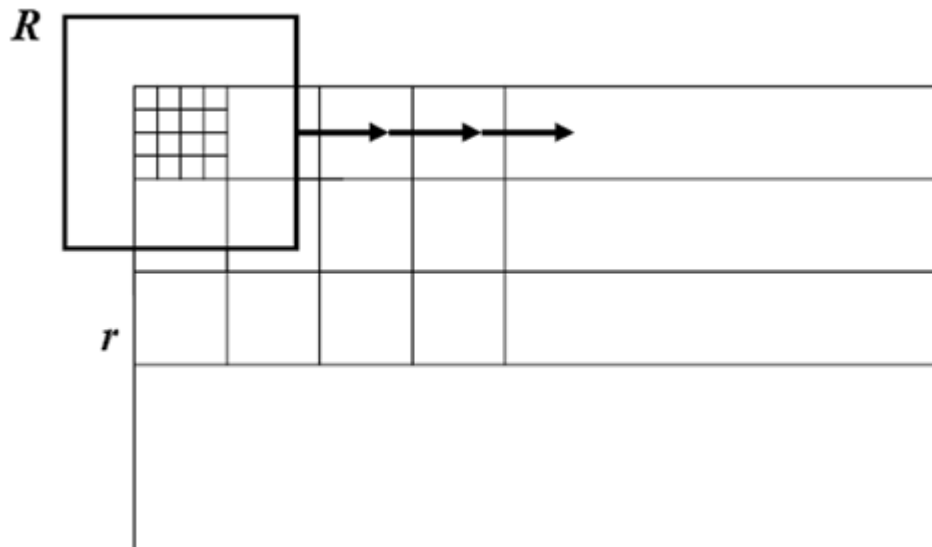
при сѣто тронцко введенион цркви > въ тѣпограф
ѣднновѣрцевъ > въ лѣто ѿ сотвореніа міра & ЗѸЗ
ѿ ржѣтва же по плоти бѣа слова & аѿѿдъ > индикт
ѣ > мѣа генварѣ въ а дѣнь > на прѣзднество ѣа
по плоти обрѣзаніа гдѣ бѣа и спѣа нашегѡ и
ха . и пѣмѣтъ иже во стѣихъ оца нашегѡ
василѣа великагѡ > архієписѣа кесарін каппадокіиискіа
свершенѣаже бысть > того же лѣта > мѣа мѣрта
въ ѣ дѣнь > на пѣмѣтъ стѣихъ мѣченикѡ агапіа
тѣмона и роміа > и иже съ нимъ . съ кнѣги

при сѣто тронцко введенион цркви > въ тѣпогра
ѣднновѣрцевъ > въ лѣто ѿ сотвореніа міра & ЗѸЗ
ѿ ржѣтва же по плоти бѣа слова & аѿѿдъ > индикт
ѣ > мѣа генварѣ въ а дѣнь > на прѣзднество ѣа
по плоти обрѣзаніа гдѣ бѣа и спѣа нашегѡ
ха . и пѣмѣтъ иже во стѣихъ оца нашегѡ
василѣа великагѡ > архієписѣа кесарін каппадокіиискіа
свершенѣаже бысть > того же лѣта > мѣа мѣрта
въ ѣ дѣнь > на пѣмѣтъ стѣихъ мѣченикѡ агапіа

Адаптивная бинаризация Айквил

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

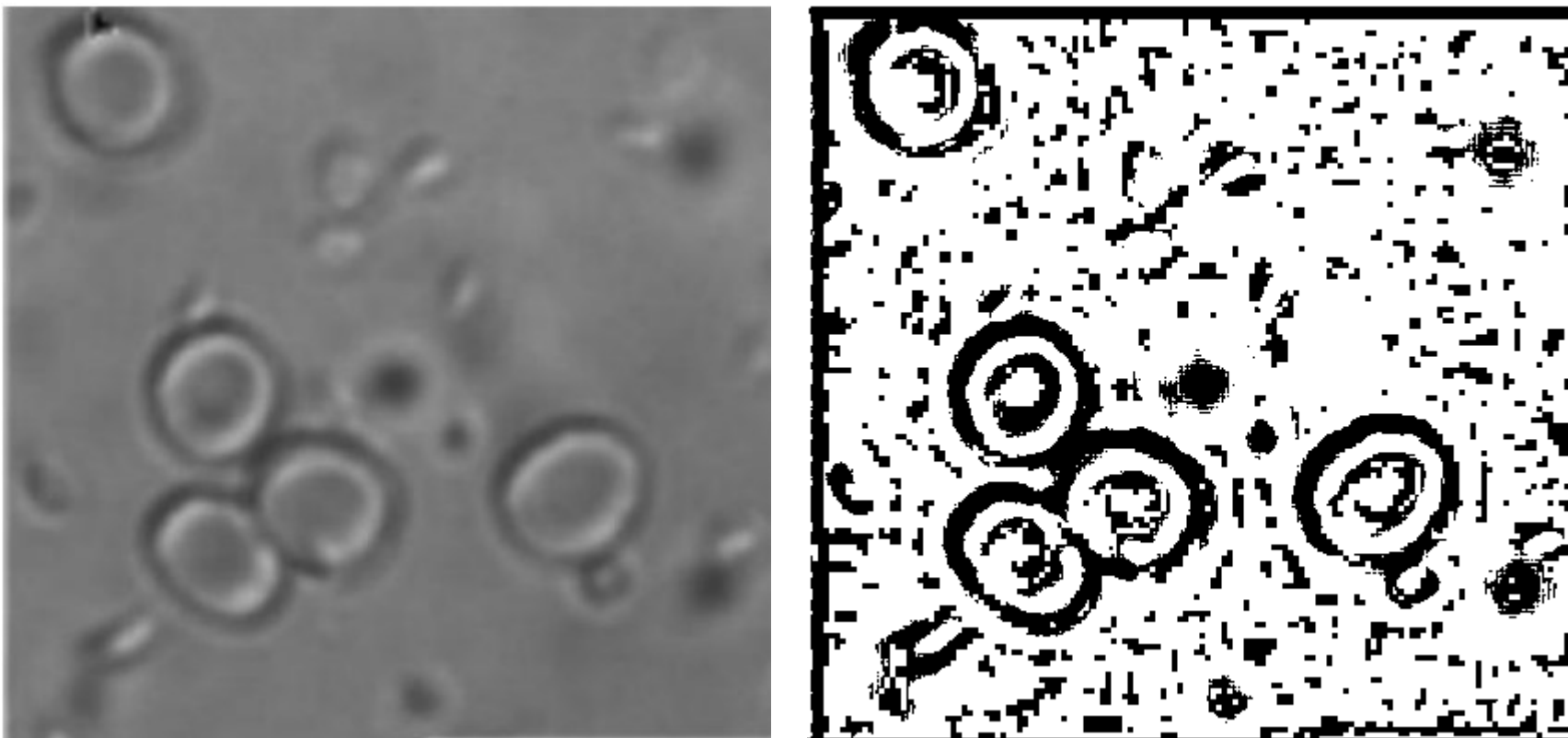
Адаптивная бинаризация Айквилль (2)

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 Айквилль

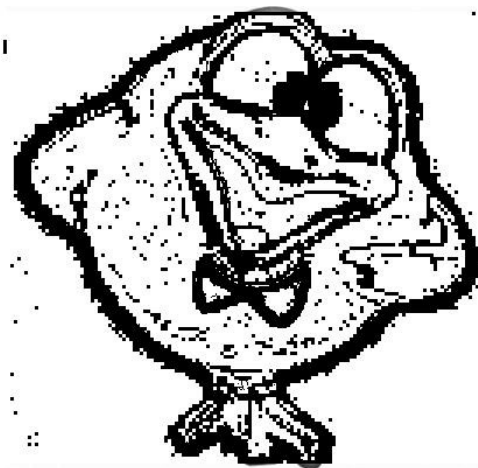
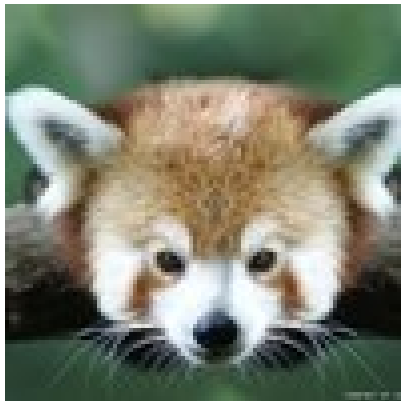
34

при сѣмъ трѣницѣ кведѣнскѣ цркви > въ тѣпограф
ѣдиновѣрцехъ > въ лѣтѣ шестокореніа міра #ЗУЗ
шрѣтка же по плоти бѣа слова #аѡчд > индикт
бѣ > мѣа генварѣа въ а дѣнь > на празднество сѣ
по плоти обрѣзаніа гдѣ бѣа и спса нашего и
ха . и памѣть иже во стѣхъ оца нашего
касила великаго > архієписпа кесарін каппадокіи
совершена же бысть > того же лѣта > мѣа марта
въ сѣ дѣнь > на памѣть стѣхъ мученикхъ агапіа
тимона и роміа > и иже съ ними . съ книгі

при сѣмъ трѣницѣ кведѣнскѣ цркви > въ тѣпограф
ѣдиновѣрцехъ > въ лѣтѣ шестокореніа міра #ЗУЗ
шрѣтка же по плоти бѣа слова #аѡчд > индикт
бѣ > мѣа генварѣа въ а дѣнь > на празднество сѣ
по плоти обрѣзаніа гдѣ бѣа и спса нашего и
ха . и памѣть иже во стѣхъ оца нашего
касила великаго > архієписпа кесарін каппадокіи
совершена же бысть > того же лѣта > мѣа марта
въ сѣ дѣнь > на памѣть стѣхъ мученикхъ агапіа
тимона и роміа > и иже съ ними . съ книгі

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 устранялись шумы. Хорошие результаты даёт окно 15×15 .
- Значение порога яркости в точке (x, y) вычисляется так:

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

- 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.**

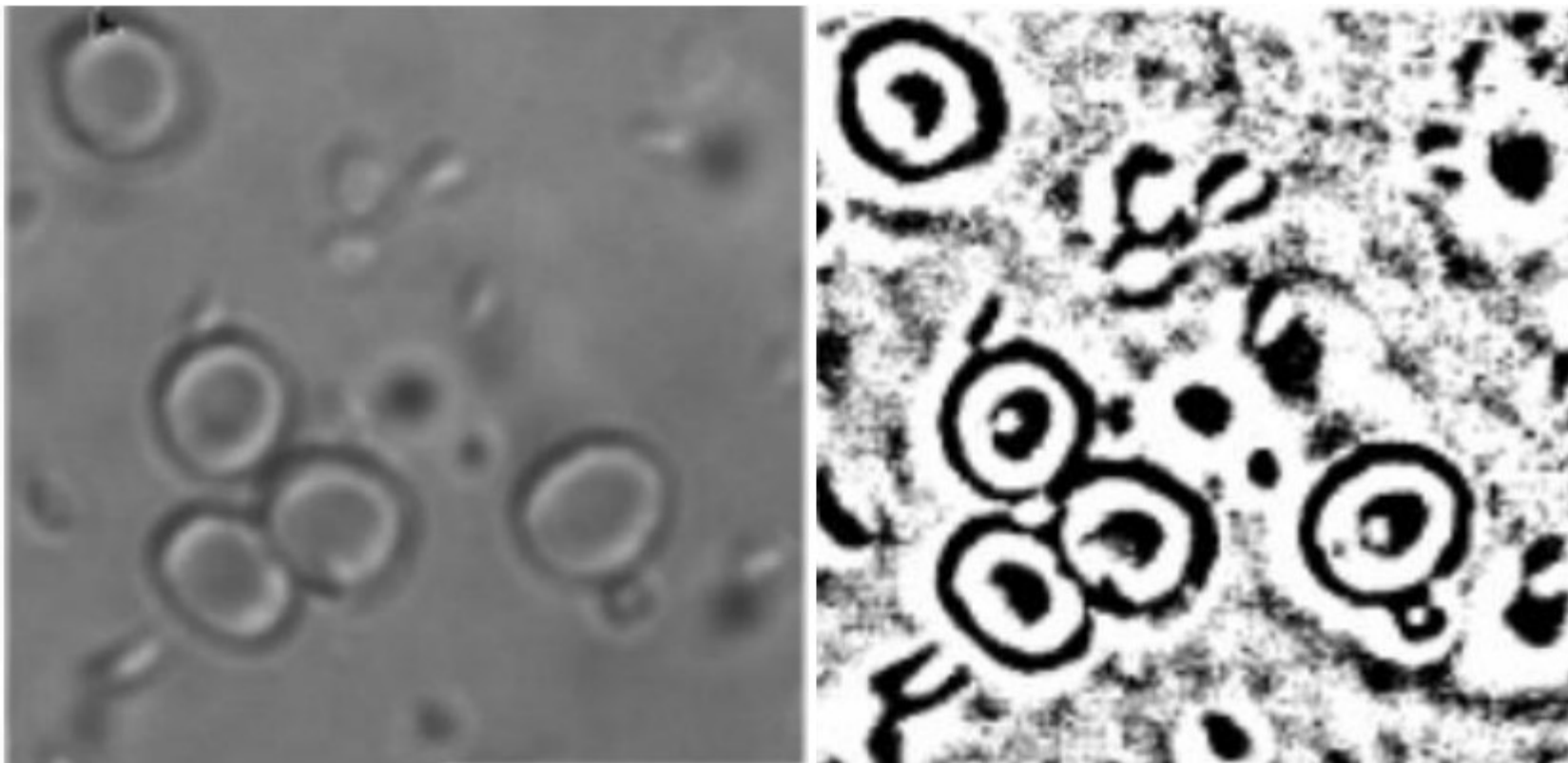
Адаптивная бинаризация Ниблэка (2)

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 k 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 сѣѣ трѣицѣо введѣнскѣи цркви > вх тѣпограф
ѣднѣовѣрцѣвх > вх лѣѣто ѿ сотворѣнїа мїра & ЗѸЗ
ѿ ржѣтѣа же по плѣти бѣа слоѣа & ѿ ѿѣд > индикт
ѣи > мѣа генварѣа вх ѣ дѣнѣ > на прѣзднѣство ѣа
по плѣти ѡбрѣзанїа гдѣ бѣа ѣ спѣа нашегѣ ѣ
хѣ . ѣ пѣмѣтѣ ѣже во стѣхѣх Ѧѣа нашегѣ
васѣлїа велїкагѣ > ѣрхїѣскѣпа кесарїи каппадокїиѣскѣа
ѣѡвершенѣа же вѣстѣ > тогѣ же лѣѣта > мѣа мѣрта
вх ѣи дѣнѣ > на пѣмѣтѣ стѣхѣх мѣчениѣх ѣгѣпїа
тѣмѣона ѣ ромїла > ѣ ѣже ѣх ѣмѣн . ѣх кнїгѣ

при сѣѣ трѣицѣо введѣнскѣи цркви > вх тѣпограф
ѣднѣовѣрцѣвх > вх лѣѣто ѿ сотворѣнїа мїра & ЗѸЗ
ѿ ржѣтѣа же по плѣти бѣа слоѣа & ѿ ѿѣд > индикт
ѣи > мѣа генварѣа вх ѣ дѣнѣ > на прѣзднѣство ѣа
по плѣти ѡбрѣзанїа гдѣ бѣа ѣ спѣа нашегѣ ѣ
хѣ . ѣ пѣмѣтѣ ѣже во стѣхѣх Ѧѣа нашегѣ
васѣлїа велїкагѣ > ѣрхїѣскѣпа кесарїи каппадокїиѣскѣа
ѣѡвершенѣа же вѣстѣ > тогѣ же лѣѣта > мѣа мѣрта
вх ѣи дѣнѣ > на пѣмѣтѣ стѣхѣх мѣчениѣх ѣгѣпїа
тѣмѣона ѣ ромїла > ѣ ѣже ѣх ѣмѣн . ѣх кнїгѣ

Адаптивная бинаризация Сауволы

40

- В цикле по всем пикселям исходного изображения проходится квадратная апертура заданного размера $w \times w$.

- Порог вычисляется с использованием значений M 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 полутоновых изображений ($R = 128$),
 - k в диапазоне $[0.2, 0.5]$.
- Для удобства вычислений составляются два вспомогательных интегральных изображения:
 - Кумулятивные суммы яркостей исходных пикселей I ;
 - Кумулятивные суммы квадратов яркостей исходных пикселей.

- Тогда:

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

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

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

Пример работы метода Сауволы

при еѣ трѡнцко кведѣнекой цркви ѿ вх тѣпограф
Едновѣрцевъ ѿ вх лѣто ш сотворенїа мїра ꙗзꙋз
ш ржтва же по плоти бга слова ꙗшчѣ индикт
вї ѿ мца генваря вх а дѣнь ѿ на празденство ея
по плоти обрѣзанїа гда бга н спса нашегѡ и
ха . н памать нже во ст҃ыхъ оца нашегѡ
василїа великагѡ архїепска кесарїи каппадокїискїа
совершенїе бысть тогѡ же лѣта ѿ мца марта
вх еї дѣнь ѿ на памать ст҃ыхъ мученикx агапїа
тїмона н ромїла ѿ н нже съ нимн . съ книгѣ

при сто тронцко введѣнскои цркви ⁊ въ тѣнографъ
 едннокрѣсцѣх ⁊ въ лѣто ш сотворѣнїа міра ⁊ зѹзъ
 ш ржѣтка же по плоти бѣа слова ꙗшѹда ⁊ индикт.
 бѣ ⁊ мѣца генварѣа въ а дѣнь ⁊ на празднество еѣ
 по плоти обрѣзанїа гдѣа бѣа ѿ спѣа нашегѡ ѿ
 хѣа . ѿ пѣмѣтѣ ѿже во стѣхъ оца нашегѡ
 вѣщѣаа велѣкагѡ ⁊ архїепископа кесарїа каппадокіискїа
 совершенѣаже вѣсть ⁊ того же лѣта ⁊ мѣца мѣрта
 въ еї дѣнь ⁊ на пѣмѣтѣ стѣхъ мѹченикѣхъ агѣпѣа
 тїмона ѿ ромїаа ⁊ ѿ ѿже сѣхъ нѣмѣн . сѣхъ кнїгѣ

Адаптивная бинаризация WAN

42

- Назван по имени одного из авторов Wan Azani Mustafa, Mohamed Mydin M. Abdul Kader.
- Развитие метода Сауволя 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

при еѣ трѡнцѣ кѣдѣнскѣ цркви ѡ кѣтѣпографѣ
ѣднѡвѣрцѣх ѡ кѣ лѣто ѡ сотворѣнїа мїра 4353
ѡ ржѣва же по плѡти бѣа слова 4554 ѡ индиктѣ
кѣ ѡ мѣа генварѣ кѣ а дѣнь ѡ на прѣзненствѣ бѣ
по плѡти обрѣзанїа гдѣ бѣа ѡ спѣа на шегѣ ѡ
ха ѡ ѡ пѣмѣтѣ ѡ же ѡ еѣх ѡ оѣа на шегѣ
касмѣа келнѣа ѡ архїепѣпа келарїн каппадокїнскїа
ѡ ѡвершенѣа бѣстѣ ѡ тогѣ же лѣта ѡ мѣа мѣрта
кѣ еѣ дѣнь ѡ на пѣмѣтѣ еѣх мѣченикѣх агѣпѣа
тїмона ѡ ромїла ѡ ѡ ѡ же еѣ нїмн ѡ еѣ кнїгѣ

при сто тронцко введеникоу цркви, въ тѣ поры
единобѣрцевъ, въ лѣто ш сотвореніа міра, 353
ш ржтва же по плоти бѣа мѡва, 354, индикт.
бѣ, мѣа генварѣа въ а дѣнь, на празникство св
по плоти обрѣзаніа гдѣа бѣа и спсѣа нашегѡ
хѣа. и пѣмѣа иже во стѣхъ оца нашеи
вѣмѣа великагѡ, архієпископа кесаріа каппадокіи
свершенѣаже бытъ, того же лѣта, мѣа мѣрта
въ еі дѣнь, на пѣмѣа стѣхъ мѣченикѡвъ агапіѡ
тѣмона и ромѣа, и иже съ нимѡи. съ кѣмѡ

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 сѣмъ тронцѣ кведѣнскѣ цркви ѿ вѣтъпограф
единокѣрцевъ ѿ лѣта ѿ сотворенїа мїра ꙗзꙋз
ѿ ржтва же по плоти бг҃а слова ꙗхѡдъ индикт.
кѣ мца генварѣ въ а дѣнь на празденство ея
по плоти обрѣзанїа гда бг҃а н спса нашегѡ и
ха . н памать нже во стѣхъ оца нашегѡ
василѣа великагѡ архієписпа кесарін каппадокійскѣа
совершенѣе кысть тогѡ же лѣта мца марта
въ еи дѣнь на памать стѣхъ мученикъ агапѣа
тимона н ромѣла . н нже съ нимъ . съ книгѣ

при сто тронико введенико цркви ⁊ възтѣнограф
ѣдинокѣрцех ⁊ възлѣго ѿ сотворѣнїа мїра ⁊ зѣз
ѿржтка же по плоти бѣа слога ⁊ ѿчѣд ⁊ индикт.
ѣ ⁊ мѣа генварѣ въз а дѣнѣ ⁊ на прѣзидѣнство ѣ
по плоти окрѣзанїа гдѣ бѣа ѿ спѣа нашегѣ ѿ
ха . ѿ пѣмѣтѣ ѿже во стѣихъ оца нашегѣ
бѣаѣа великагѣ ⁊ архїепископа кесарїи каппадокіискѣа
совершенѣже вѣстѣ ⁊ того же лѣта ⁊ мѣа мѣрта
въ ѣ дѣнѣ ⁊ на пѣмѣтѣ стѣихъ мѣченикѣа агѣпѣа
чїмона ѿ ромѣла ⁊ ѿ ѿже съ нїмѣи . съ кнїгѣ

Адаптивная бинаризация Вульфа

46

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

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

- где
 - ▣ $k = 0.5$,
 - ▣ M — минимум яркости по всему изображению,
 - ▣ $R = 128$ — аналогично методу Сауволя,
 - ▣ 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 .

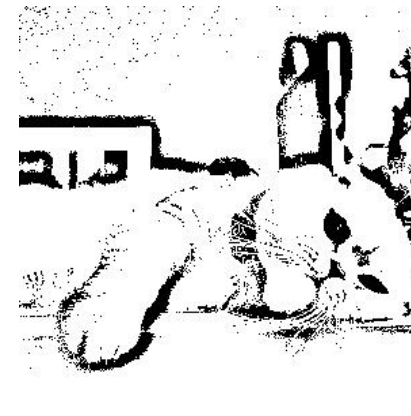
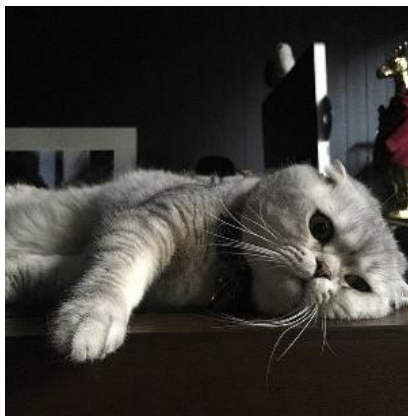
Пример работы метода Вульфа

при сѣмъ трѣхъ свѣдѣніи цркви ꙗко въ тѣхъ погрѣш
единицѣхъ ꙗко въ лѣтѣ шестотвореніа міра ꙗко 303
шестотвореніа же по плоти бѣа слово ꙗко 400 ꙗко индикт
бѣ ꙗко мѣсяца генварѣа въ 1 дѣнь ꙗко на праздникъ свѣ
по плоти обрѣзаніа гдѣ бѣа и спаса нашего и
ха . и пѣмъ иже во свѣтѣхъ оца нашего
василѣа великаго ꙗко архієпископа кесаріа каппадокійскіа
совершеніа же бѣа ꙗко того же лѣта ꙗко мѣсяца марта
въ 1 дѣнь ꙗко на пѣмъ свѣтѣхъ мученикѣхъ агѣпѣа
тѣмѣона и ромѣа ꙗко и иже съ нимъ . съ книгѣ

при еѣ троїцко вкеленскоѣ цркви ѡ вѣтѣнограф
единнобѣсствѣ ѡ вѣлѣто ѡ сотворенїа мїра ѡ зѣз
ѡ ржѣваже по плоти бѣа слова ѡ ѡчѣд ѡ индикт
ѡ мѣа гевара ѡ вѣ а дѣнѣ ѡ на прѣзидѣство ѡ
по плоти ѡ вѣзаниа гдѣ бѣа ѡ спѣа нашегѡ ѡ
ѡ . ѡ пѣмѣтъ ѡ нже во стѣхѣх ѡ ѡца нашегѡ
ѡ вѣмѣа вѣлѣкагѡ ѡ архѣспѣпа кесарѣн каппадокіѣнскѣа
ѡ вѣршенѣаже бѣстѣ ѡ тогѡ же лѣта ѡ мѣа мѣрта
ѡ вѣ еѣ дѣнѣ ѡ на пѣмѣтъ стѣхѣх мѣчѣннѣх ѡ гѣпѣа
ѡ тѣмѣона ѡ ромѣла ѡ ѡ нже ѡ х ѡ нѣмѣн . ѡ х кнѣнѣ

Результаты бинаризации Вульфа

48



les suivants : les systèmes de phonologie qui
changement phonologique qui
donné tend à se diffuser dans
systèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, causant
changements : mais

les suivants : les systèmes de phonologie qui
changement phonologique qui
donné tend à se diffuser dans
systèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, causant
changements : mais

les suivants : les systèmes de phonologie qui
changement phonologique qui
donné tend à se diffuser dans
systèmes qui n'offraient pas au
ires à sa naissance, causant
changements : mais

Адаптивная бинаризация Феня и Тана

49

- Развитие метода Вульфа:

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

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

- 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

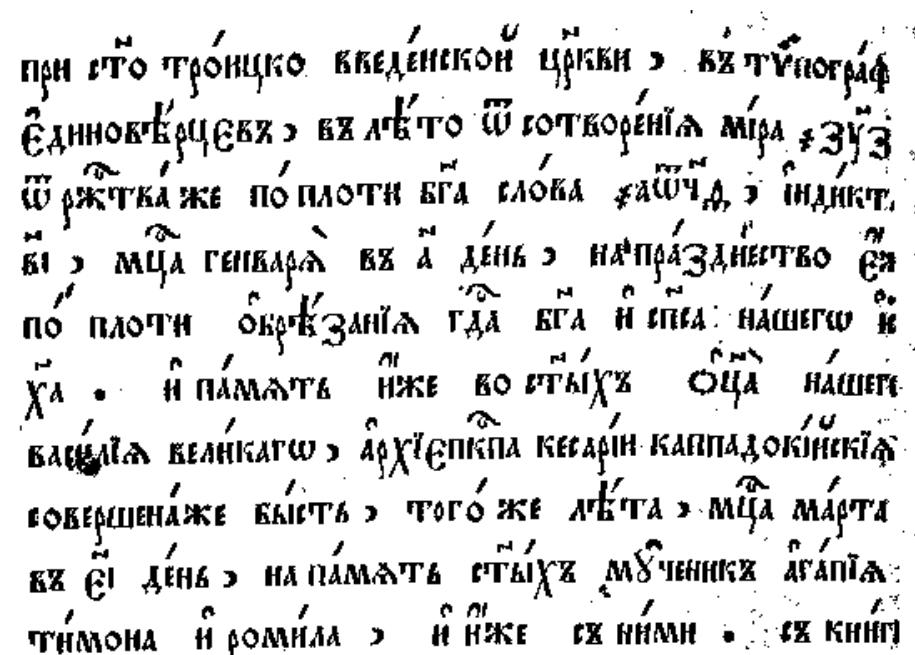
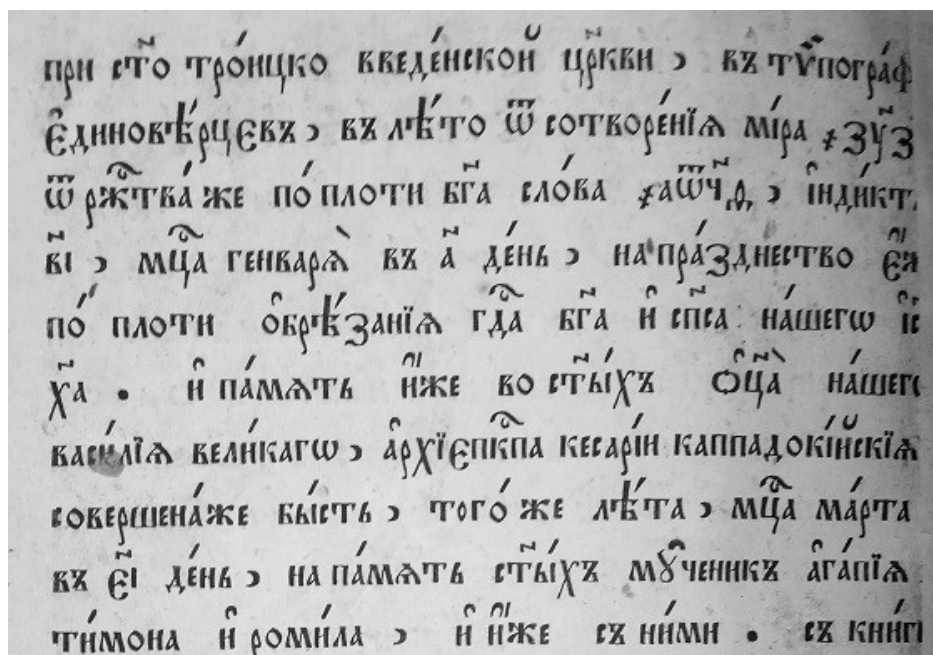
- Назван по именам авторов: **N**icole Vincent, **I**mran Siddiqi, **C**laudie Faure, **K**hurram Khurshid.
- Аналогичен алгоритму Ниблэка: действует в окрестности r площадью N пикселей, используется мат. ожидание m в окне r и параметр k .
- Отличается от алгоритма Ниблэка решающим правилом:

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

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

Пример работы метода NICK

51



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.

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

$$B(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{if } N(x, y) = 0 \\ \frac{\sum_{i=x-dx}^{x+dx} \sum_{j=y-dy}^{y+dy} (I(i, j)(1 - N(i, j)))}{\sum_{i=x-dx}^{x+dx} \sum_{j=y-dy}^{y+dy} (1 - N(i, j))} & \text{if } N(x, y) = 1 \end{cases}$$
$$I(x, y) = \mu + (\sigma^2 - v^2)(I_s(x, y) - \mu) / \sigma^2$$
$$T(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } B(x, y) - I(x, y) > d(B(x, y)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пример работы метода Гатоса

53

[illegible]

при сѣмъ трѣнице вкѣденскоѣ цркви ꙗко тѣмъ
 единоуспѣвѣхъ ꙗкоже въ лѣтѣ шестотворѣніа мѣсяца
 шестѣ ꙗже по плоти бѣа слово шестѣ индикт.
 въ мѣсяца гнѣва ꙗкоже дѣнь ꙗкоже на прѣзидѣнство
 по плоти окръжаніа гдѣ бѣа иже нашего и
 хѣ . и ꙗкоже иже во стѣхъ оца нашего
 вѣнчаніа великаго ꙗкоже архієпископа кесаріа каппадокіекаго
 совершеннаго въстѣ ꙗкоже того же лѣта ꙗкоже мѣсяца
 въ сѣ дѣнь ꙗкоже на ꙗкоже стѣхъ мученикъ аганіа
 тѣмъ и романа ꙗкоже и иже съ нимъ . съ кнѣмъ

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



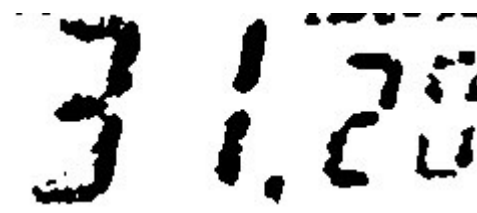
Метод Ниблэка



Метод Вульфа



Метод Брэдли



Брэдли + медианный фильтр

Примеры работы адаптивных алгоритмов бинаризации (2)

56



Исходное изображение

Метод Брэдли-Рота

Метод Вульфа

Что почитать

- 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.