Компьютерное зрение

Астана. Лекция 5

На прошлой лекции

- Цифровая обработка сигналов
- Сигналы и системы
- Свертка
- Преобразование Фурье
  - Спектр, высокие и низкие частоты
- Масштабирование изображений

На лекции

- Информация в изображении
- Предобработка изображения
  - Удаление шума в цветных изображениях
  - Удаление шума в бинарных изображениях
- Математическая морфология
- Анализ информации, содержащейся в изображении

Обработка и анализ изображений

- Обработка изображений
  - Image processing
- Компьютерное (машинное) зрение
  - Computer (machine) vision
- Компьютерная графика
  - Computer graphics

Изображение

Изображение оптическое – картина, получаемая в результате прохождения через оптическую систему лучей, распространяющихся от объекта, и воспроизводящая его контуры и детали.
Физический энциклопедический словарь.

Компьютерное представление изображения:

Функция от двух переменных

Используется дискретное представление

$$I = g(x, y), \{x \in [x_o, x_1],\ y \in [y_o, y_1]\}$$

$$I = g(i, j), \{i = \overline{1, n},\ j \in \overline{1, m}\}$$

Компьютерное зрение

- Цель
  - Принятие решений о реальных физических объектах и сценах, основываясь на воспринимаемых изображениях.
- Метод
  - Получение информации из изображений
  - Анализ и интерпретация полученной информации

Информация, содержащаяся в изображении

- Полезная информация
  - Информация низкого уровня
    - Области однородные по некому признаку
    - Границы однородных областей
    - Цвет, форма области
  - Информация высокого уровня
    - Объекты, содержащиеся на изображении
- Ошибочная информация (шум)

Предобработка изображения

- Подготовка изображения к анализу
  - Подавление и устранение шума
  - Упрощение изображения
    - например, бинаризация
  - Усиление и выделение полезной информации

Предобработка изображения

- Подавление и устранение шума

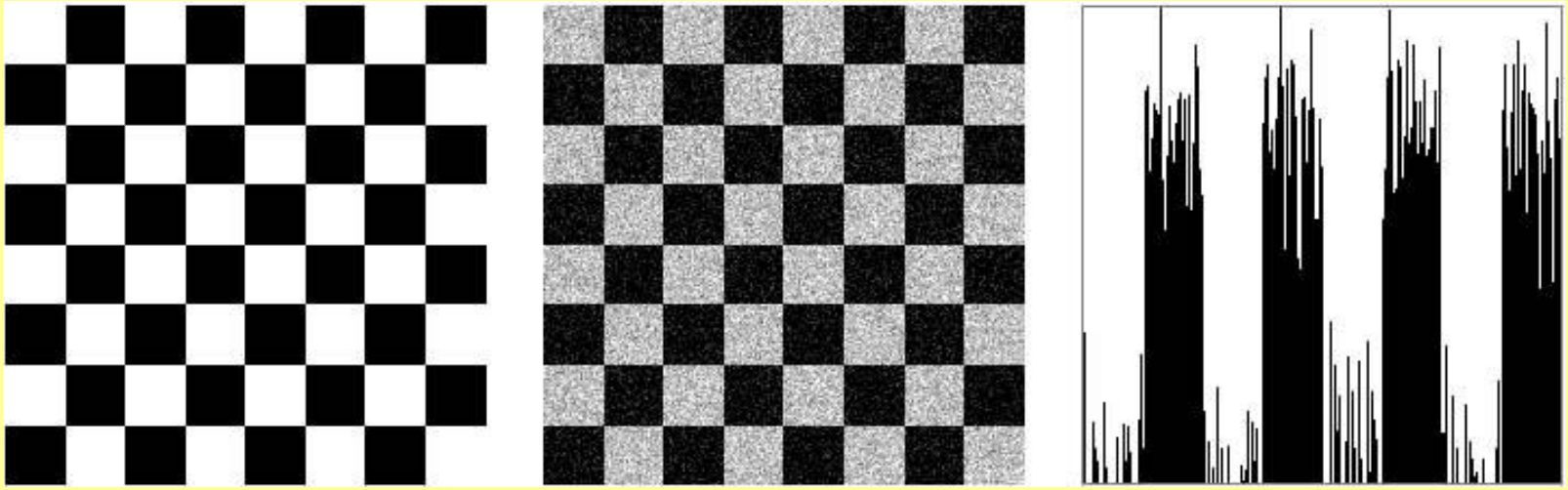
- Причины возникновения шума:
  - Несовершенство измерительных приборов
  - Хранение и передача изображений с потерей данных

Устранение шума в полутоновых и цветных изображениях

Пример: изображение с равномерным шумом.

$$I(i, j) = g_r(i, j) + noise(i, j)$$

noise(i,j) – нормально распределенная случайная величина.

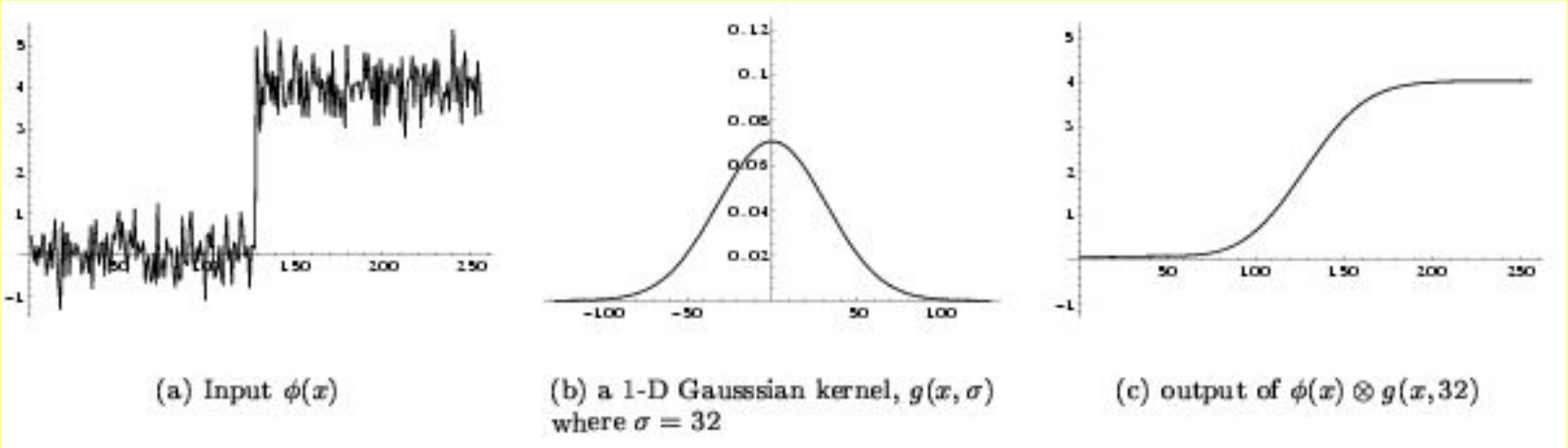


Усреднение

$$OutputImage[r,c] \;=\; average\ of\ some\ neighborhood\ of\ InputImage[r,c]$$

$$Out[r,c] \;=\; \left(\sum_{i=-2}^{+2}\sum_{j=-2}^{+2} In[r+i,c+j]\right)/25$$

Гауссиан (sigma=32)



(a) Input $\phi(x)$

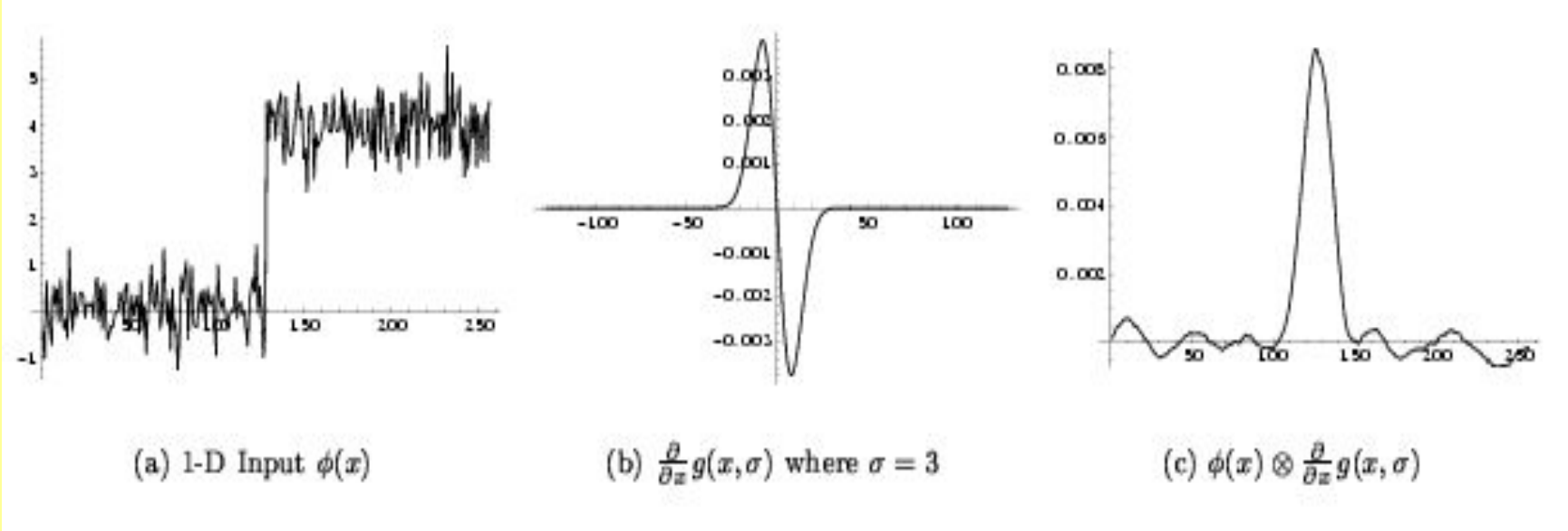
(b) a 1-D Gausssian kernel, $g(x, \sigma)$ where $\sigma = 32$

(c) output of $\phi(x) \otimes g(x, 32)$

Размытие

$$\frac{1}{74}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 3 & 5 & 6 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

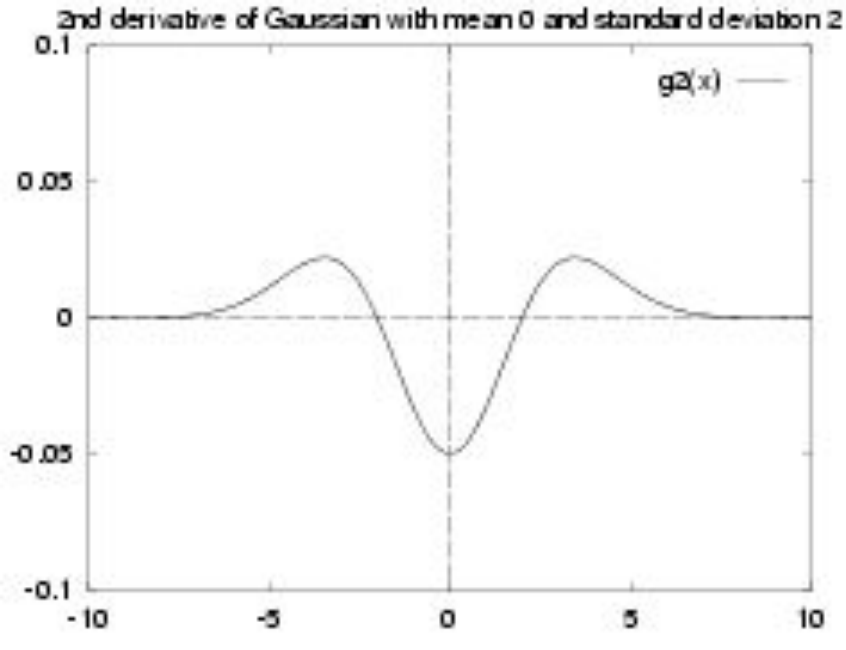
Свертка - дифференцирование

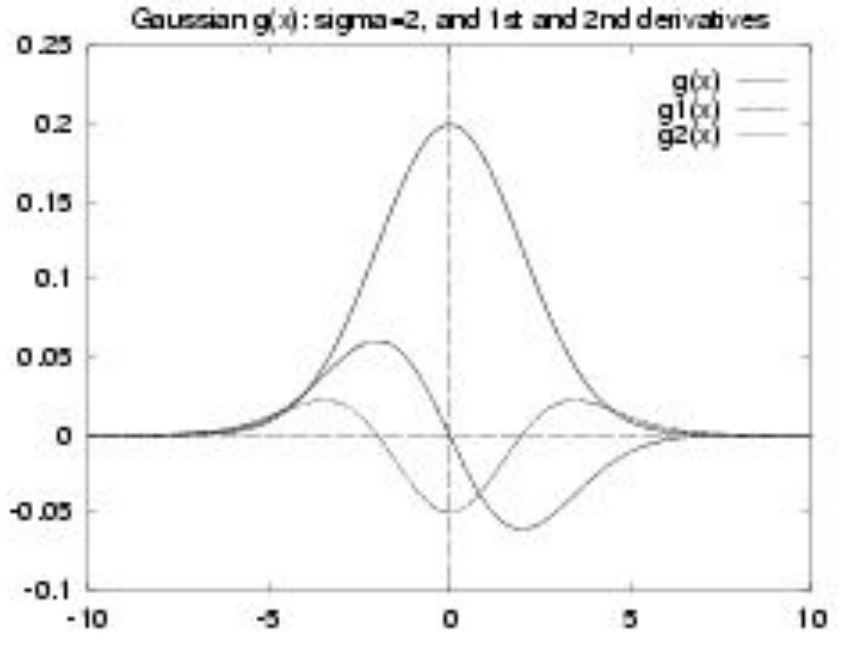


(a) 1-D Input $\phi(x)$ (b) $\frac{\partial}{\partial x} g(x,\sigma)$ where $\sigma = 3$ (c) $\phi(x) \otimes \frac{\partial}{\partial x} g(x,\sigma)$

$$h(x,y,z) \otimes \frac{\partial}{\partial x}\phi(x,y,z) = \frac{\partial}{\partial x} h(x,y,z) \otimes \phi(x,y,z)$$

Свертка - дифференцирование





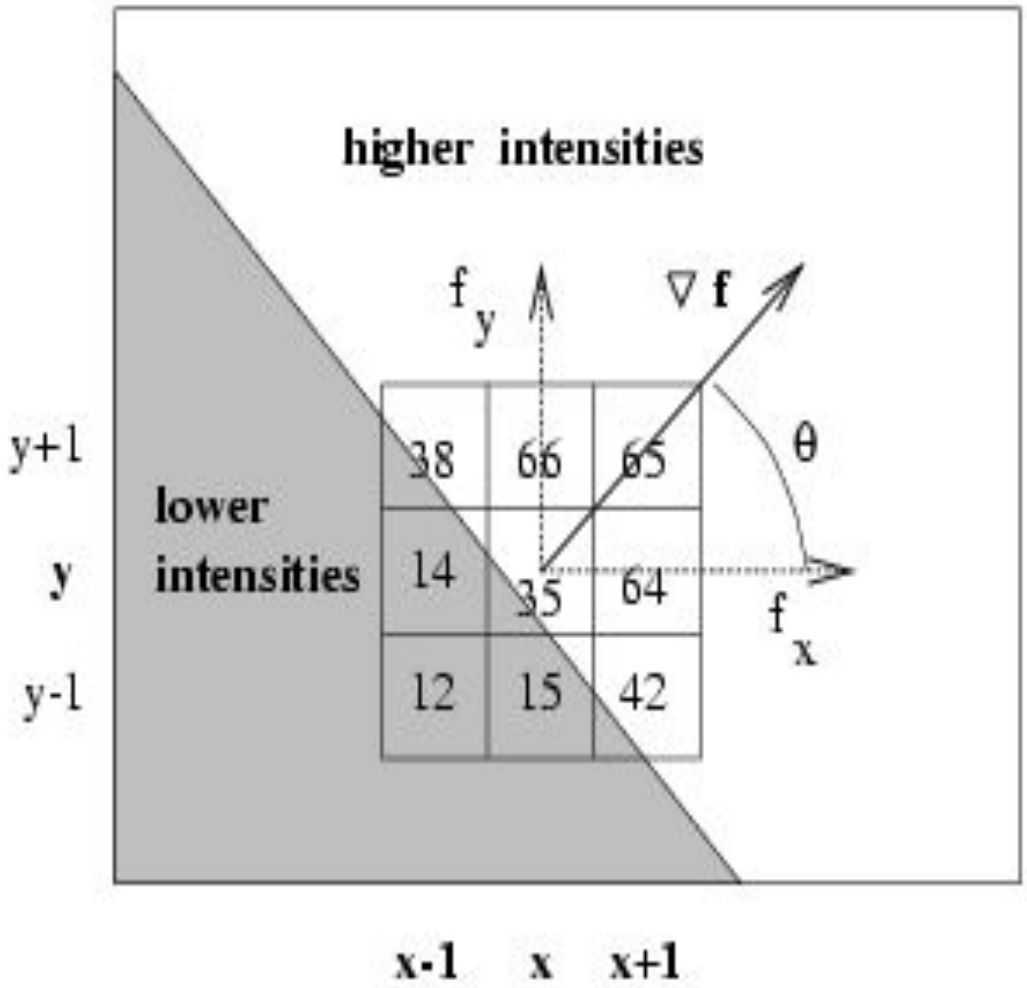
Маски дифференцирования

Prewitt: $M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$; $M_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$

Sobel: $M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$; $M_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$

Roberts: $M_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$; $M_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$

Градиент



$$f_y = ((38-12)/2 + (66-15)/2 + (65-42)/2)/3 = (13 + 25 + 11)/3 = 16$$

$$f_x = ((65-38)/2 + (64-14)/2 + (42-12)/2)/3 = (13 + 25 + 15)/3 = 18$$

$$\theta = \tan^{-1}(16/18) = 0.727 \text{ rad} = 42 \text{ degrees}$$

$$|\nabla f| = (16^2 + 18^2)^{1/2} = 24$$

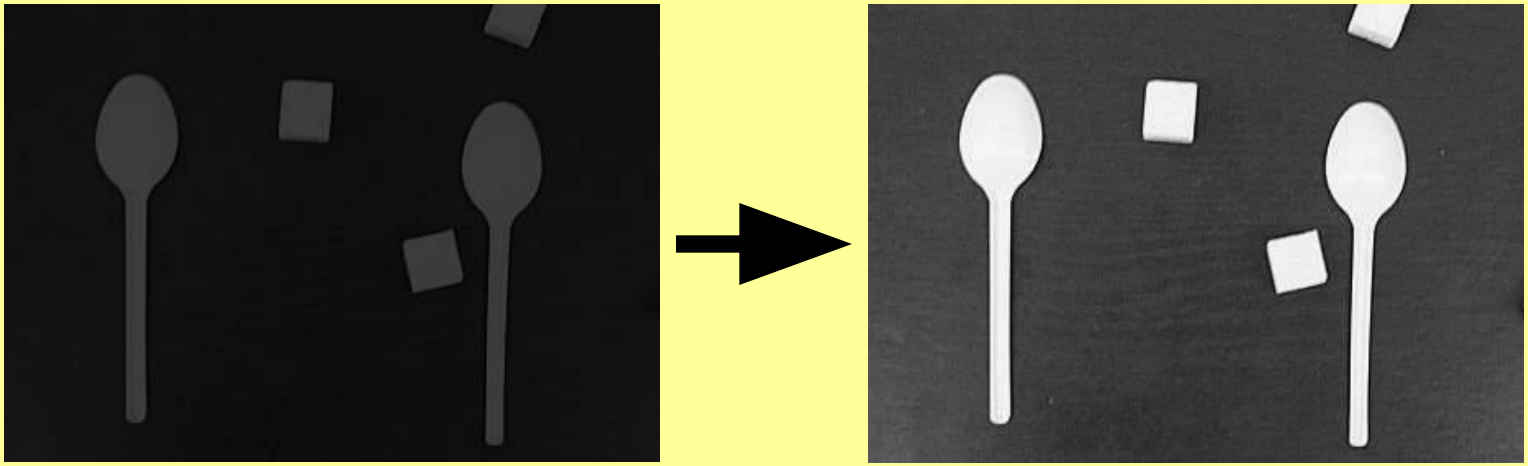
Попикселная обработка

- Out[x, y] = f (In[x,y])

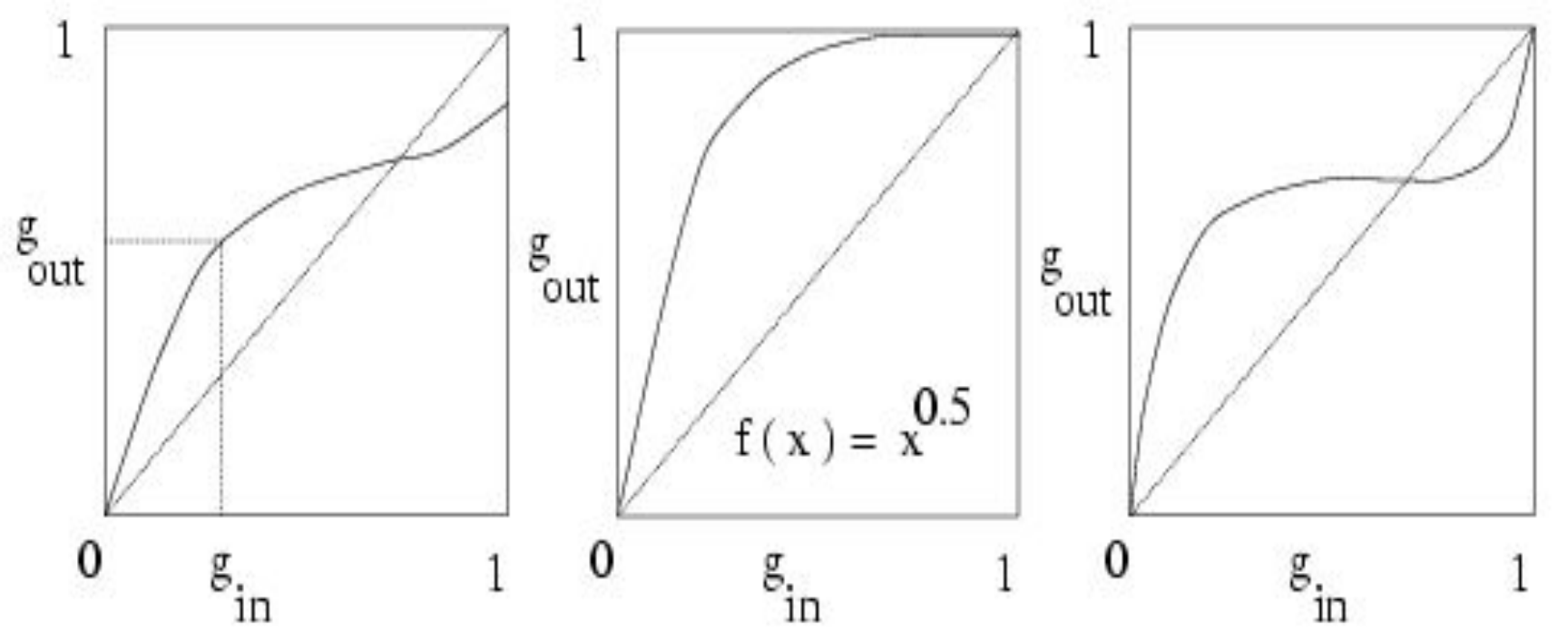
Усиление и выделение полезной информации

Коррекция яркости изображения.
Простое линейное преобразование:

$$g(i,j) = (g(i,j) - g_{\min}) * \frac{(255-0)}{(g_{\max} - g_{\min})}$$



gout = f(gin)



gout = f(gin)

Выравнивание гистограмм

- Используются все n уровней серого цвета
- На каждый уровень попадает примерно одинаковое количество пикселей: *q=(R*C)/n*

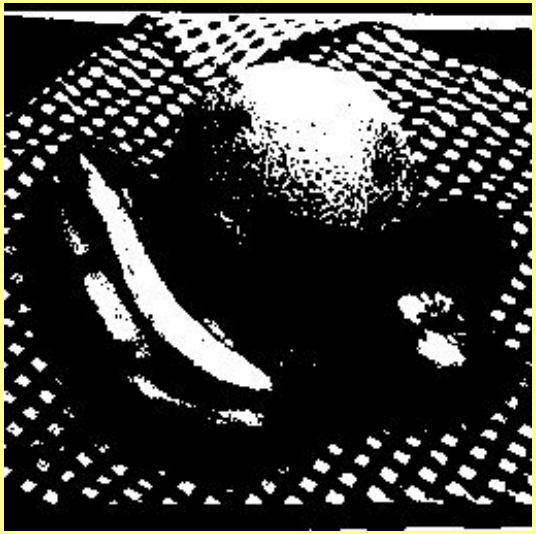
$$\sum_{i=1}^{t_1-1} H_{in}[i] \le q_1 < \sum_{i=1}^{t_1} H_{in}[i].$$

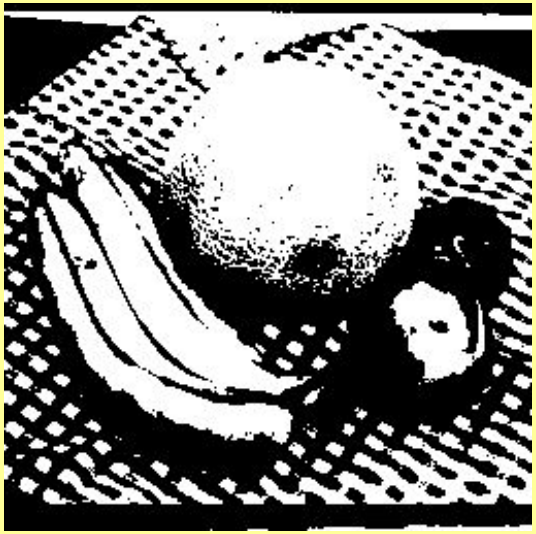
$$\sum_{i=1}^{t_k-1} H_{in}[i] \le (q_1 + q_2 + \ldots + q_k) < \sum_{i=1}^{t_k} H_{in}[i].$$

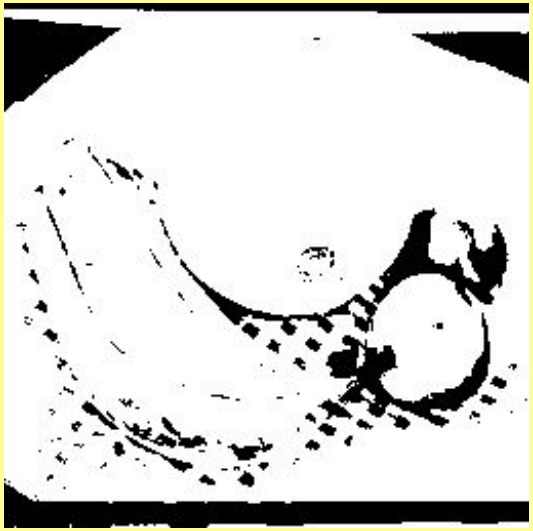
Выравнивание гистограмм

БИНАРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ (1)

ПРИМЕРЫ ПОРОГОВОЙ БИНАРИЗАЦИИ







Подавление и устранение шума

- Устранение шума в бинарных изображениях

Широко известный способ - устранение шума с помощью операций математической морфологии:

- Сужение (erosion)
- Расширение (dilation)
- Закрытие (closing)
- Раскрытие (opening)

Устранение шума типа «соль и перец»

Задача – избавиться от одиночных темных пикселей в светлых областях и одиночных светлых пикселей в темных областях.

Применение масок к изображению

С учетом 8ми соседей

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

С учетом 4х соседей

$$\begin{bmatrix} * & 1 & * \\ 1 & 0 & 1 \\ * & 1 & * \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} * & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 \\ * & 1 & * \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} * & 0 & * \\ 0 & 1 & 0 \\ * & 0 & * \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} * & 0 & * \\ 0 & 0 & 0 \\ * & 0 & * \end{bmatrix}$$

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

- Сужение (Эрозия, Erosion)
- Расширение (Dilation)
- Закрытие (Closing)
- Раскрытие (Opening)

Морфологические операции

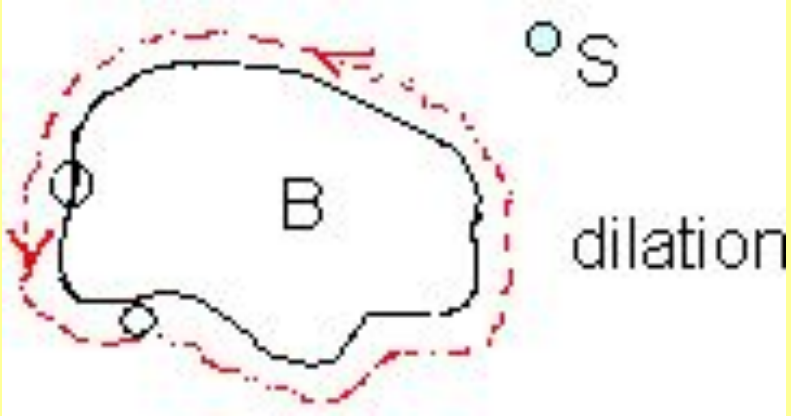
$$B \oplus S = \bigcup_{b \in B} S_b$$

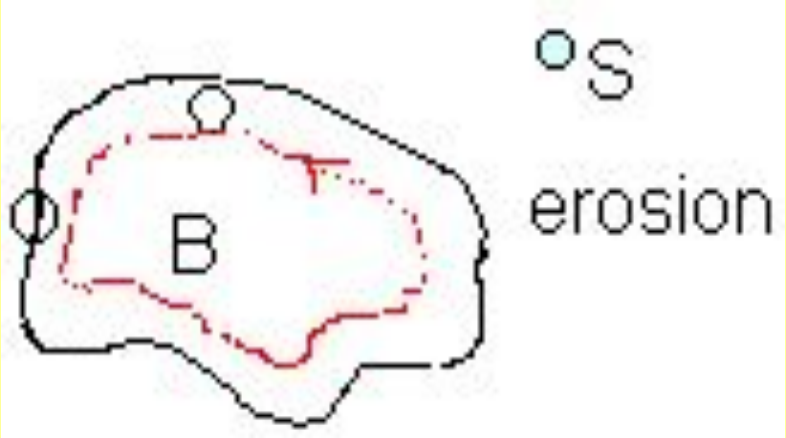
$$B(-)S = \{b \mid b + s \in B \forall s \in S\}$$

$$B \bullet S = (B \oplus S)(-)S$$

$$B \circ S = (B(-)S) \oplus S$$

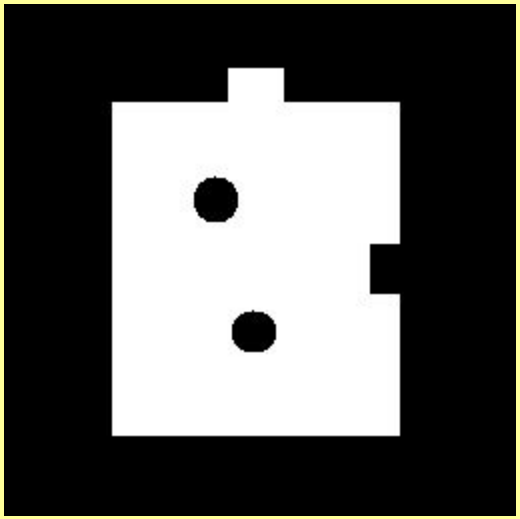
Расширение & Сужение



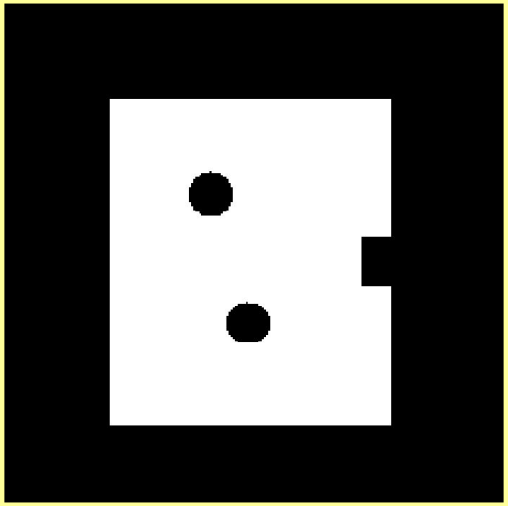


ПРИМЕР МОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАСКРЫТИЯ

A

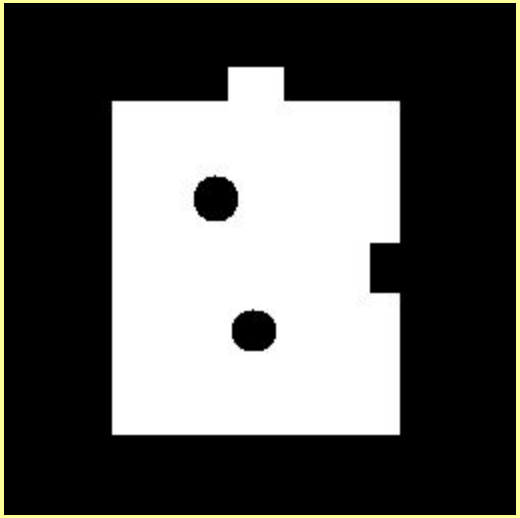


open(A)

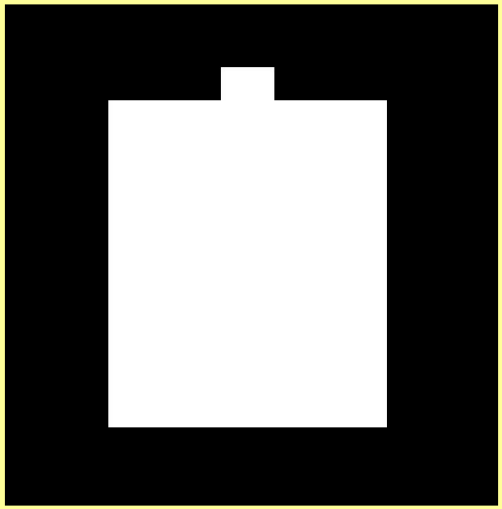


ПРИМЕР МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКРЫТИЯ

A



close(A)



Морфологические операции

1	1	1	1	1	1	1	
			1	1	1	1	
			1	1	1	1	
		1	1	1	1	1	
			1	1	1	1	
		1	1				

a) Binary image B

1	1	1
1	1	1
1	1	1

b) Structuring Element S

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1			

c) Dilation $B \oplus S$

				1	1		
				1	1		
				1	1		

d) Erosion $B \ominus S$

	1	1	1	1	1	1	
		1	1	1	1	1	
		1	1	1	1	1	
		1	1	1	1	1	
		1	1	1	1	1	
		1	1				

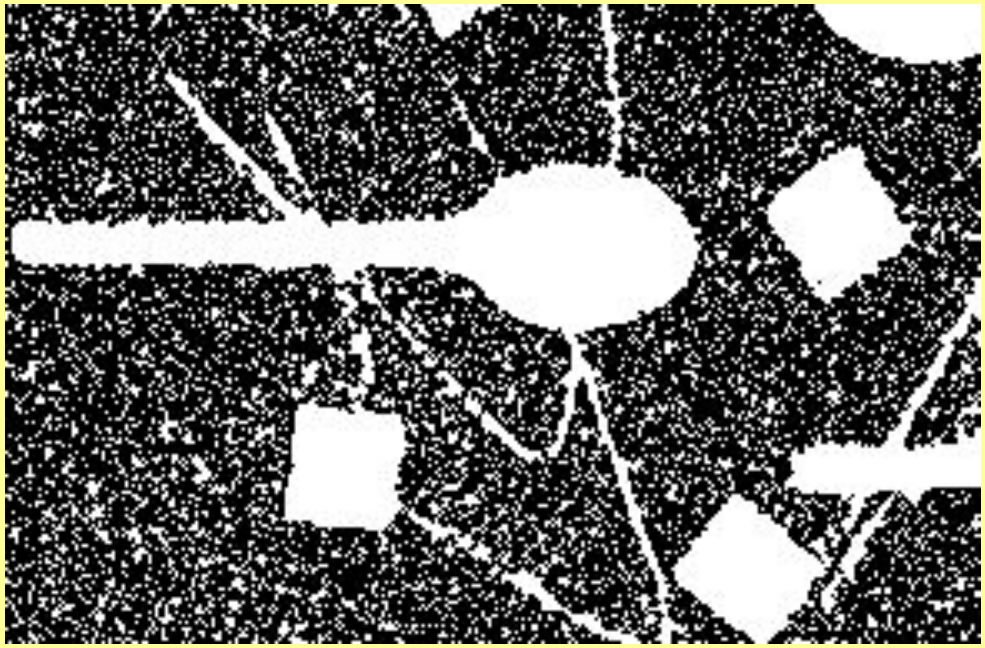
e) Closing $B \bullet S$

			1	1	1	1	
			1	1	1	1	
			1	1	1	1	
			1	1	1	1	
			1	1	1	1	

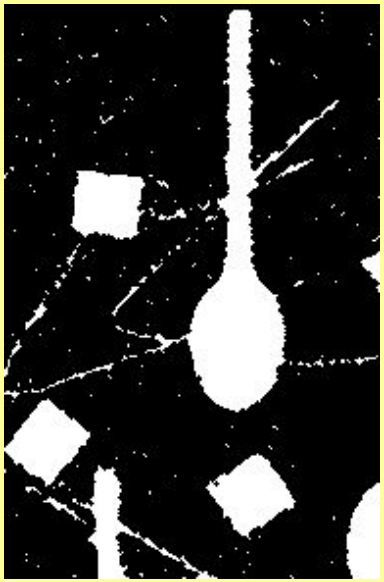
f) Opening $B \circ S$

Устранение шума в бинарных изображениях

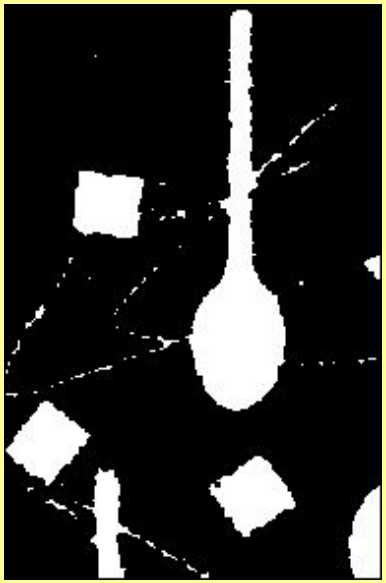
Пример бинарного изображению с сильным шумом



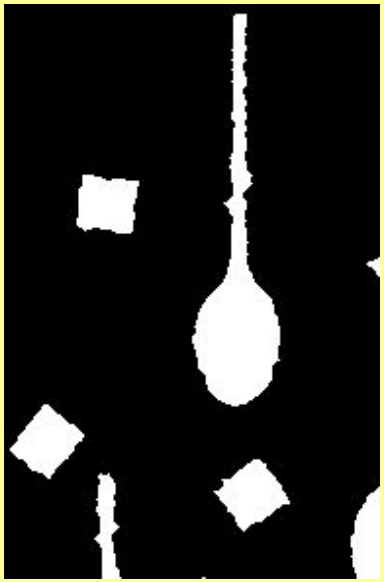
Применения сужения к бинарному изображению с сильным шумом



$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



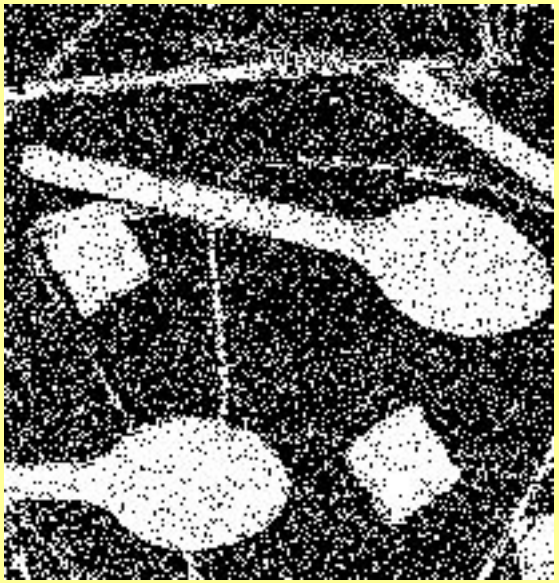
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Устранение шума в бинарных изображениях

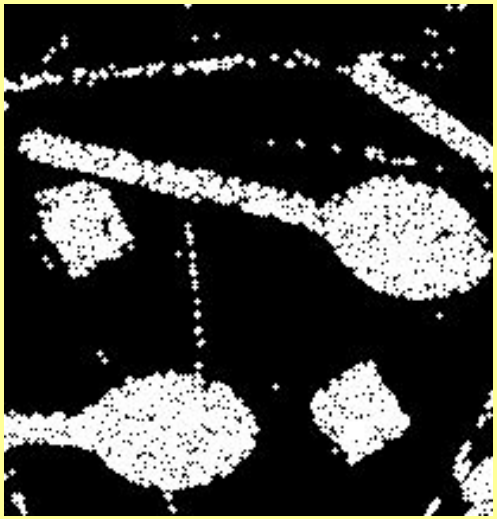
Пример бинарного изображению с дефектами распознаваемых объектов

Не лучший пример для морфологии

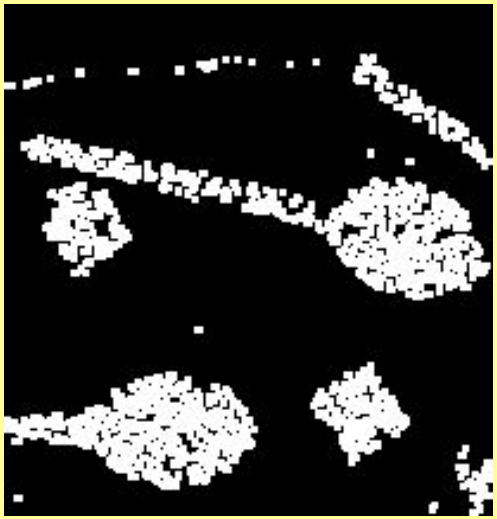
Не во всех случаях математическая морфология так легко убирает дефекты, как хотелось бы…



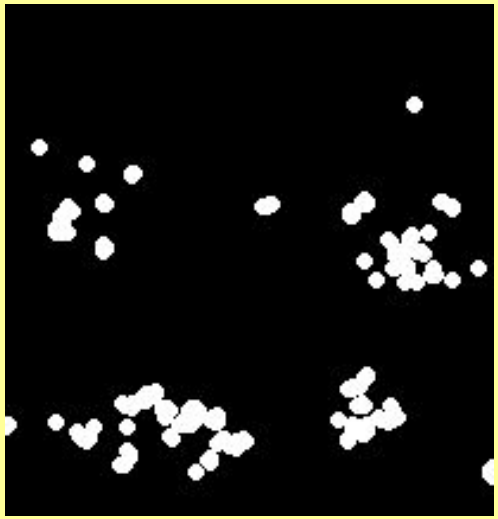
Применения операции открытия



$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



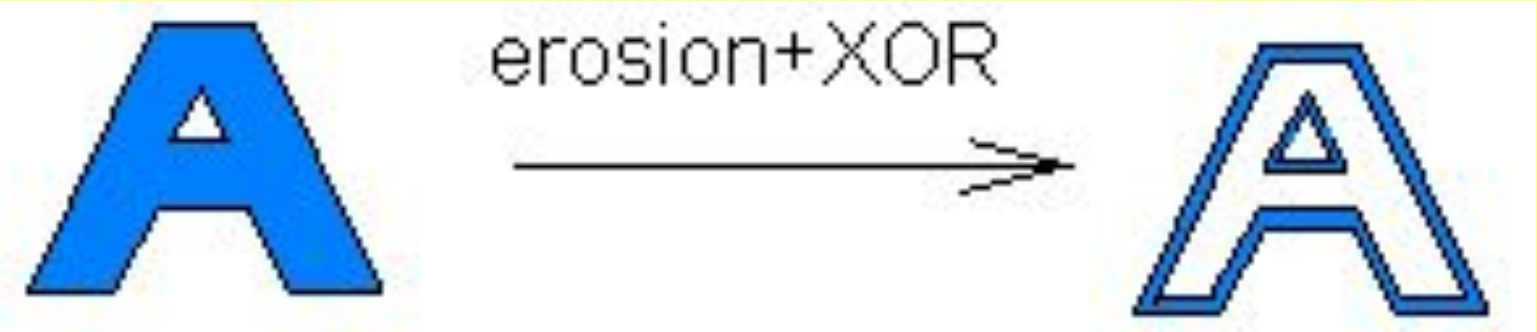
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



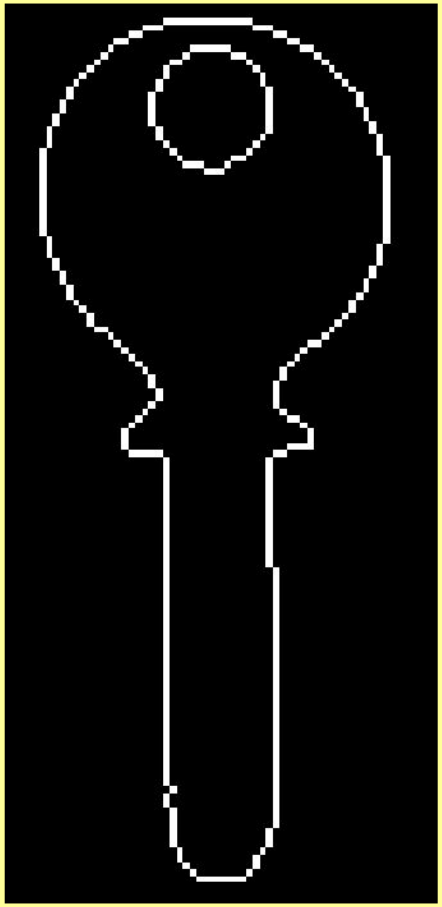
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Выделение границ

- B\(B (-) S) –внутренняя граница
- (B⊕ S)\B- внешняя граница



ПРИМЕР ОКОНТУРИВАНИЯ ОБЪЕКТА



МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СКЕЛЕТИЗАЦИЯ

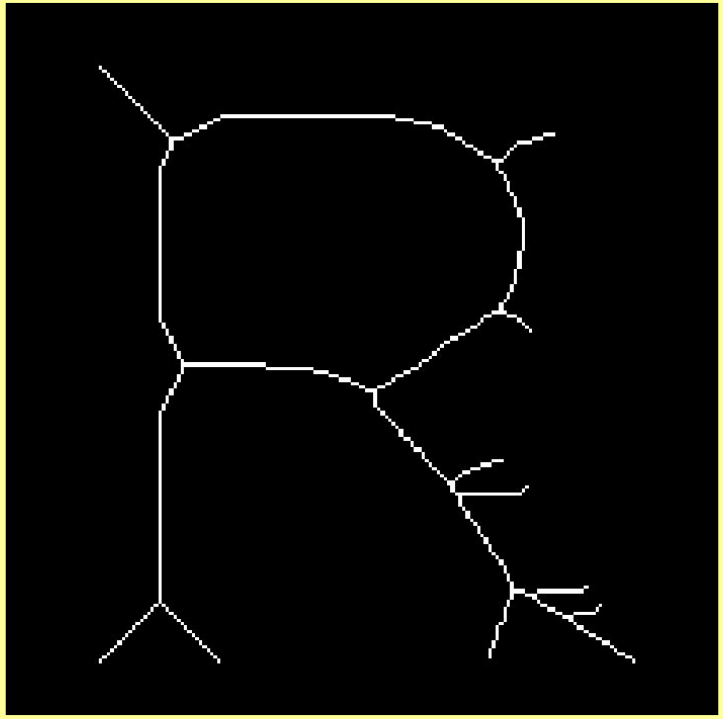
- Операция скелетонизации

$$Sn = (X - nQ) \setminus [(X - nQ) \circ Q], n = 0,1,\ldots, N$$

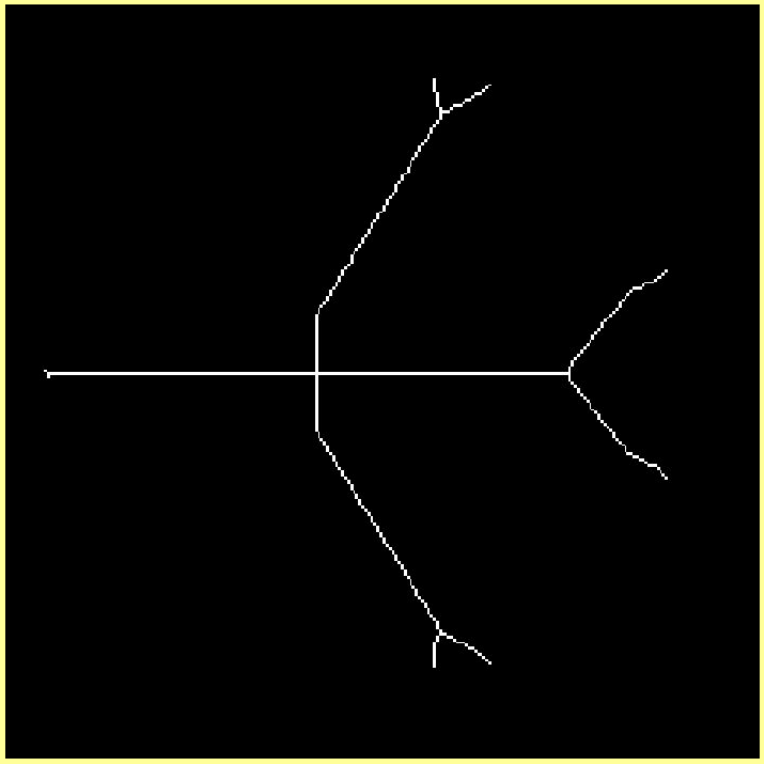
- Операция де-скелетонизации

$$X \circ kQ = \bigcup_{k \le n \le N} S_n \oplus nQ, 0 \le k \le N$$

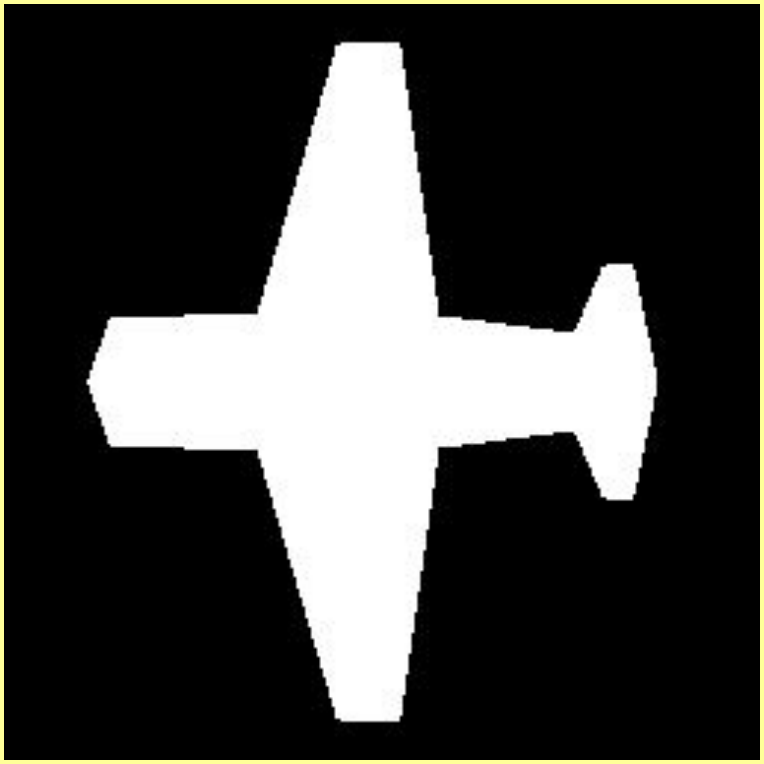
МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СКЕЛЕТИЗАЦИЯ

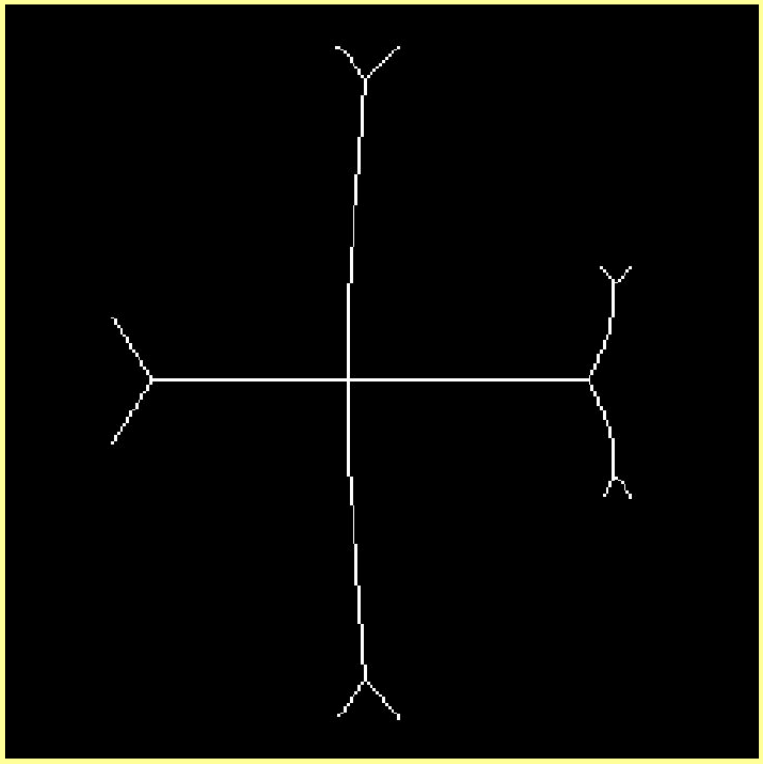


ПРИМЕРЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СКЕЛЕТИЗАЦИИ (1)



ПРИМЕРЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СКЕЛЕТИЗАЦИИ (2)





Медианный фильтр

Выбор медианы среди значений яркости пикселов в некоторой окрестности.

Определение медианы:

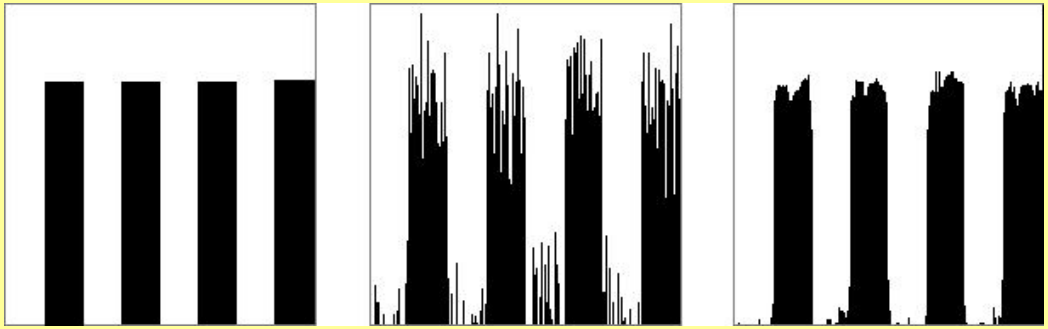
$A_i,\ i = \overline{1,n;}$ - отсортированный набор чисел,

$A_{[n/2]}$ – медиана набора.

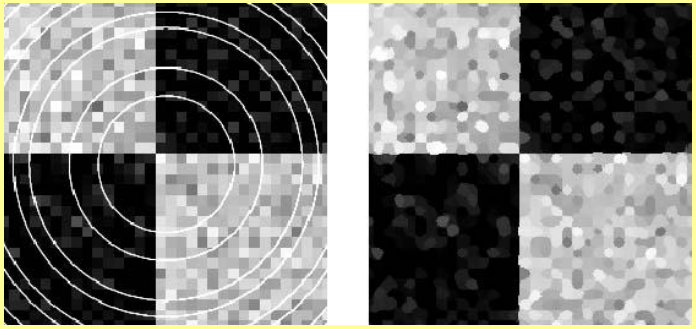
Медианный фильтр радиусом r – выбор медианы среди пикселей в окрестности [-r,r].

Применение медианного фильтра

Результат применения медианного фильтра с радиусом 5 пикселов

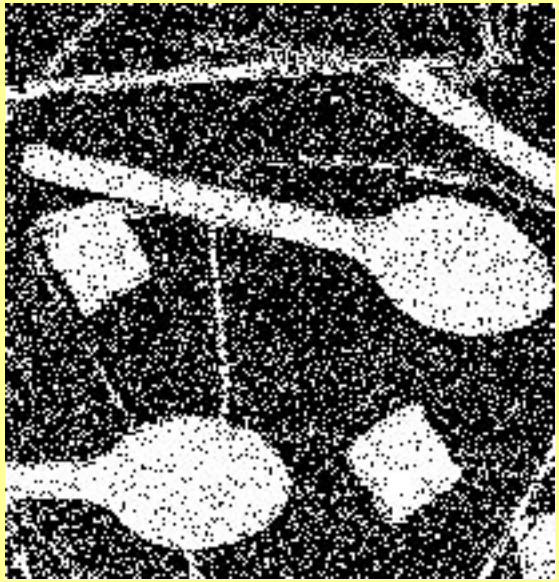


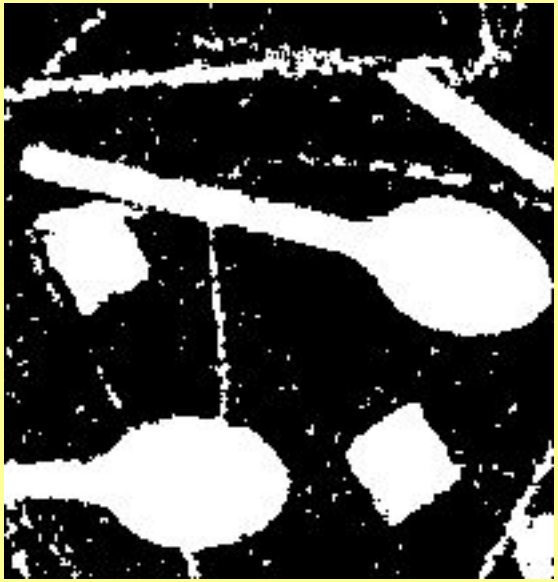
Результат применения медианного фильтра с радиусом в 7 пикселов к изображению с шумом и артефактами в виде тонких светлых окружностей.



Очистка изображения с помощью медианного фильтра

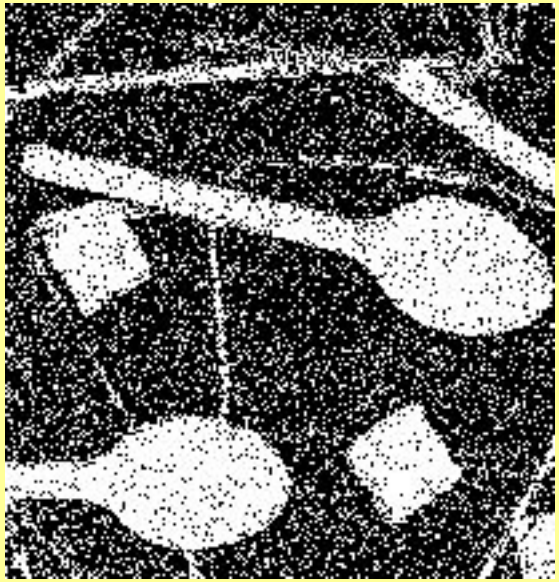
Фильтр с радиусом 3x3

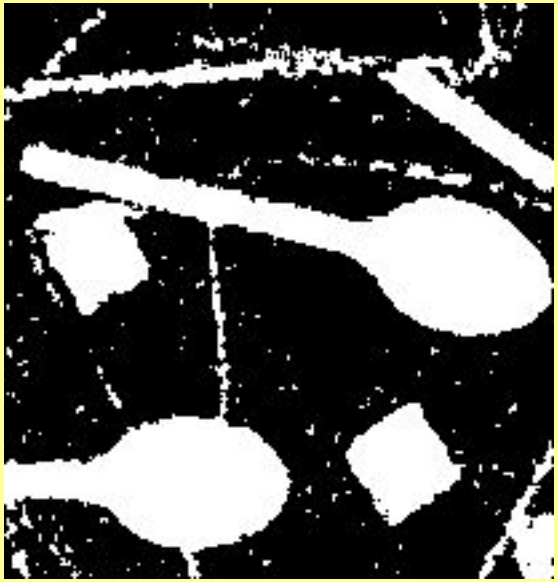




Очистка изображения с помощью медианного фильтра

Фильтр с радиусом 3x3





Быстрая реализация медианного фильтра

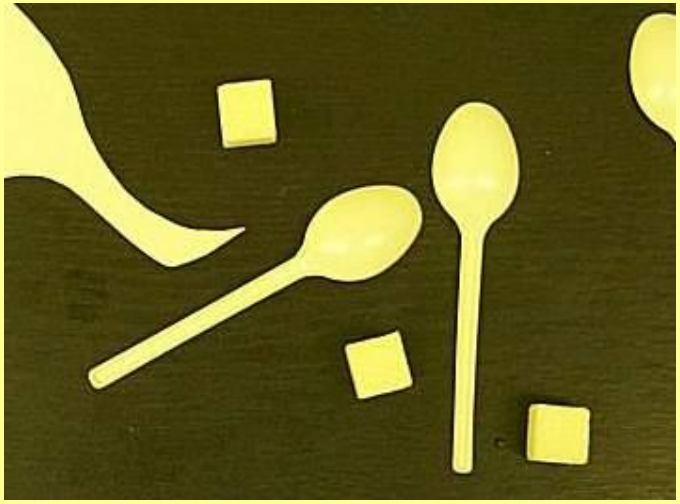
Медианный фильтр считается дольше, чем операция свертки, поскольку требует частичной сортировки массива яркостей окрестных пикселей.

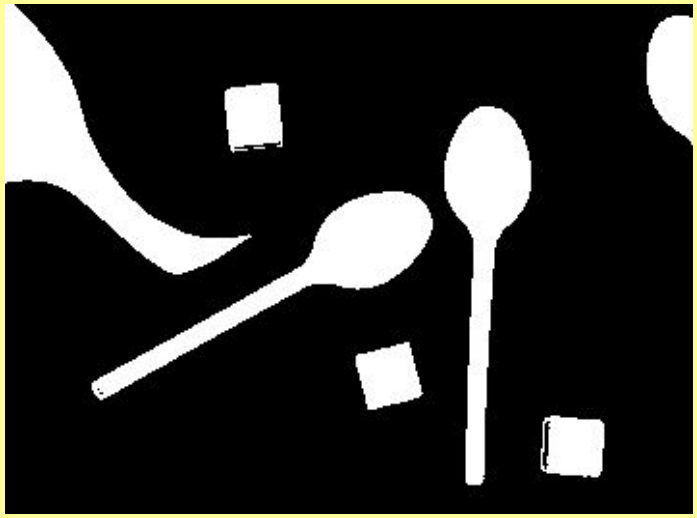
Возможности ускорения:

- Делать несколько шагов быстрой сортировки до получения медианы
- Конкретная реализация для каждого радиуса (3x3, 5x5)

Анализ информации, содержащейся в изображении

Нас интересуют области однородные по некоторому признаку - например по яркости. Простейший случай – области, яркость который выше/ниже некоторого порога





Выделение связных областей

Определение связной области:

Область, каждый пиксель которой связан с одним из других пикселей, принадлежащих данной области.

Связность пикселей:

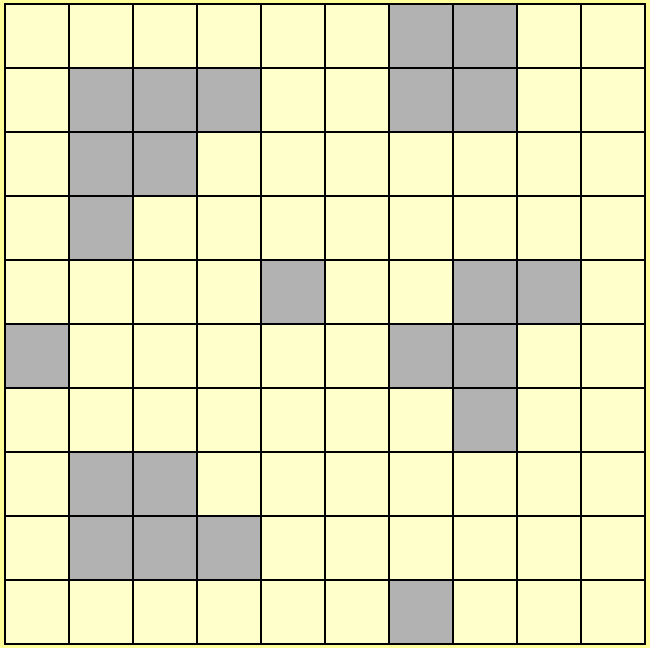
	1	
2	*	3
	4	

4-связность

1	2	3
4	*	5
6	7	8

8-связность

Разметка связных областей



Бинарное изображение

						1	1		
	2	2	2			1	1		
	2	2							
	2								
				3			4	4	
5						4	4		
							4		
	6	6							
	6	6	6						
						7			

Размеченное изображение

Рекурсивная разметка связных областей (1)

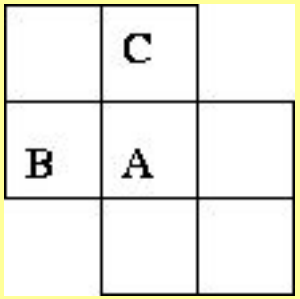
```
void Labeling(BIT* img[], int* labels[])
{
  // labels должна быть обнулена
  L = 1;
  for(y = 0; y < H; y++)
    for(x = 0; x < W; x++)
      if( (img[x][y] = = 1)
          && (labes[x][y] = = 0) )
      {
          Fill(img, labels, x, y, L++);
      }
}
```

Рекурсивная разметка связных областей (2)

```
void Fill(BIT* img[], int* labels[], int x, int y, int L)
{
    if( (labels[x][y] = = 0) && (img[x][y] = = 1) )
    {
        labels[x][y] = L;
        if( x > 0 )
             Fill(img, labels, x – 1, y, L);
        if( x < W - 1 )
             Fill(img, labels, x + 1, y, L);
        if( y > 0 )
             Fill(img, labels, x, y - 1, L);
        if( y < H - 1 )
             Fill(img, labels, x, y + 1, L);
    }
}
```

Разметка связных областей путем последовательного сканирования

Последовательно, сканируем бинарное изображение сверху вниз, слева направо:




```
if A = 0
     do nothing

else if (not B labeled) and (not C labeled)
     increment label numbering and label  A

else if B xor C labeled
     copy label to A

else if B and C labeled
     if B label = C label
          copy label to A
     else
          copy either B label or C label to
A
          record equivalence of labels
```

Постобработка - переразметка с учетом эквивалентностей областей

Разметка связных областей путем последовательного сканирования

Случай конфликта:

						1
					1	1
2				1	1	1
2	2		1	1	1	1
2	2	2	?			

Постобработка - переразметка с учетом эквивалентностей областей

Анализ формы связных областей

Для каждой области можно подсчитать некий набор простейших числовых характеристик:

- Площадь
- Периметр
- Компактность
- Ориентацию главной оси инерции
- Удлиненность (эксцентриситет)

На основе этих характеристик можно классифицировать получаемые области.

Анализ формы связных областей

Площадь – количество пикселей в области;

Периметр – количество пикселей принадлежащих границе области;

Компактность – отношение квадрата периметра к площади;

$$C = \frac{P^2}{A}$$

Наиболее компактная фигура – круг, $C = 4\pi$.

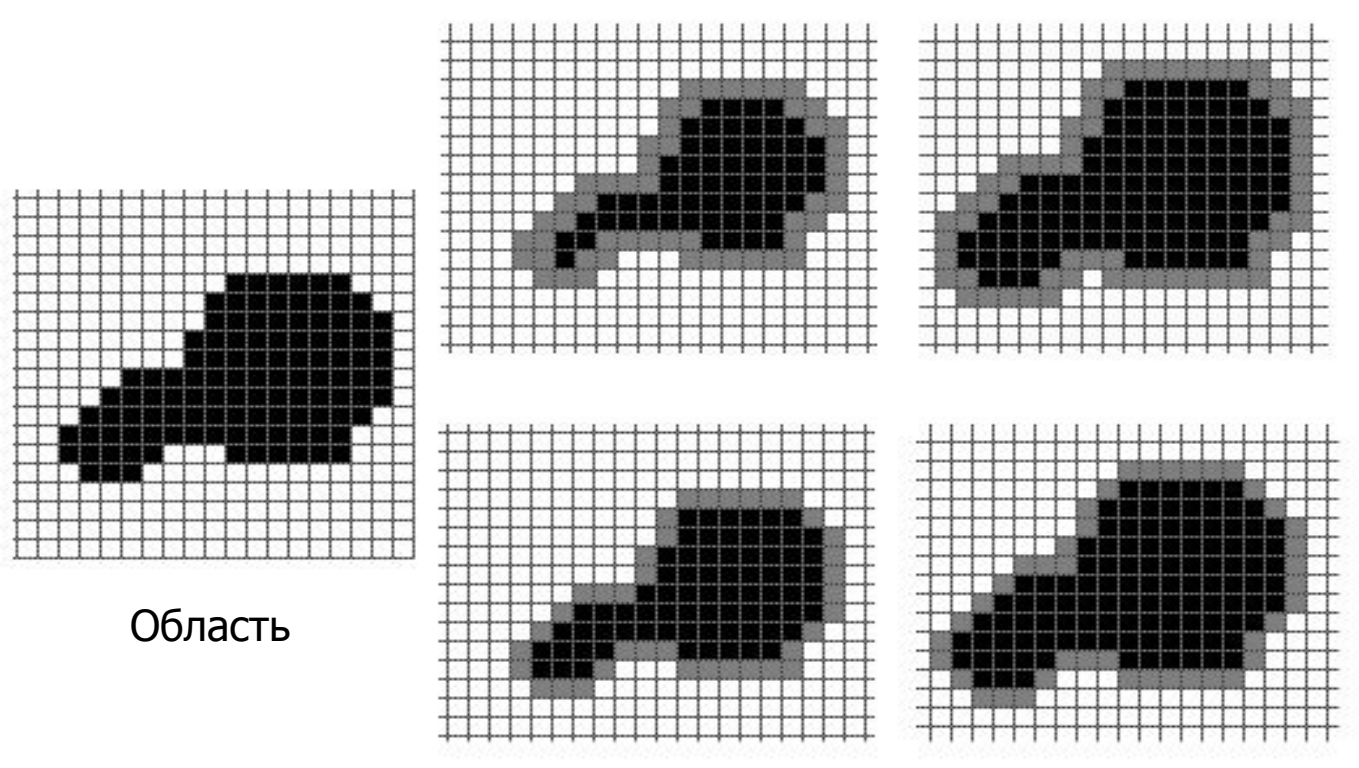
Подсчет периметра области

1. Пиксель лежит на границе области, если он сам принадлежит области и хотя бы один из его соседей области не принадлежит. (внутренняя граница)

2. Пиксель лежит на границе области, если он сам **не** принадлежит области и хотя бы один из его соседей области принадлежит. (внешняя граница)

Периметр зависит также от того 4-х или 8-ми связность используется для определения соседей.

Пример периметров области



Статистические моменты области

Дискретный центральный момент m_{ij} области определяется следующим образом:

$$m_{ij} = \sum_{(x,y)\in Reg} (x-\bar{x})^i (y-\bar{y})^j;$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{(x,y)\in Reg} x; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{(x,y)\in Reg} y;$$

n – общее количество пикселей в области

Инвариантные характеристики области

Для распознавания нас интересуют характеристики инвариантные по отношению к масштабированию, переносу, повороту**:**

- **Удлиненность, нецентрированность (эксцентриситет)**

$$elongation = \frac{m_{20} + m_{02} + \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}{m_{20} + m_{02} - \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}$$

- **Компактность**

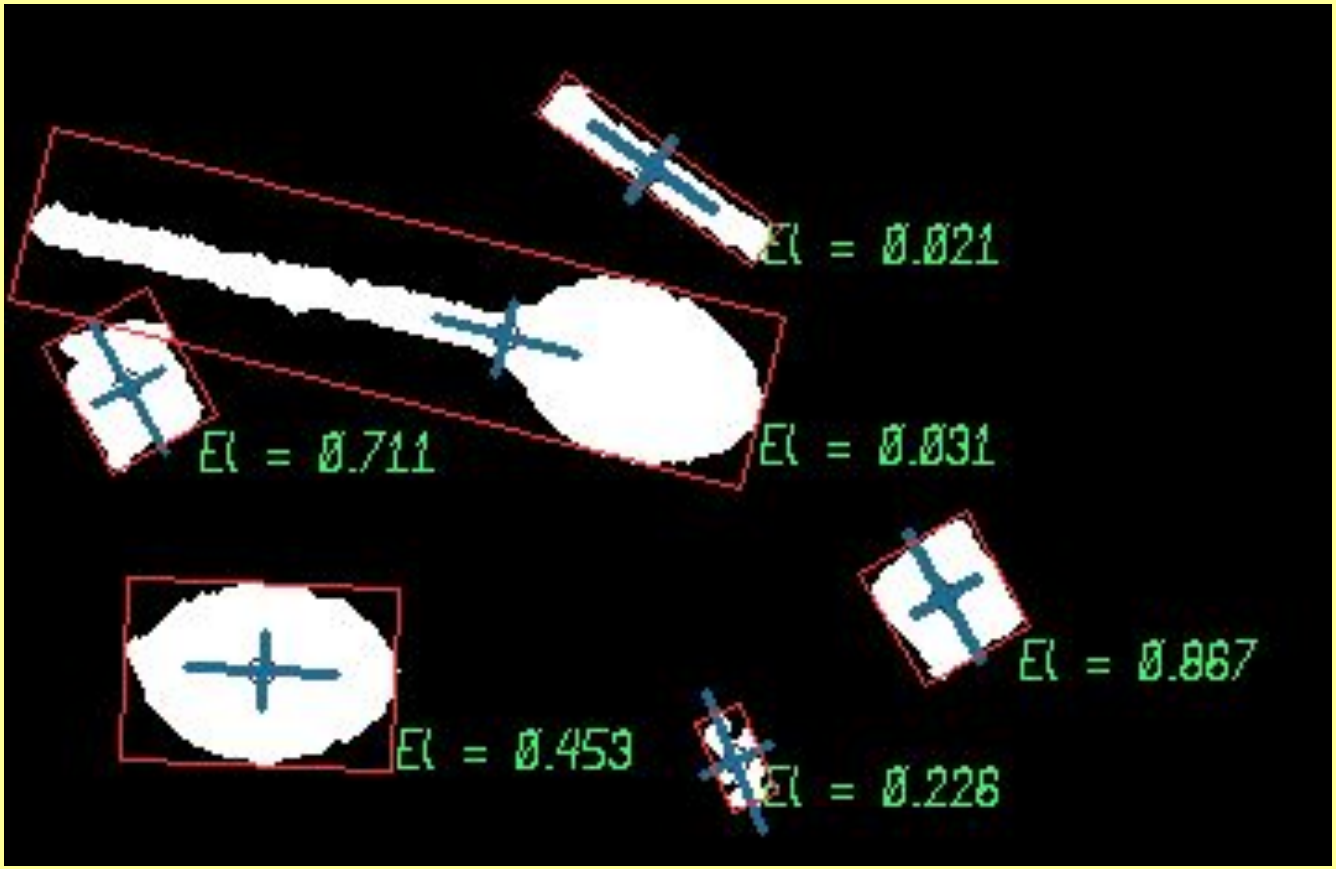
$$C = \frac{P^2}{A}$$

Ориентация главной оси инерции

Не является инвариантной к повороту, но в ряде случаев предоставляет полезную информацию об ориентации объекта:

$$\theta = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}\right)$$

Пример изображения с подсчитанными характеристиками областей



Другие инвариантные характеристики области

$$
\begin{aligned}
M_1 &= m_{20} + m_{02} \\
M_2 &= (m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2 \\
M_3 &= (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2 \\
M_4 &= (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2 \\
M_5 &= (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12})\left[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2\right] \\
&\quad + (3m_{21} - m_{03})(m_{21} + m_{03})\left[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2\right] \\
M_6 &= (m_{20} + m_{02})\left[(m_{30} + m_{12})^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2\right] \\
&\quad + 4m_{11}(m_{30} + m_{12})(m_{03} + m_{21}) \\
M_7 &= (3m_{21} - m_{03})(m_{12} + m_{30})\left[(m_{30} + m_{12}^2 - 3(m_{21} + m_{03})^2\right] \\
&\quad -(m_{30} - 3m_{12})(m_{12} + m_{03})\left[3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2\right]
\end{aligned}
\tag{54}
$$

Пример изображения для обработки

Литература

http://graphics.cs.msu.su/ru/library/cv/cv_intro.html

http://graphics.cs.msu.su/courses/cg2000b/notes/lect_1.doc

Задания

http://graphics.cs.msu.su/courses/cg02b/assigns/hw-3/hw3.html

http://graphics.cs.msu.su/courses/cg01b/hw4/hw-4.htm

http://graphics.cs.msu.su/courses/cg2000b/hw2/hw-2.htm