

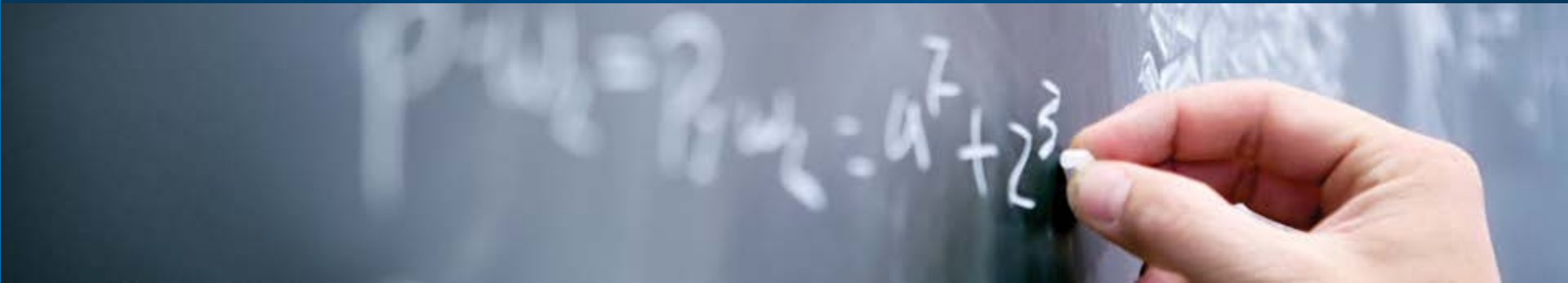
Анализ изображений и видео

Лекция 3: Морфологическая обработка изображений

Наталья Васильева

nvassilieva@hp.com

HP Labs Russia



Вопросы (время на ответы 15 минут)

1. К исходному изображению применяется усредняющая маска для подавления шума, а затем маска лапласиана для улучшения мелких деталей. Изменится ли результат, если поменять очередность этих операций?
2. С помощью какой операции можно полностью удалить из изображения изолированные темные или светлые небольшие области? Каким должен быть размер маски, если известно, что размер таких областей не превосходит n пикселей?
3. Покажите, что второй проход операции эквализации гистограммы даст точно тот же результат, что и после первого прохода.
4. Совместное использование процедур фильтрации с усилением высоких частот и эквализации гистограммы является эффективным методом повышения резкости и улучшения контраста. Влияет ли порядок на окончательный результат? Почему?

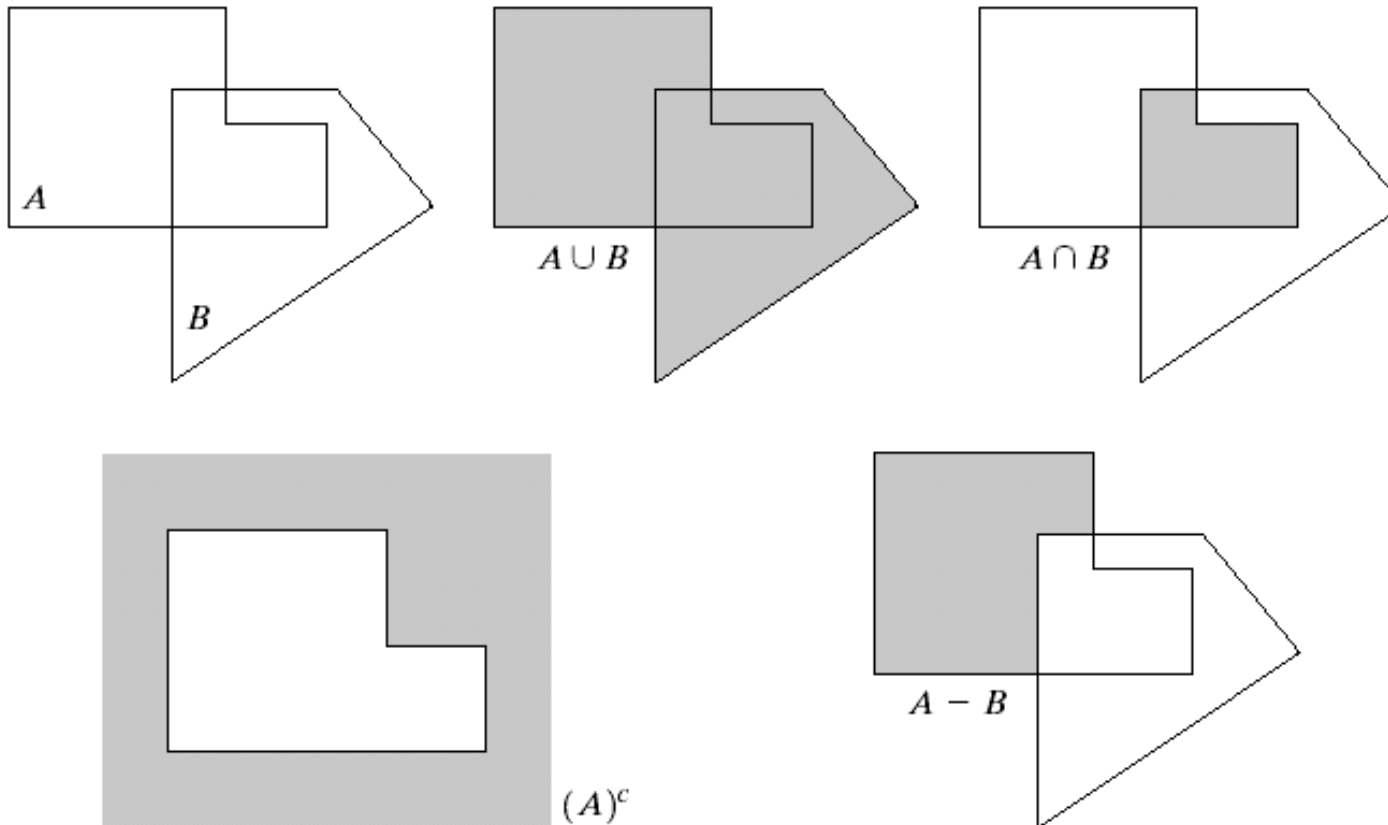


Математическая морфология

- Обработка изображений на языке теории множеств
- Теория и техника анализа геометрических структур
- Первые работы: Jean Serra, Georges Matheron (1964)
- Бинарная морфология $\Leftrightarrow Z^2$
 - Элемент множества – точка с координатами (x, y) , принадлежащая объекту на изображении
- Трехмерная морфология (grayscale morphology) $\Leftrightarrow Z^3$
 - Элемент множества – точка (x, y, z) , (x, y) – координаты точки на изображении, z – яркость точки



Базовые операции теории множеств



a	b	c
d	e	

FIGURE 9.1
(a) Two sets A and B . (b) The union of A and B . (c) The intersection of A and B . (d) The complement of A . (e) The difference between A and B .

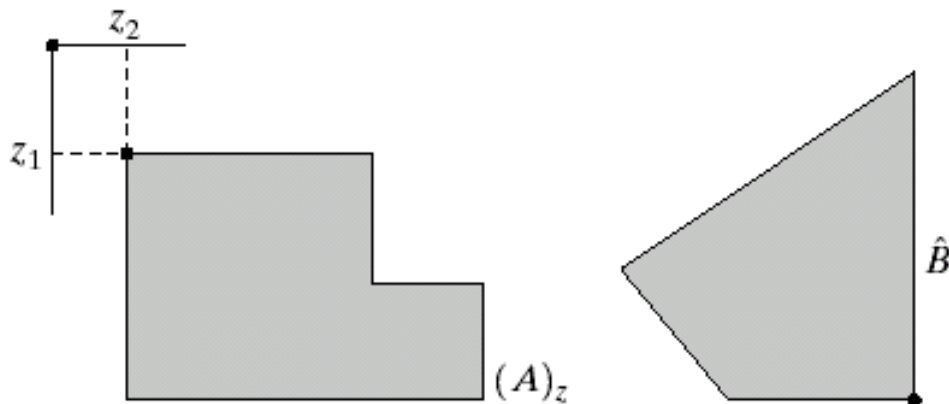
Отражение и перенос

Центральное отражение:

$$\hat{B} = \{-b \mid b \in B\}$$

Параллельный перенос:

$$A_z = \{a + z \mid a \in A\}$$



a b

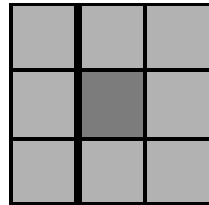
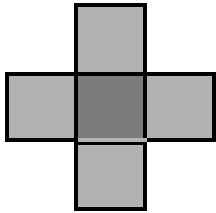
FIGURE 9.2

(a) Translation of A by z .

(b) Reflection of B . The sets A and B are from Fig. 9.1.

Структурный элемент

Структурный элемент – некоторое двоичное изображение произвольной формы с выделенным начальным элементом (origin)



При морфологической обработке происходит зондирование (probing) исходного изображения структурным элементом

Основные операции математической морфологии

Базовые:

Dilation – расширение, наращивание

Erosion – эрозия, сужение

Производные:

Opening – размыкание, открытие (сглаживание по отношению к объекту)

Closing – замыкание, закрытие (сглаживание по отношению к фону)



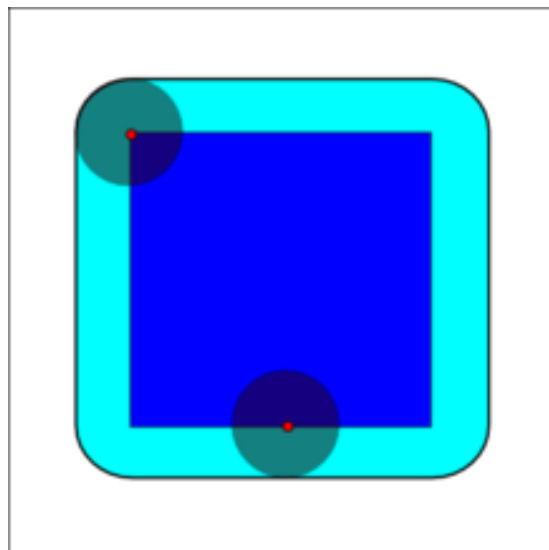
Dilation

Расширение, наращивание, дилатация

Расширение множества A по множеству B :

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b$$



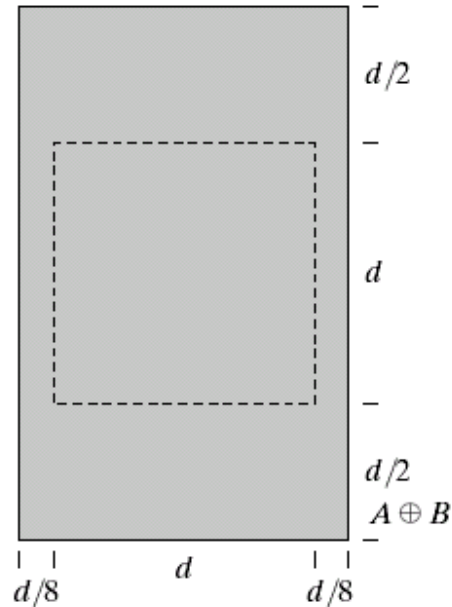
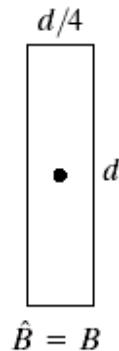
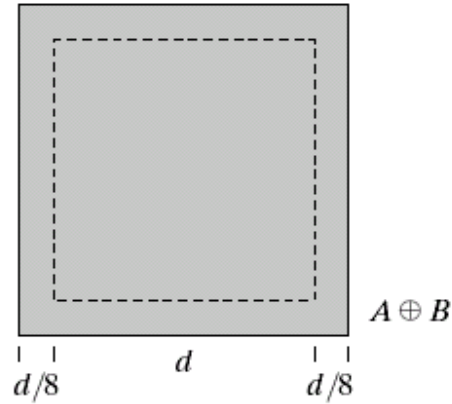
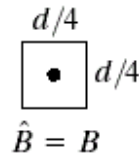
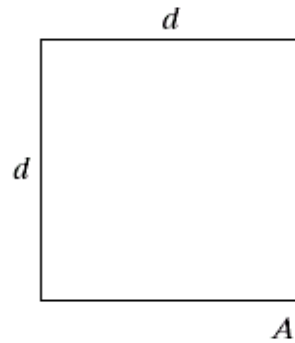
B – структурный примитив (элемент), структурообразующее множество

Dilation: примеры

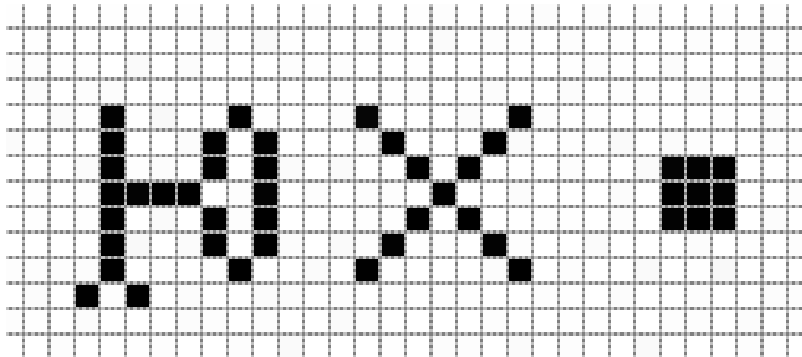
a	b	c
d	e	

FIGURE 9.4

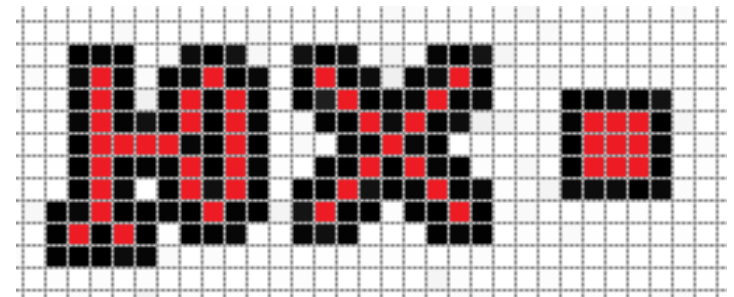
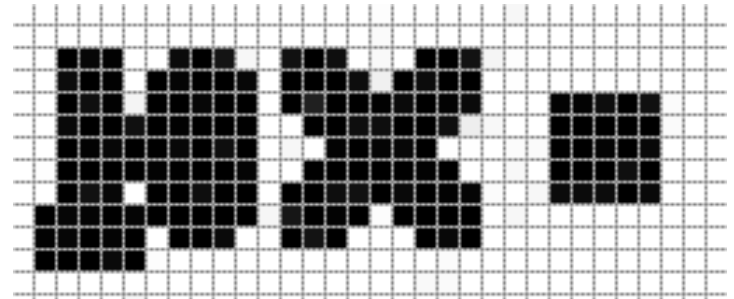
- (a) Set A .
- (b) Square structuring element (dot is the center).
- (c) Dilation of A by B , shown shaded.
- (d) Elongated structuring element.
- (e) Dilation of A using this element.



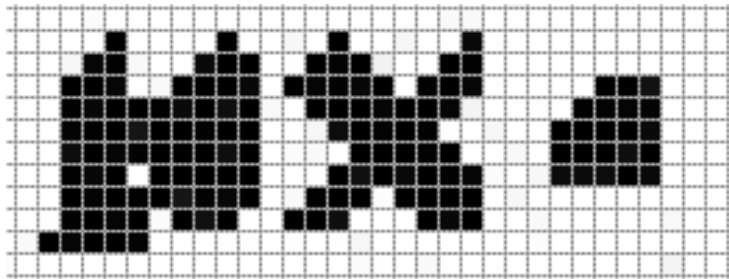
Dilation: примеры



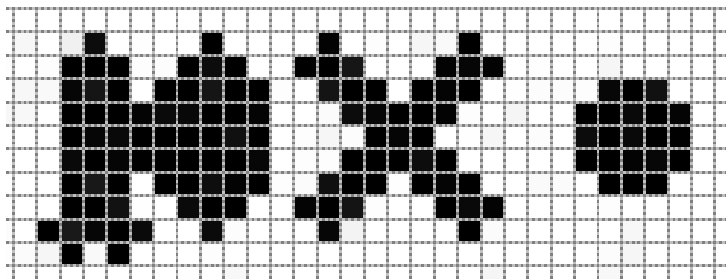
1 1 1
1 1 1
1 1 1



1 1 1
1 1 0
1 0 0

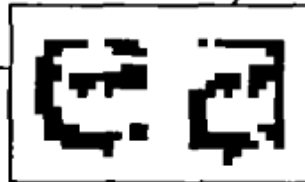


0 1 0
1 1 1
0 1 0



Применение расширения

Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.



Historically, certain computer programs were written using only two digits rather than four to define the applicable year. Accordingly, the company's software may recognize a date using "00" as 1900 rather than the year 2000.



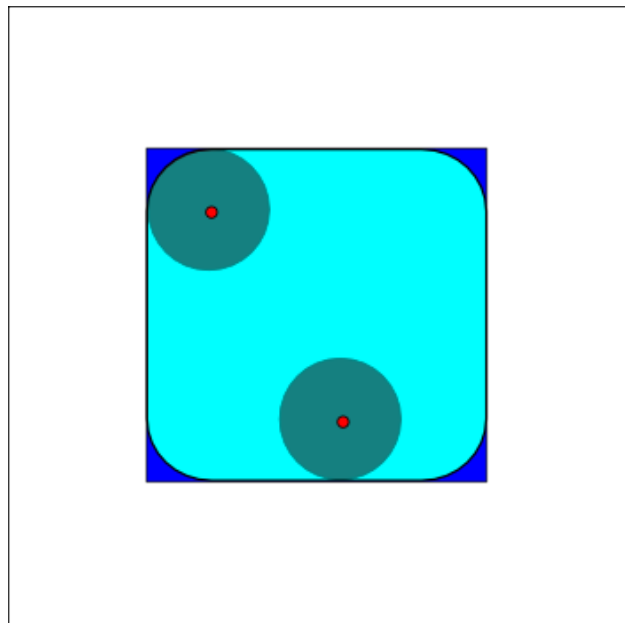
0	1	0
1	1	1
0	1	0

Эрозия

Erosion

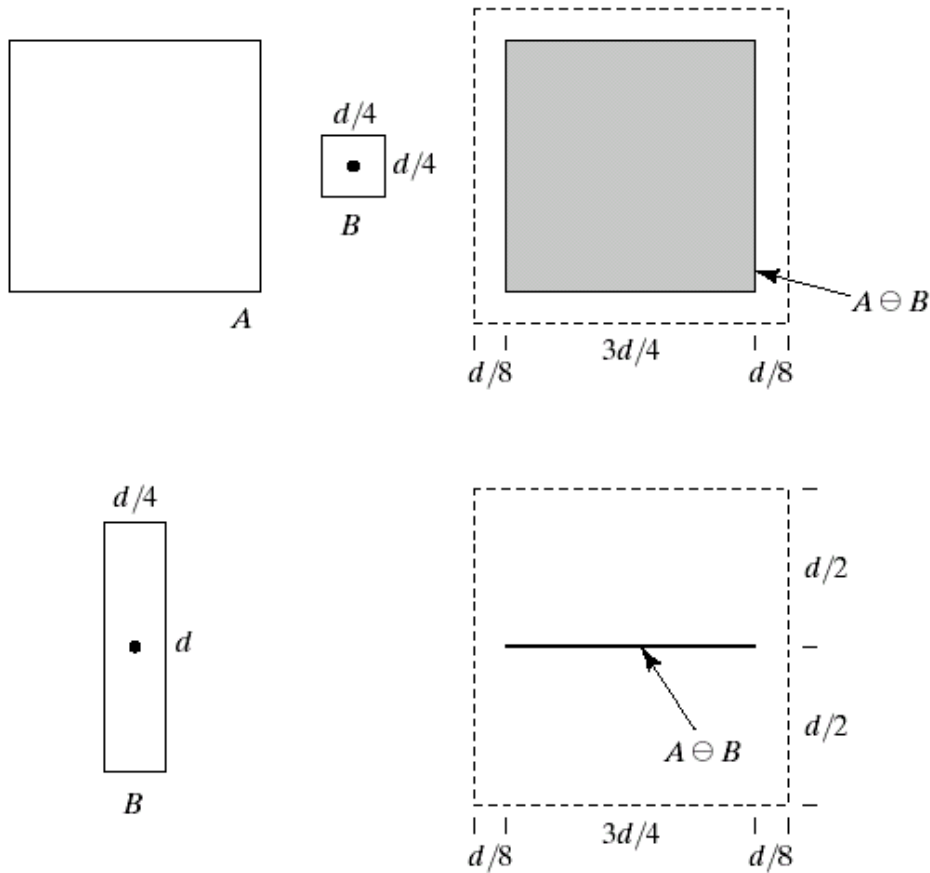
Эрозия множества A по множеству B :

$$A \ominus B = \{z \mid B_z \subseteq A\}$$



B – структурообразующее множество (примитив)

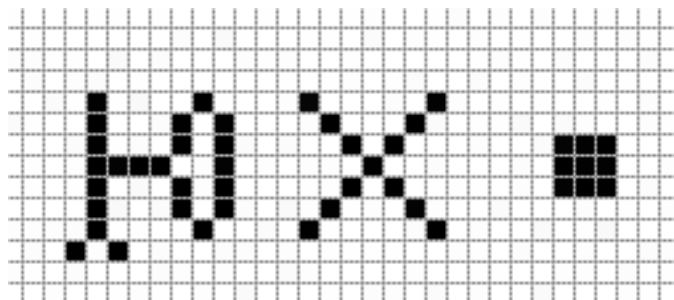
Эрозия: примеры



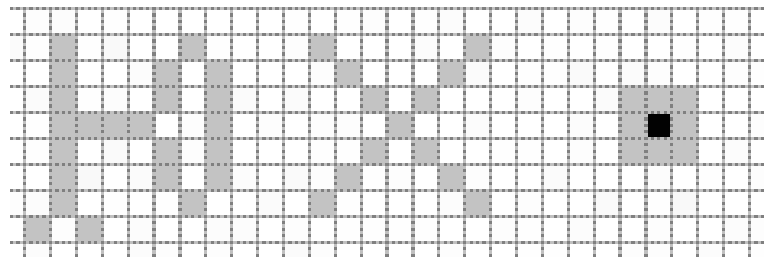
a	b	c
d	e	

FIGURE 9.6 (a) Set A . (b) Square structuring element. (c) Erosion of A by B , shown shaded. (d) Elongated structuring element. (e) Erosion of A using this element.

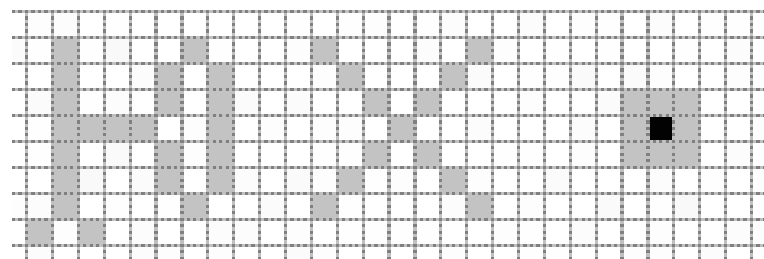
Эрозия: примеры



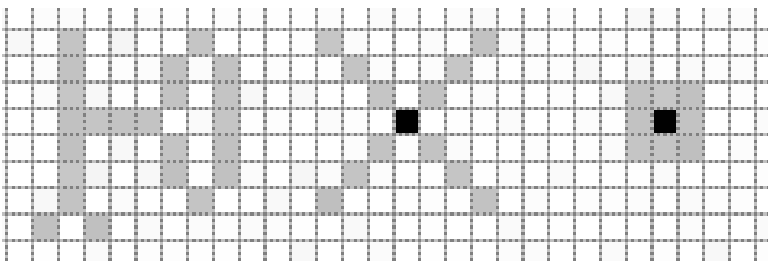
1 1 1
1 1 1
1 1 1



1 1 1
1 1 0
1 0 0



1 0 1
0 1 0
1 0 1



Применение расширения и эрозии

Расширение – заполнение «дырок» определенной формы и размера, задаваемыми структурным элементом

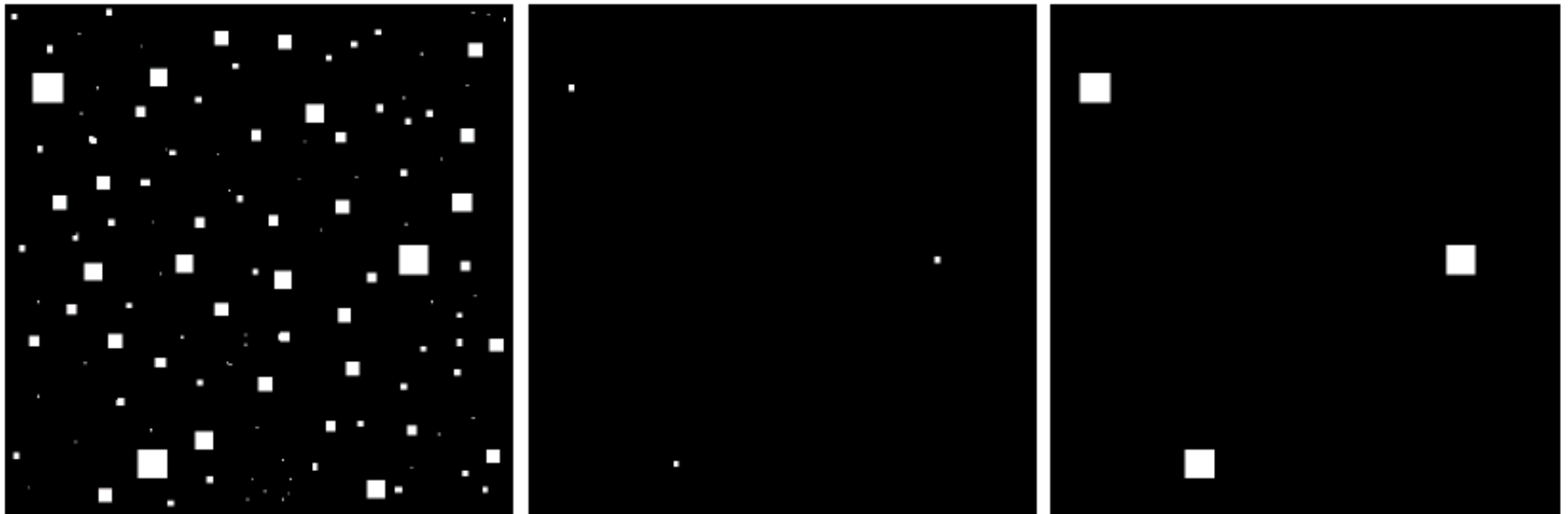
Эрозия – удаление объектов определенной формы и размера, задаваемыми структурным элементом

Цель: заполнение «дырок», удаление объектов без «побочных» эффектов на остальных объектах изображения

Решение: комбинирование расширения и эрозии с одним и тем же структурным элементом



Пример



a b c

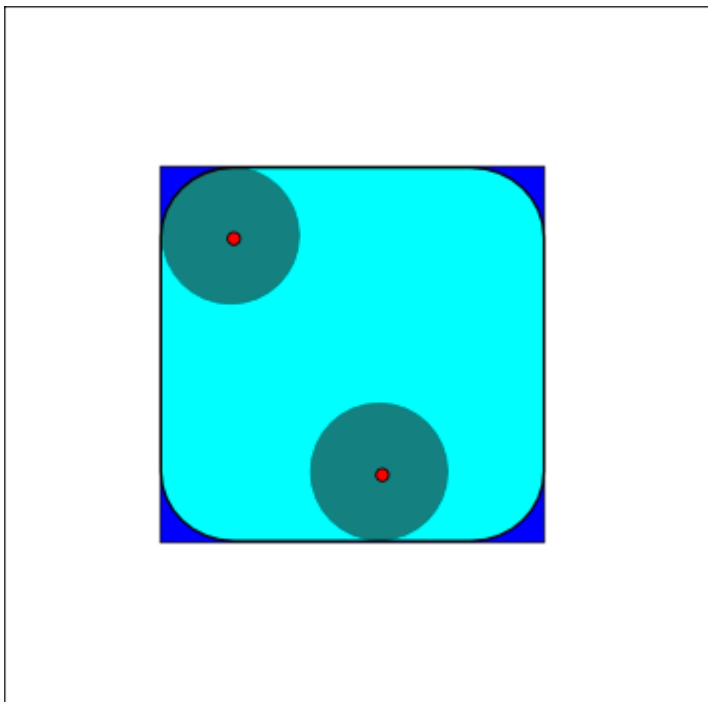
FIGURE 9.7 (a) Image of squares of size 1, 3, 5, 7, 9, and 15 pixels on the side. (b) Erosion of (a) with a square structuring element of 1's, 13 pixels on the side. (c) Dilation of (b) with the same structuring element.

Opening

Размыкание, открытие

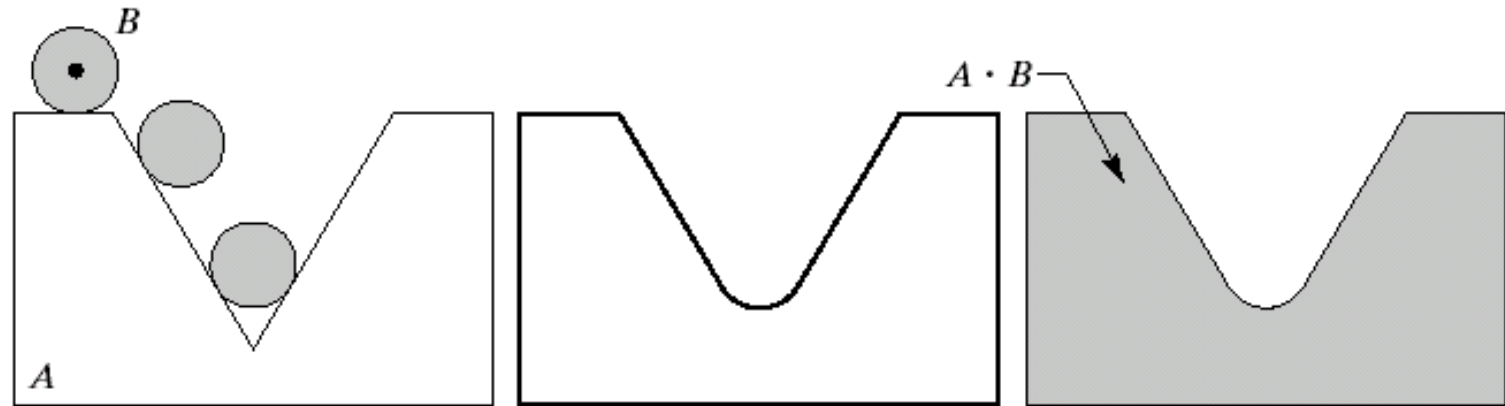
Размыкание множества A по множеству B :

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



- сглаживает контуры объекта
- обрывает узкие перешейки
- ликвидирует узкие выступы

Opening



a b c

FIGURE 9.9 (a) Structuring element B “rolling” on the outer boundary of set A . (b) Heavy line is the outer boundary of the closing. (c) Complete closing (shaded).

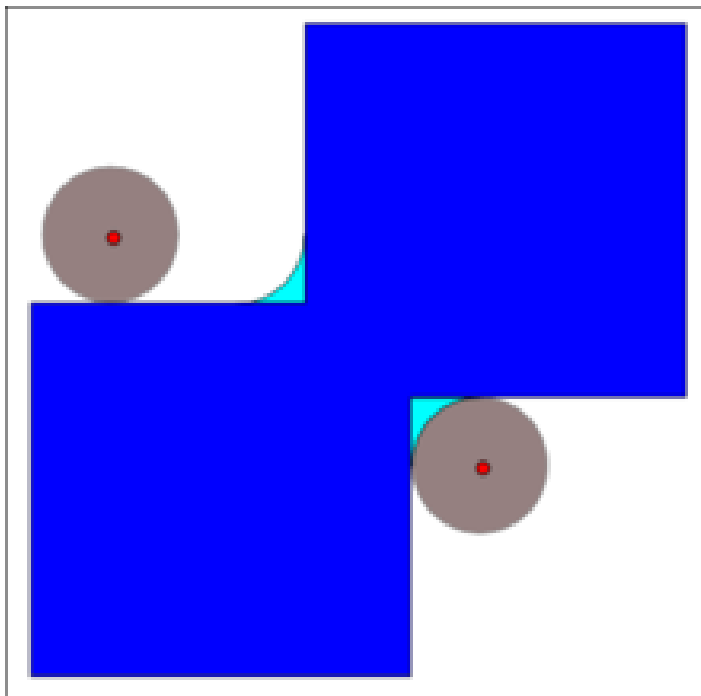
$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

Closing

Замыкание, заткрытие

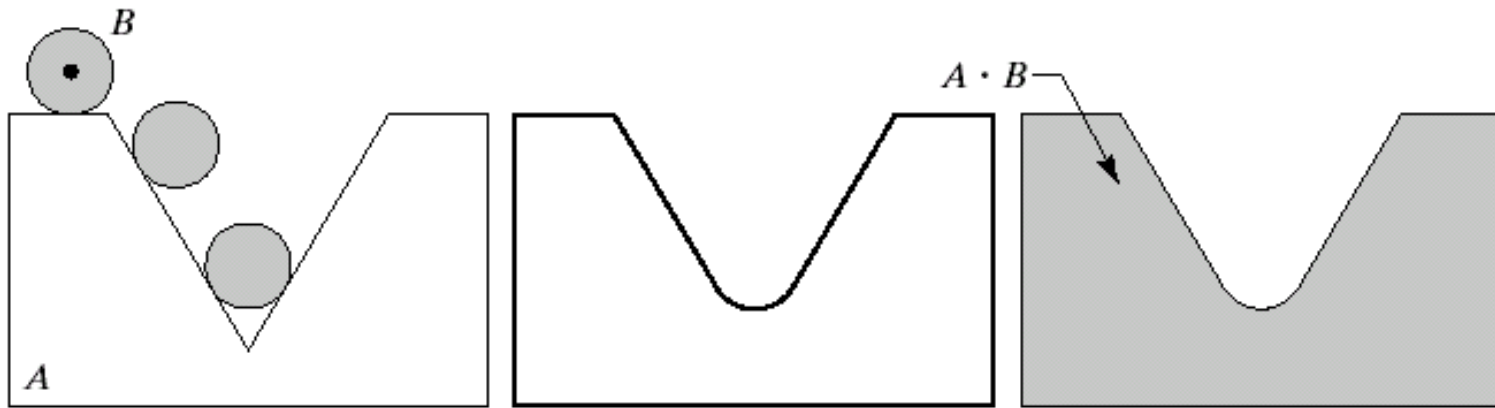
Замыкание множества A по множеству B :

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$



- сглаживает контуры объекта
- «заливает» узкие разрывы и узкие углубления
- ликвидирует небольшие отверстия
- заполняет промежутки контура

Closing



a b c

FIGURE 9.9 (a) Structuring element B “rolling” on the outer boundary of set A . (b) Heavy line is the outer boundary of the closing. (c) Complete closing (shaded).

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

СВОЙСТВА

Opening

$$(i) \quad A \circ B \subset A$$

$$(ii) \quad C \subset D \Rightarrow C \circ B \subset D \circ B$$

$$(iii) \quad (A \circ B) \circ B = A \circ B$$

Closing

$$(i) \quad A \subset A \bullet B$$

$$(ii) \quad C \subset D \Rightarrow C \bullet B \subset D \bullet B$$

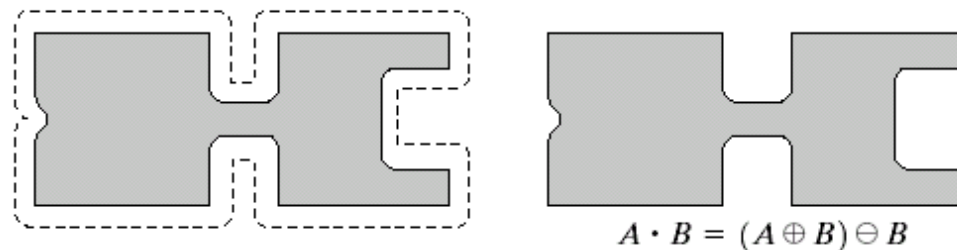
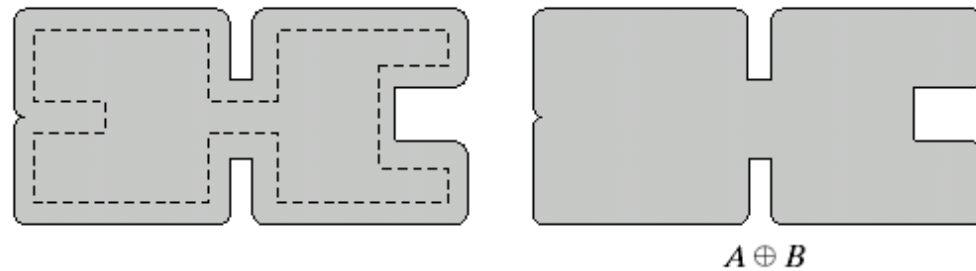
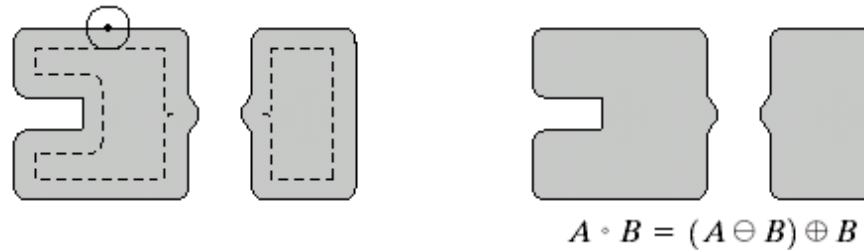
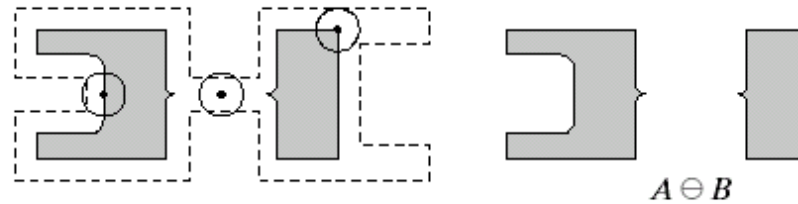
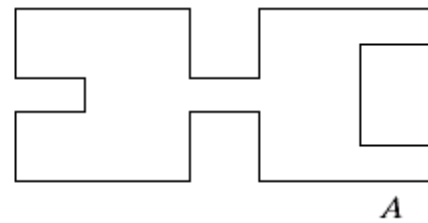
$$(iii) \quad (A \bullet B) \bullet B = A \bullet B$$



a
b c
d e
f g
h i

FIGURE 9.10

Morphological opening and closing. The structuring element is the small circle shown in various positions in (b). The dark dot is the center of the structuring element.



Hit-or-Miss Transform

Преобразование «успех/неудача»

Задача – найти на изображении местоположение объектов заданной формы

Используется составной структурный элемент: B1 – для выделения объекта, B2 – для выделения фона

B1 fits the object while B2 misses the object (fits the background)



Задача – найти
местоположение
фигуры X

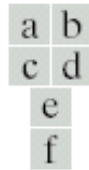
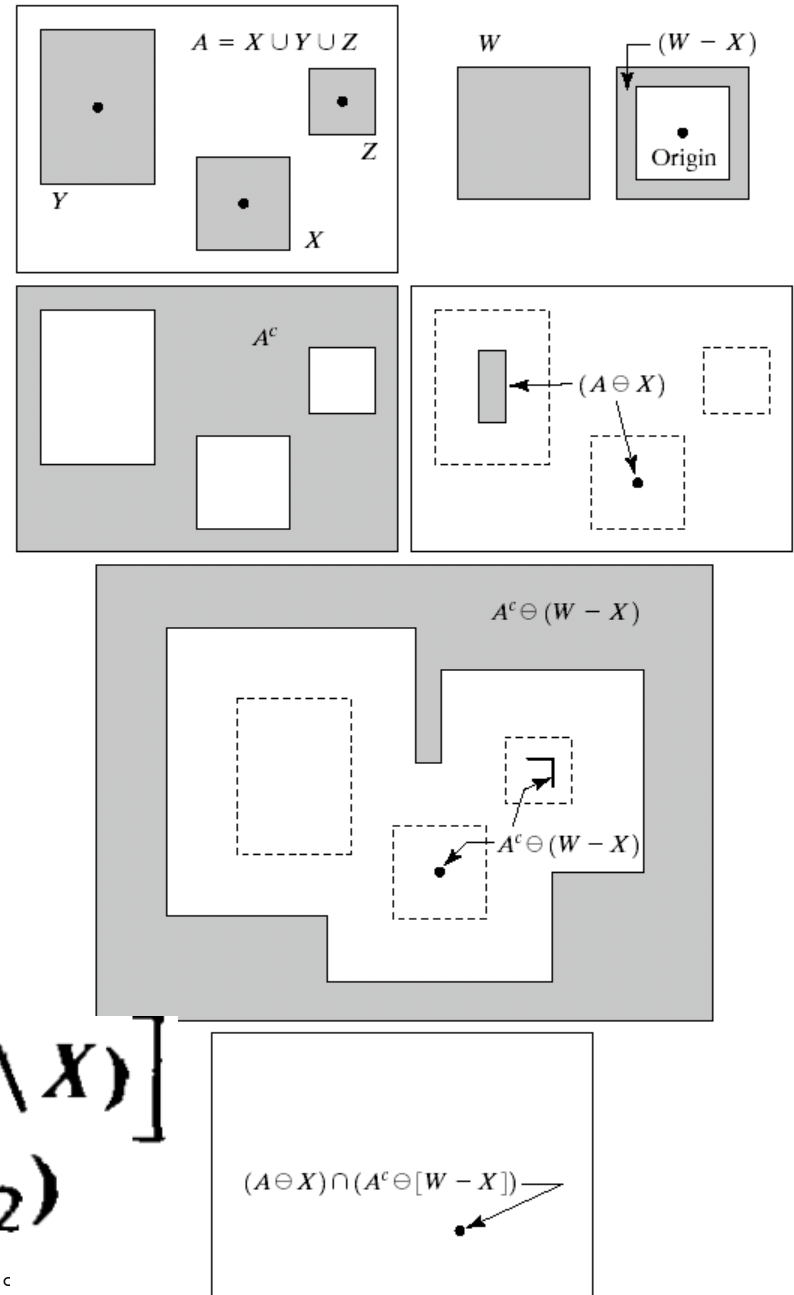


FIGURE 9.12
 (a) Set A . (b) A window, W , and the local background of X with respect to W , $(W - X)$.
 (c) Complement of A . (d) Erosion of A by X .
 (e) Erosion of A^c by $(W - X)$.
 (f) Intersection of (d) and (e), showing the location of the origin of X , as desired.



$$A \otimes B = (A \ominus X) \cap [A^c \ominus (W \setminus X)]$$

$$A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2)$$

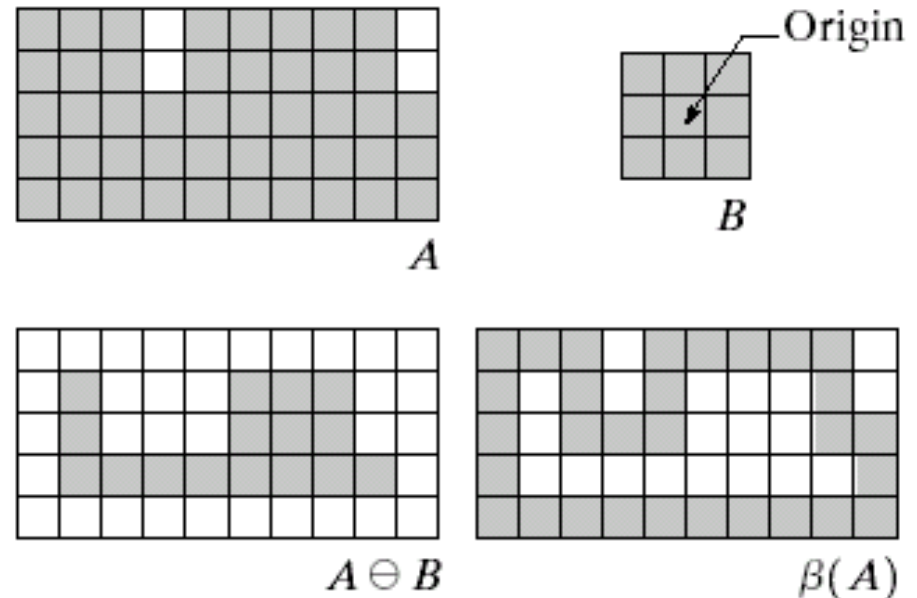
Выделение границ

Как можно выделить границу объекта с помощью морфологических операций?

$$\beta(A) = A \setminus (A \ominus B)$$

a	b
c	d

FIGURE 9.13 (a) Set A . (b) Structuring element B . (c) A eroded by B . (d) Boundary, given by the set difference between A and its erosion.



Заполнение областей

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

a	b	c
d	e	f
g	h	i

FIGURE 9.15

Region filling.

(a) Set A .

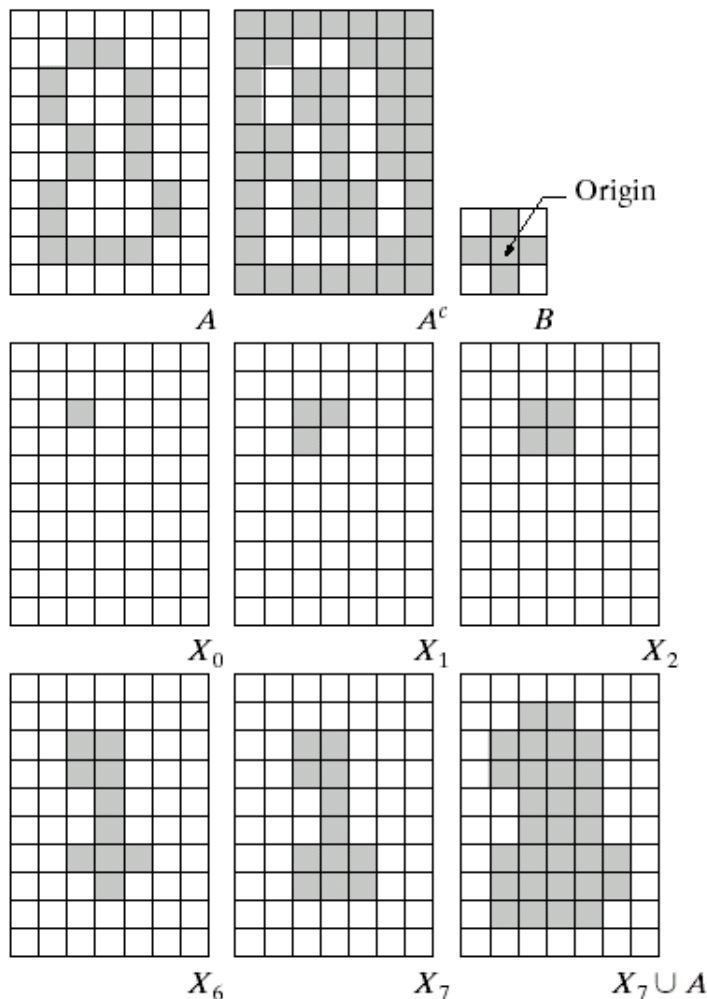
(b) Complement of A .

(c) Structuring element B .

(d) Initial point inside the boundary.

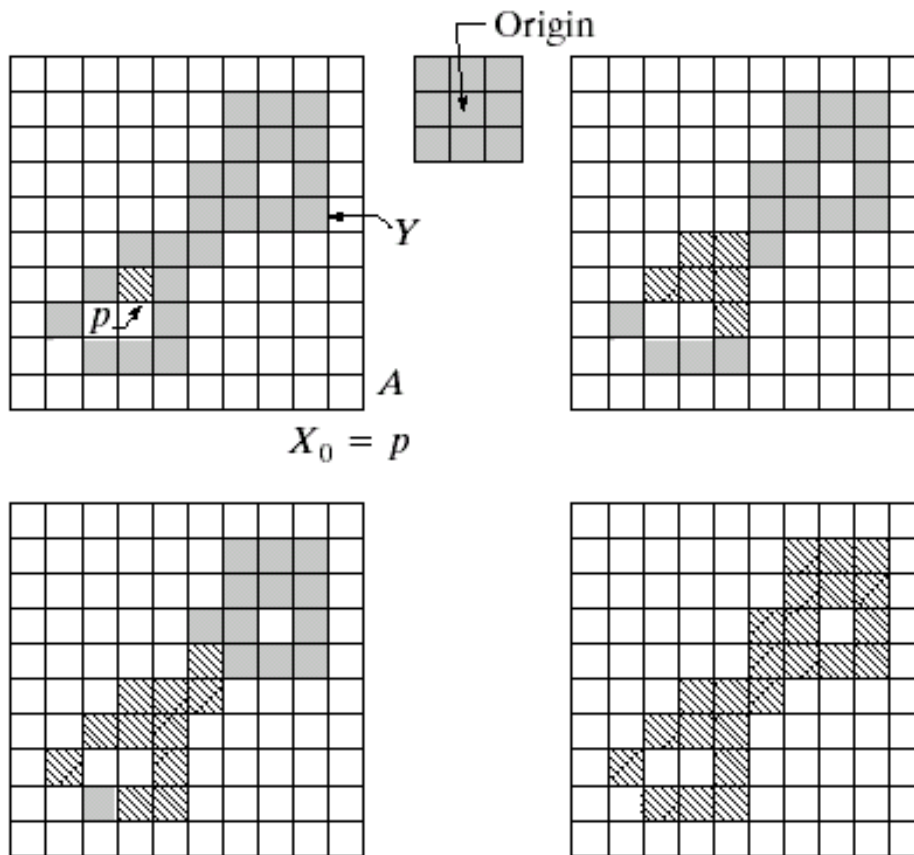
(e)–(h) Various steps of Eq. (9.5-2).

(i) Final result [union of (a) and (h)].



Выделение связанных компонент

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad k = 1, 2, 3, \dots$$



Y – искомая связанная компонента
 p – произвольная точка из Y

a b c
 d e

FIGURE 9.17 (a) Set A showing initial point p (all shaded points are valued 1, but are shown different from p to indicate that they have not yet been found by the algorithm). (b) Structuring element. (c) Result of first iterative step. (d) Result of second step. (e) Final result.

Построение выпуклой оболочки

$$X_k^i = (X_{k-1}^i \circledast B^i) \cup A \quad i=1,2,3,4 \text{ и } k=1,2,3,\dots \quad X_0^i = A$$

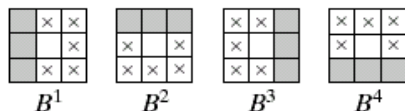
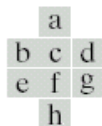
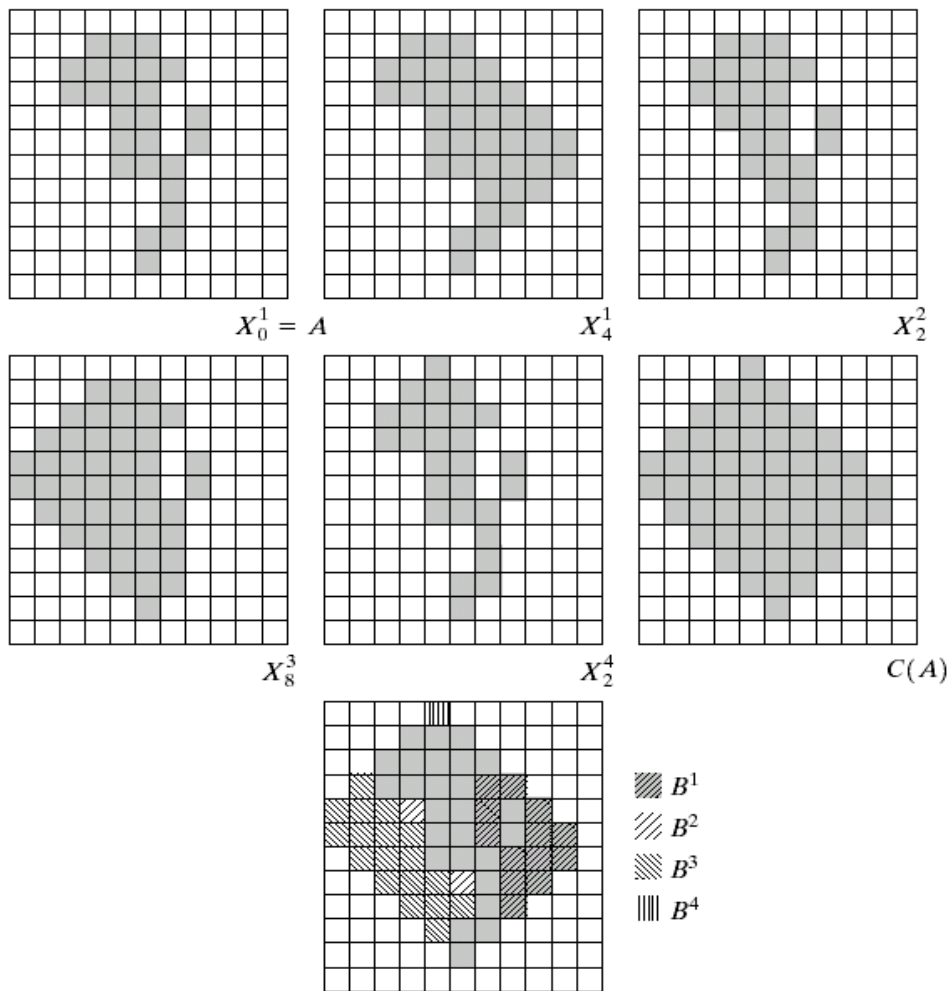


FIGURE 9.19

(a) Structuring elements. (b) Set A. (c)–(f) Results of convergence with the structuring elements shown in (a). (g) Convex hull. (h) Convex hull showing the contribution of each structuring element.



$$C(A) = \bigcup_{i=1}^4 D^i$$

где

$$D^i = X_{\text{сход}}^i$$

Утончение

$$A \otimes B = A - (A \otimes B)$$

$$= A \cap (A \otimes B)^c$$

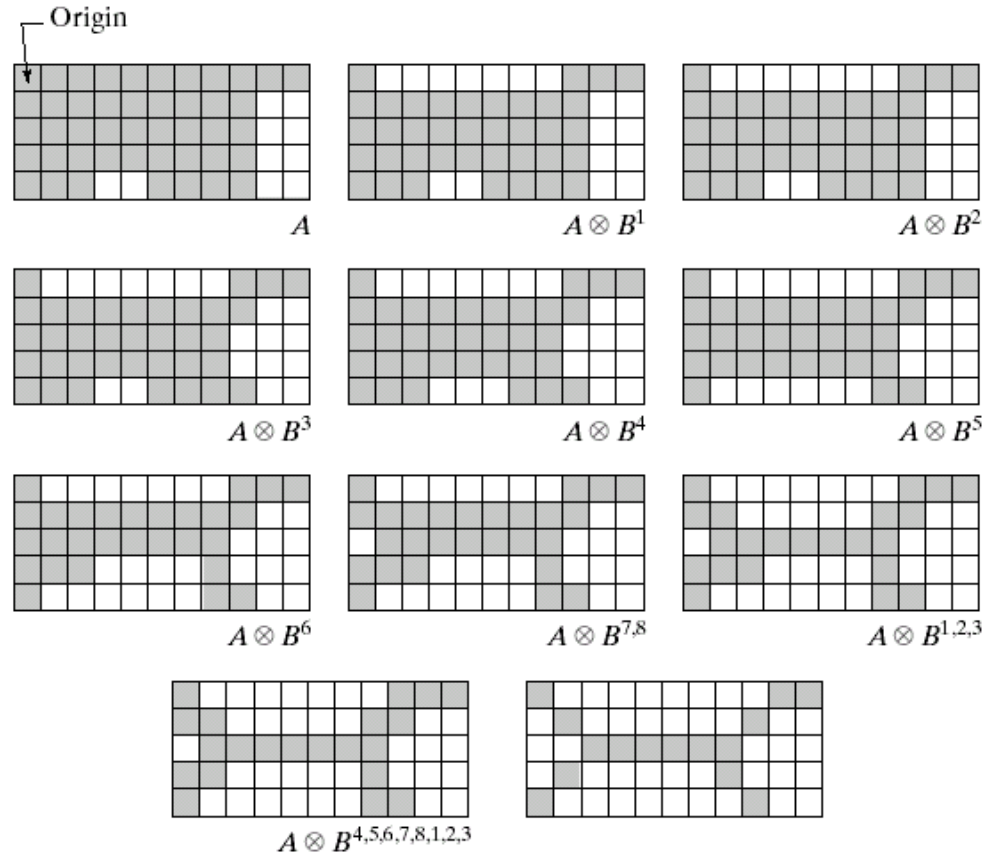
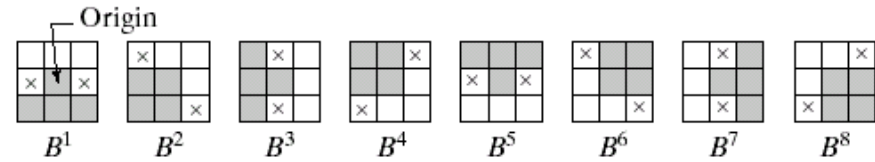
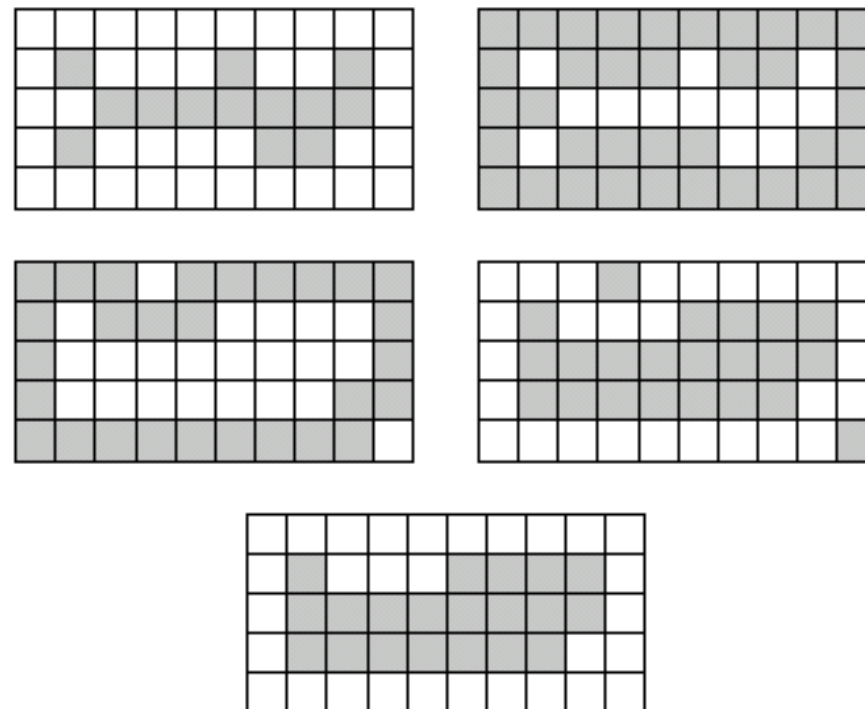


FIGURE 9.21 (a) Sequence of rotated structuring elements used for thinning. (b) Set A . (c) Result of thinning with the first element. (d)–(i) Results of thinning with the next seven elements (there was no change between the seventh and eighth elements). (j) Result of using the first element again (there were no changes for the next two elements). (k) Result after convergence. (l) Conversion to m -connectivity.

a		
b	c	d
e	f	g
h	i	j
k	l	

Утолщение

$$A \odot B = A \cup (A \ast B)$$



a	b
c	d
e	

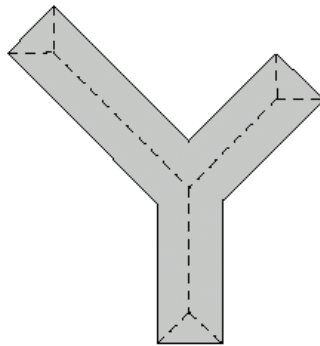
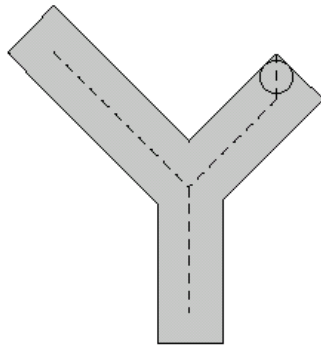
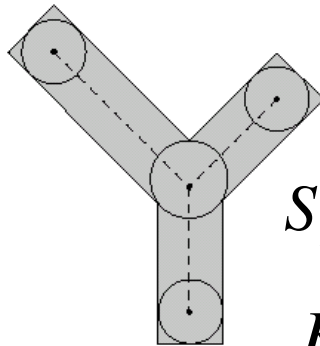
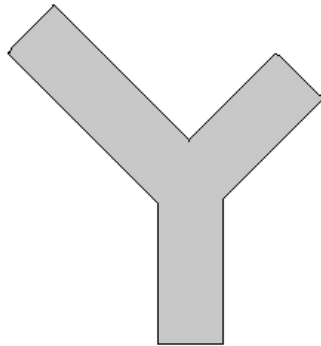
FIGURE 9.22 (a) Set A . (b) Complement of A . (c) Result of thinning the complement of A . (d) Thickened set obtained by complementing (c). (e) Final result, with no disconnected points.

Построение остова

a b
c d

FIGURE 9.23

- (a) Set A .
- (b) Various positions of maximum disks with centers on the skeleton of A .
- (c) Another maximum disk on a different segment of the skeleton of A .
- (d) Complete skeleton.



$$S(A) = \bigcup_{k=0}^K S_k(A)$$

$$S_k(A) = (A - kB) - (A - kB) \circ B$$

$$K = \max \{k \mid (A - kB) \neq \Phi\}$$

$$A = \bigcup_{k=0}^K (S_k(A) \oplus kB)$$

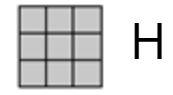
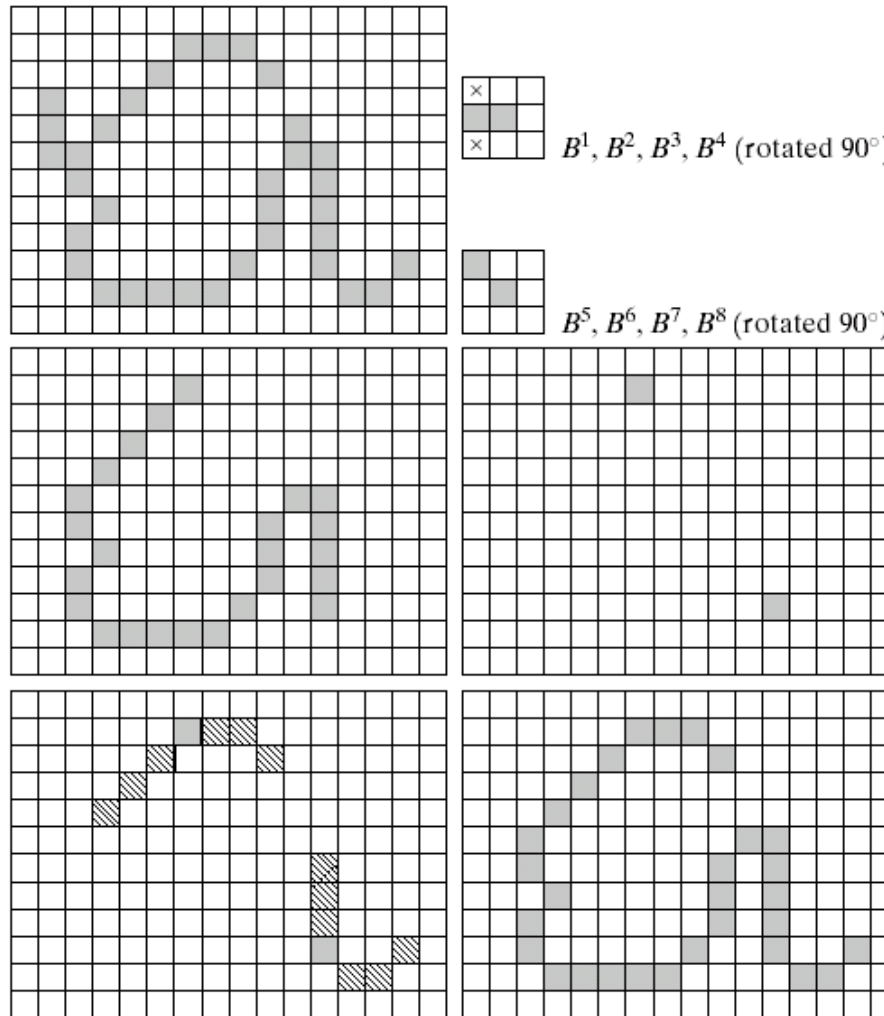


Усечение

a b
c
d e
f g

FIGURE 9.25

(a) Original image. (b) and (c) Structuring elements used for deleting end points. (d) Result of three cycles of thinning. (e) End points of (d). (f) Dilation of end points conditioned on (a). (g) Pruned image.



$$X_1 = A \otimes \{B\}$$

$$X_2 = \bigcup_{k=1}^8 (X_1 \circledast B^k)$$

$$X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A$$

$$X_4 = X_1 \cup X_3$$



Заключение

- Базовые морфологические операции
 - Расширение, эрозия
- Производные морфологические операции
 - Размыкание
 - Замыкание
 - «Успех/неудача»
 - Построение выпуклой оболочки
 - Построение остова
 - Усечение

