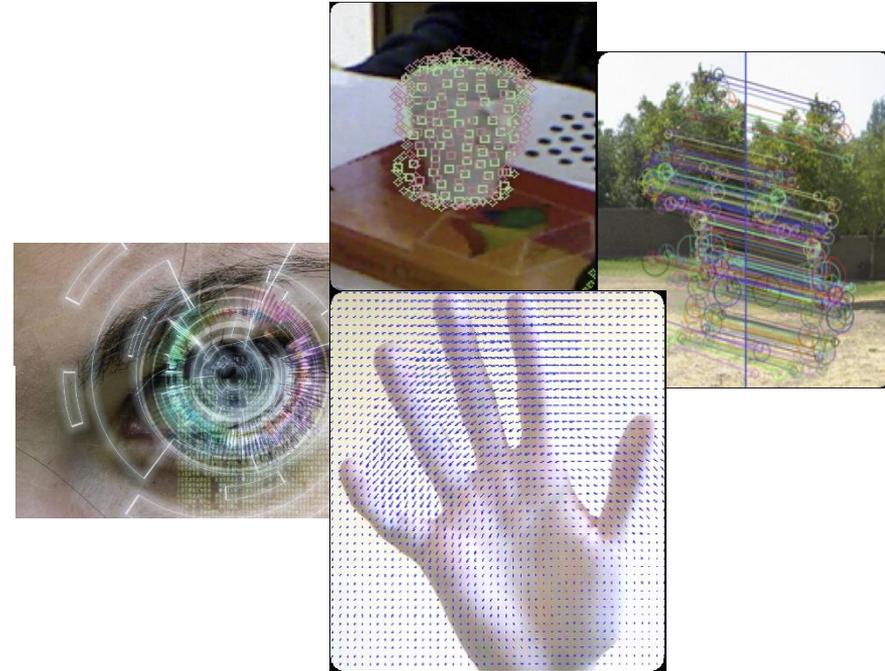


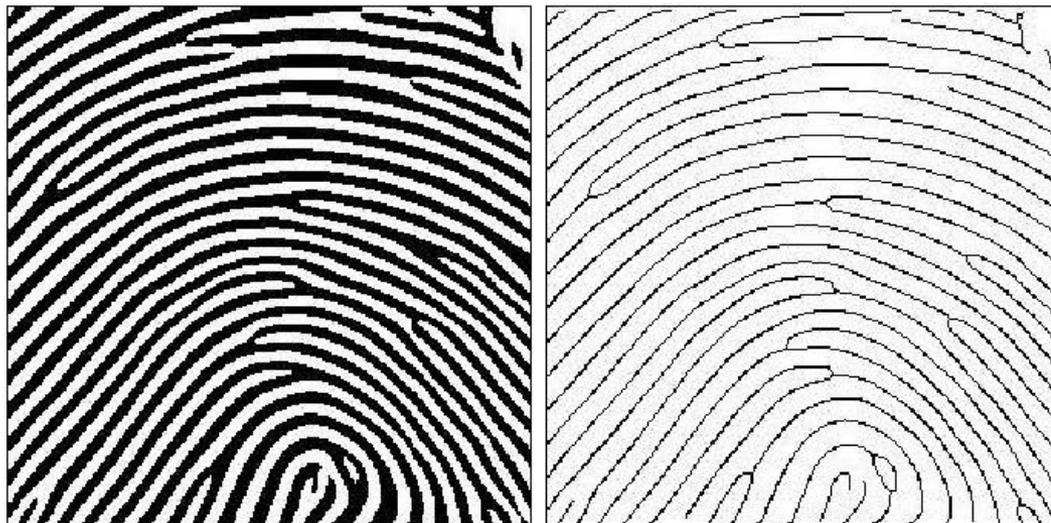
2023 Fall COMPUTER VISION

비전
프로그래밍



7장. 형태학 연산을 이용한 영상변환 (이론)
(Morphological processing)

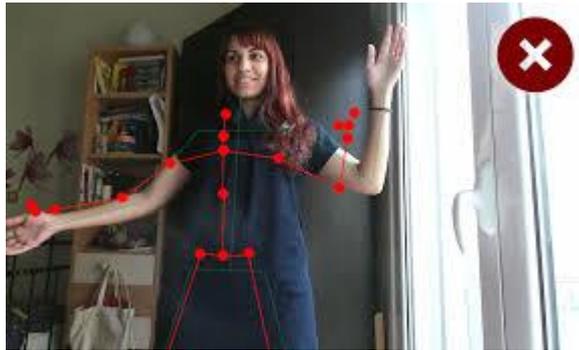
무엇을 배울려고 하는가???(1)



무엇을 배울려고 하는가???(2)



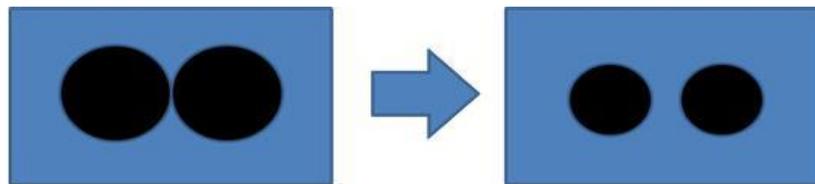
무엇을 배울려고 하는가???(3)



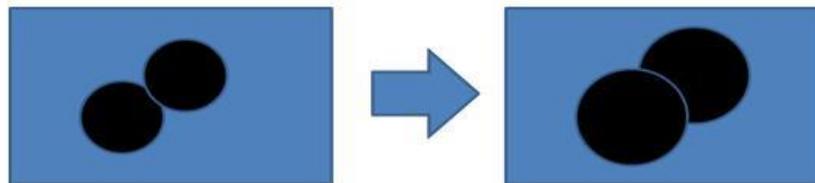
Morphology(형태학)의 개념

■ 형태학(Morphology, 모폴로지)

- Morphology, from the Greek and meaning "study of shape"
- 영상의 형태(Shape)를 분석하고 처리하는 기법
- 영상의 경계, 블록, 골격 등 형태를 표현하거나 서술하는 데 필요한 영상 요소를 추출하는 데 형태학 처리 활용
- 영상의 경계 너비가 일정치 않거나 중간에 단절되어 이를 일정하게 하거나 연결할 때 형태학 처리가 필요함.



(a) 경계선의 단순화



(b) 경계선의 확장

[그림 11-1] 형태학 처리한 예

이진 영상에서의 Morphology(형태학) 처리

■ 이진 영상에서의 형태학 처리

- 이진 영상에서 특정 패턴을 찾으려고 이진 영상의 형태에 형태소라는 행렬과 논리적인 (AND, OR, NOT, ...) 연산을 수행하여 출력 화소를 결정하는 것

■ 침식(Erosion)과 팽창(Dilation)

- 형태학의 기본이 되는 연산으로, 다른 모든 형태학 연산은 이 두 연산을 조합하여 만듦.
- 형태소 (structural element): 형태학적 연산을 위한 기본 Mask

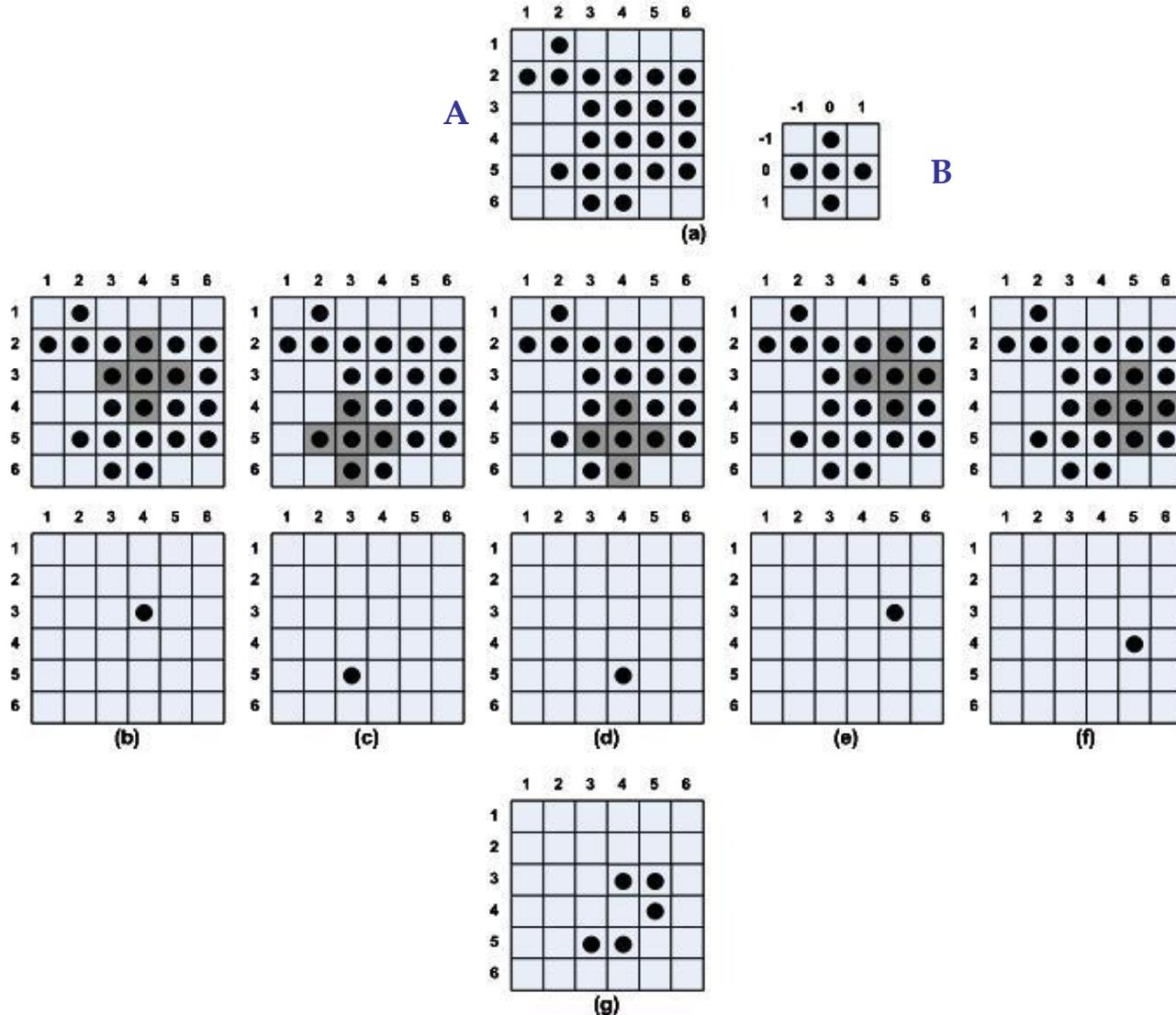
Morphology(형태학) 처리 : 침식(Erosion)

- 물체의 크기를 그 배경과 관련하여 일정하게 줄여주는 것
- 물체의 크기는 줄어들고, 배경은 확대됨.
- 영상의 물체와 배경 사이에 스파이크 잡음이 있을 때 이 잡음을 제거하거나 전체 영상에서 아주 작은 물체를 제거하는 데 응용됨.
- 영상에서의 돌출부는 감소시키고, 내부 돌출부는 증가시켜서 서로 닿은 물체를 분리할 때도 유용함.

$$A-B = \{\omega : B\omega \subseteq A\}$$

→ Structure element와 AND 연산 사용

Morphology(형태학) 처리 : 침식(계속)



[그림 11-4] 침식의 수행 과정

Morphology(형태학) 처리 : 침식(계속)

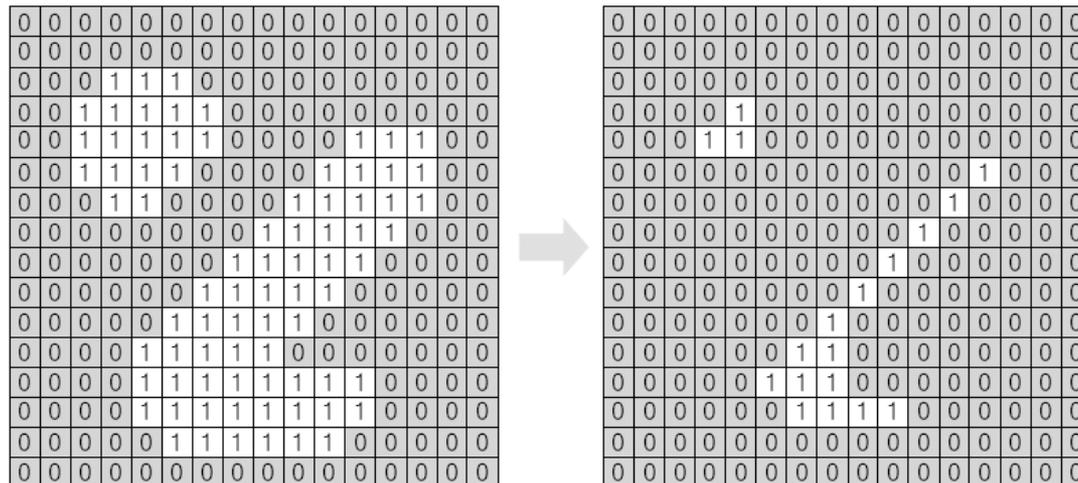
■ 교환 법칙 성립

$$A-B = B-A$$

■ 형태소의 크기에 따라 침식되는 정도가 결정됨

- 형태소의 크기가 작으면 침식의 정도도 작고, 크기가 크면 침식의 정도도 큼.

■ 같은 형태소를 반복해서 적용하면 침식이 계속 일어나 객체를 완전하게 제거할 수 있음.



[그림 11-6] 이진 영상에서의 침식 처리 이해

Morphology(형태학) 처리 : 팽창(dilation)

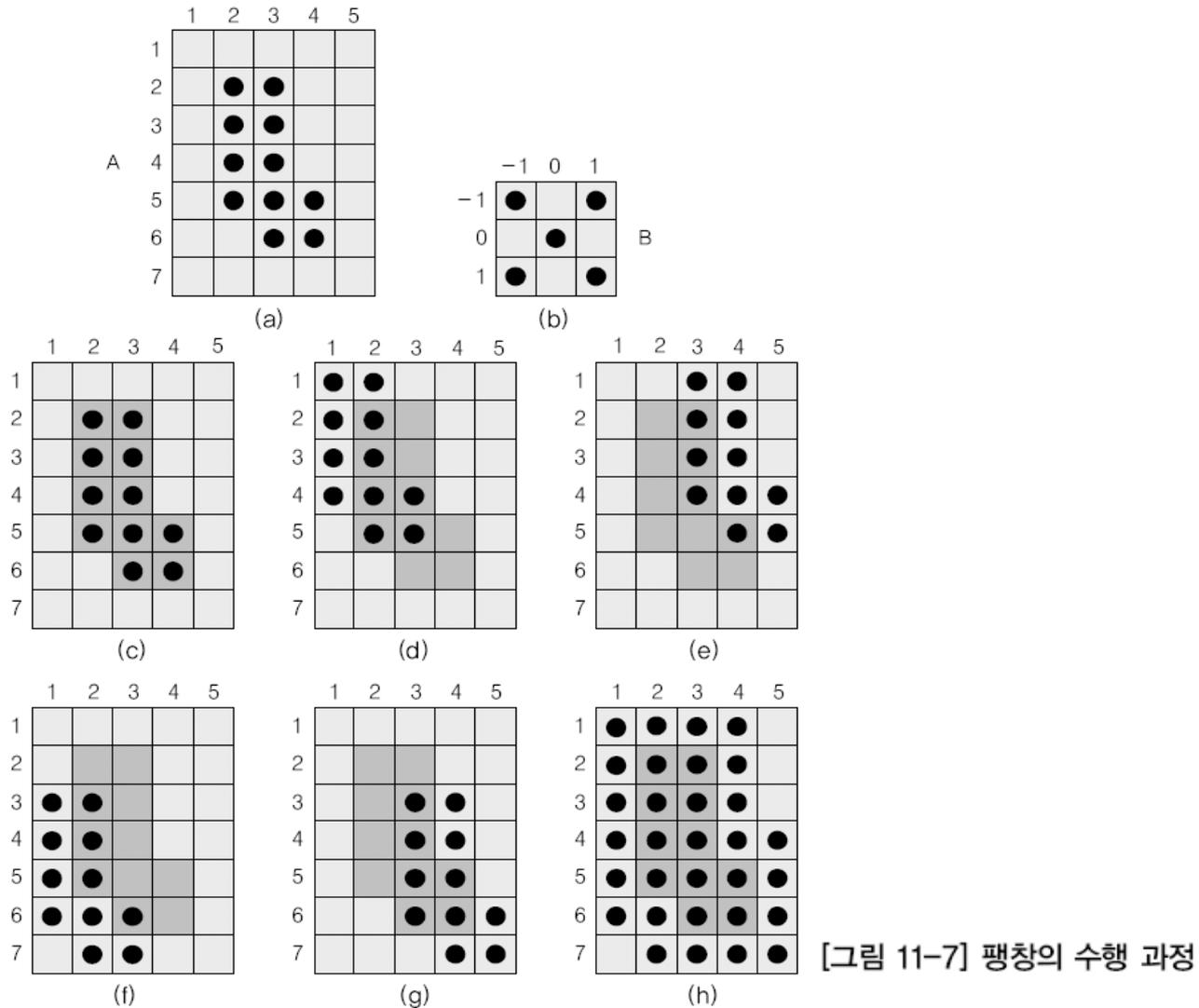
- 물체 내부의 돌출부는 감소하고 외부의 돌출부는 증가시켜서 물체의 크기를 확장하고 배경은 축소하는 기법
- 물체 내부에 발생한 구멍과 같은 공간을 채우거나 짧게 끊어진 영역을 연결하는 데 사용됨.
- 이진 영상에서 팽창연산은 입력 화소가 균일한 곳에서는 변화가 없으나 흑백 화소가 같이 있는 영역에서 동작함.

$$A \oplus B = \bigcup_{w \in B} A_w$$

- U는 합집합이고, B의 각 점에서 A를 이동한 뒤 더하라는 의미

→ Structure element와 OR 연산 사용

Morphology(형태학) 처리 : 팽창(계속)



[그림 11-7] 팽창의 수행 과정

이진 영상에서의 Morphology(형태학) 처리

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

[그림 11-9] 이진 영상에서 팽창 처리 이해

Morphology(형태학) 처리: 팽창과 침식과의 관계

- 팽창과 침식은 영상의 처리 관점에서는 반대의 효과를 가져옴.
- 수학적으로 생각하면, 팽창과 침식은 각각 여집합과 반사에서 서로 이원적이라고 할 수 있음.

- 화소의 집합 A와 B의 팽창에서 여집합은 A의 여집합과 B의 반사를 침식한 것과 같음.

$$\overline{A \oplus B} = \overline{A} \ominus \hat{B}$$

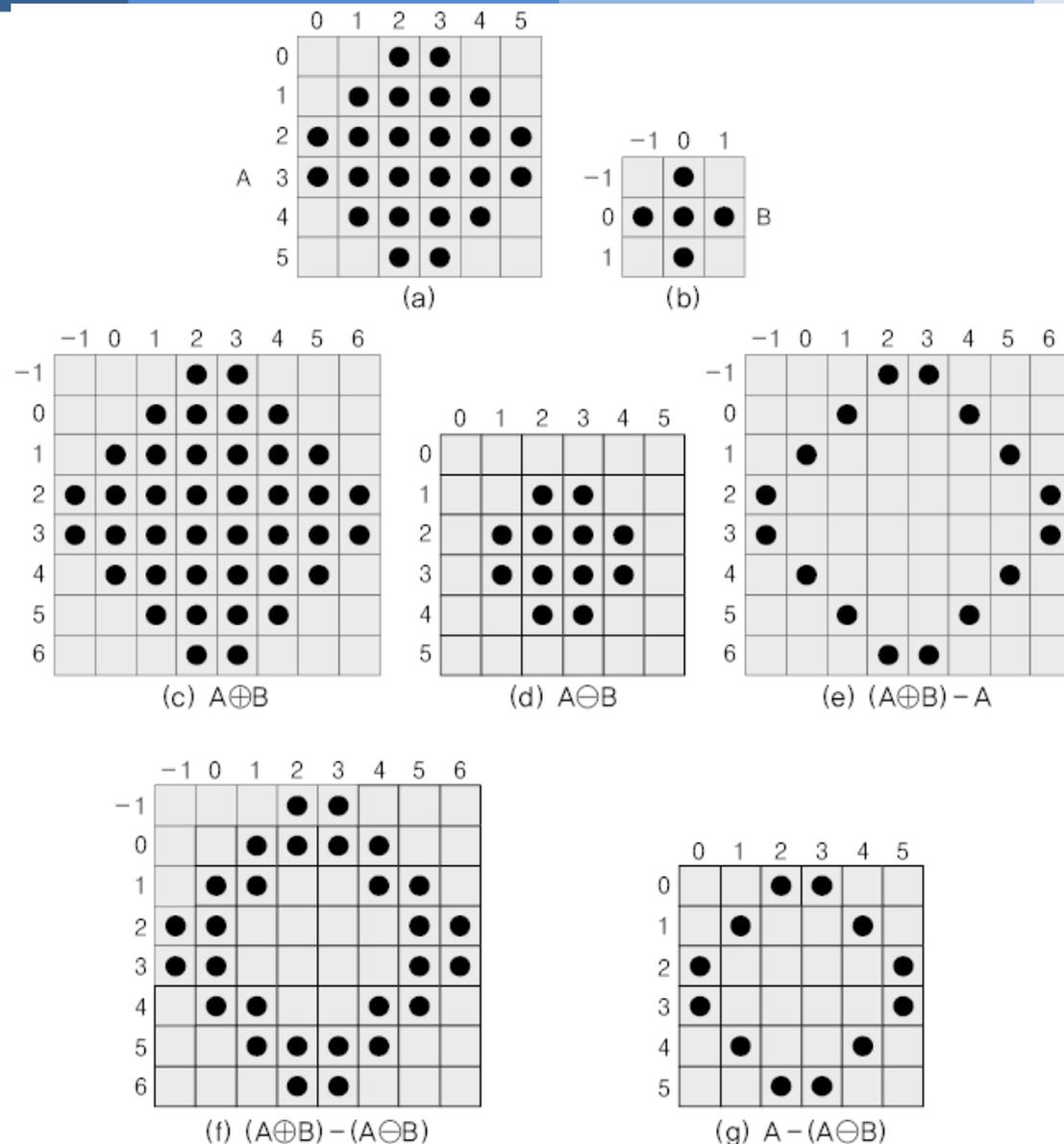
- A와 B의 침식에서 여집합은 A의 여집합과 B의 반사를 팽창한 것과 같음

$$\overline{A \ominus B} = \overline{A} \oplus \hat{B}$$

- 팽창과 침식을 이용한 **경계의 검출** 정리

- A의 내부 경계 : $A - (A - B)$
- A의 외부 경계 : $(A \oplus B) - A$
- A의 형태학적 기울기 = 내부 경계 + 외부 경계 : $(A \oplus B) - (A - B)$

Morphology(형태학) 처리: 팽창과 침식과의 관계(계속)



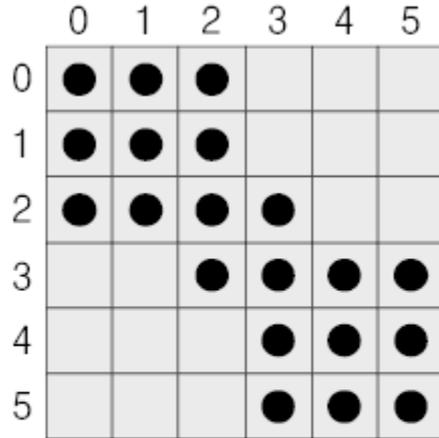
[그림 11-10] 팽창과 침식을 이용한 물체의 경계선 검출

Morphology(형태학) 처리: 열림

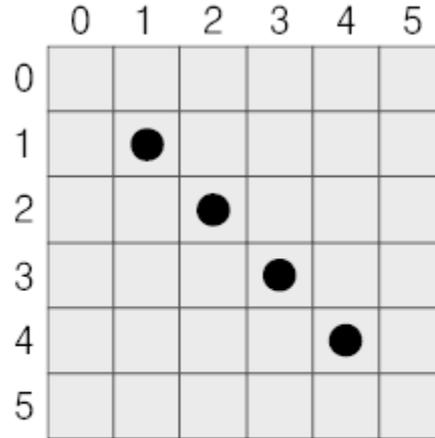
- 침식연산 다음에 팽창연산을 바로 사용하는 알고리즘
- 불룩하게 나온 부분을 제거하고 좁은 연결을 끊어서 영상의 외곽선 부분을 부드럽게 만듦.
- 물체의 형상과 크기는 보존됨.
- 돌출 부분과 좁은 연결 부위를 제거하므로 제거연산이라고도 함.
- 외곽선 부분을 더욱 부드럽게 하려면 열림연산을 반복해서 적용하여 침식연산을 특정 횟수만큼 반복한 뒤 팽창연산도 같은 횟수만큼 반복
- 화소의 집합 A와 형태소나 구조적 요소 B가 있을 때 B가 일으킨 A의 열림은 $A \circ B$ 로 표기하며, 다음과 같이 정의함.

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

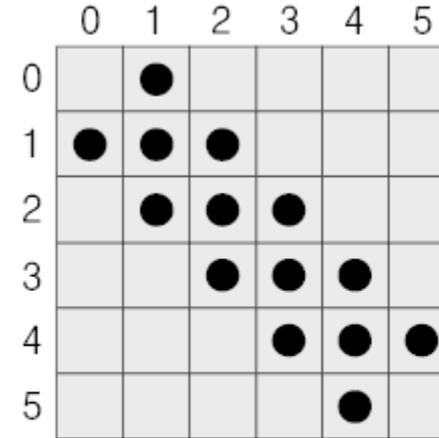
Morphology(형태학) 처리: 열림(계속)



(a) A



(b) $A \ominus B$



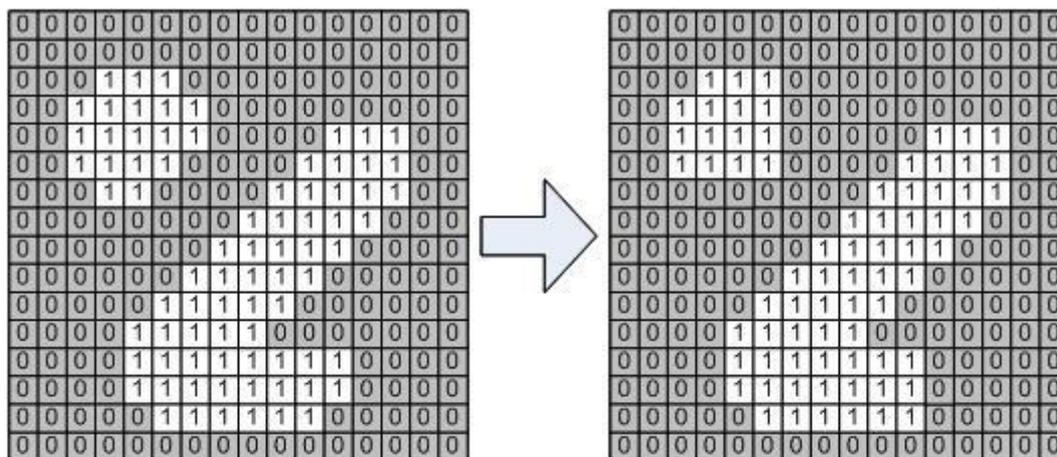
(c) $A \circ B$

[그림 11-11] 열림연산의 수행 과정

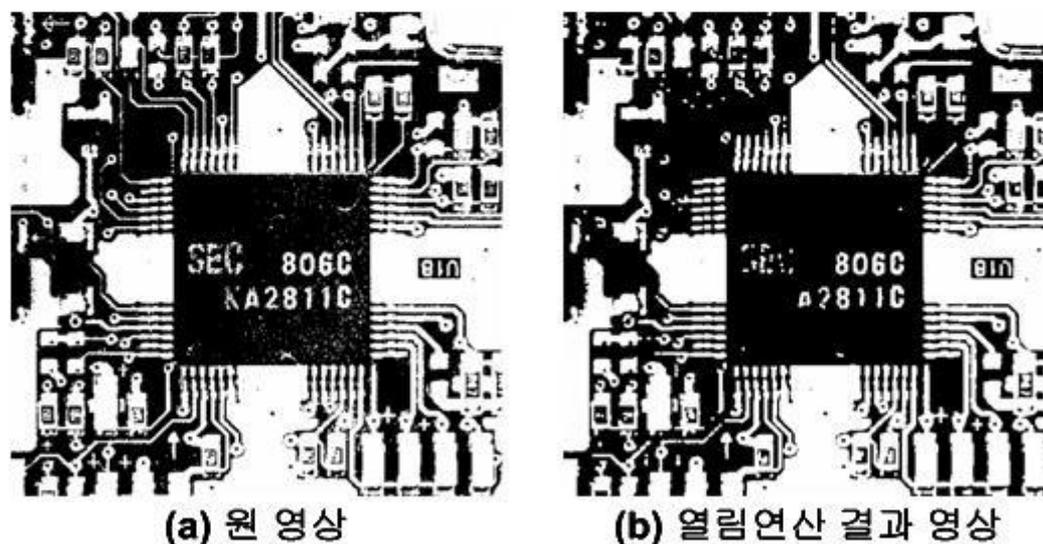
■ 열림연산의 성질

- 열림연산 $A \circ B$ 의 결과는 A의 부분 집합이다.
 $A \supset (A \circ B)$
- A가 C의 부분 집합이면, $(A \circ B)$ 는 $(A \circ C)$ 의 부분 집합이다.
 $(A \circ B) \subset (A \circ C)$
- Idempotence 성질은 다음과 같다.
 $(A \circ B) \circ B = (A \circ B)$

Morphology(형태학) 처리: 열림(계속)



[그림 11-12] 열림연산을 이진 영상에서 수행한 개념

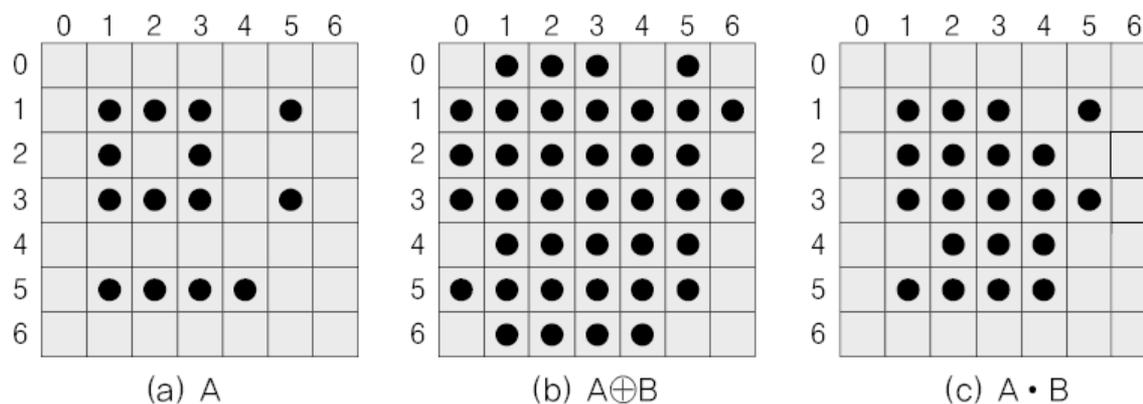


[그림 11-13] 실제 이진 영상에 열림연산을 적용한 결과 영상

Morphology(형태학) 처리: 닫힘

- 열림과 반대로 팽창을 처리한 뒤에 침식 처리 수행
- 오목하게 들어간 부분이나 작은 구멍을 채우기에 열림 연산과 마찬가지로 영상 외곽선 부분을 부드럽게 만들며, 객체의 형태와 크기는 보존됨
- 작은 구멍이나 틈 등을 채우는 역할을 하므로 채움 연산이라고도 함.
 - 화소의 집합 A와 형태소 B가 주어졌을 때 B가 일으킨 A의 닫힘은 $A \bullet B$ 로 표기

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

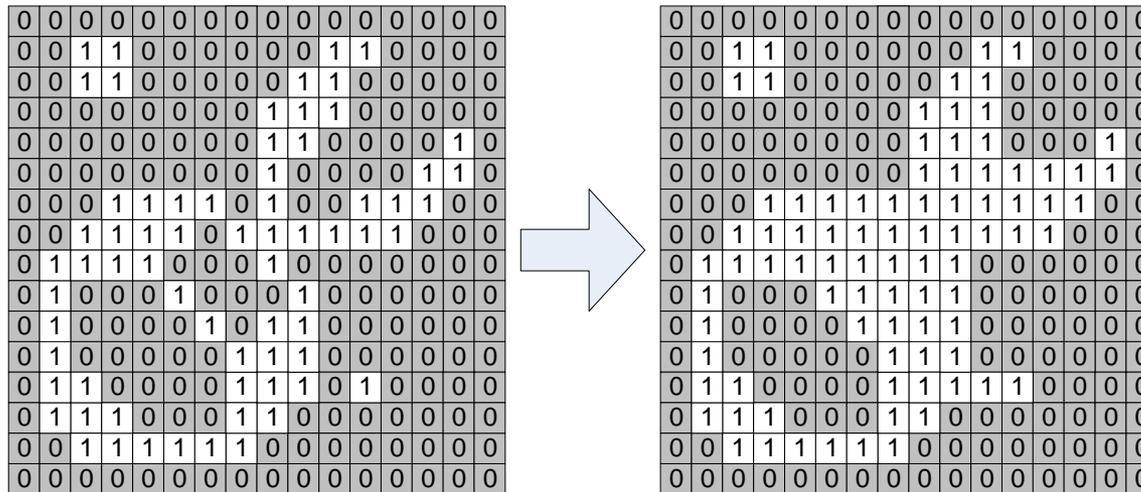


[그림 11-14] 닫힘연산의 수행 과정

Morphology(형태학) 처리: 닫힘(계속)

■ 닫힘연산 성질

- A는 A•B의 부분 집합이다.
 $A \subset A \cdot B$
- A가 C의 부분 집합이면, (A•B)는 (C•B)의 부분 집합이다.
 $(A \cdot B) \subset (C \cdot B)$
- Idempotence 성질은 다음과 같다.
 $(A \cdot B) \cdot B = (A \cdot B)$



[그림 11-15] 닫힘 · 열림연산을 이진 영상에서 수행한 개념

Morphology(형태학) 처리: 열림과 닫힘의 관계

- 팽창과 침식처럼 여집합과 반사에 이원적이어서 다음과 같이 표현 가능

$$\overline{A \circ B} = \bar{A} \bullet \hat{B}$$

- 다음과 같이 반대도 성립

$$\overline{A \bullet B} = \bar{A} \circ \hat{B}$$



(a) 원 영상

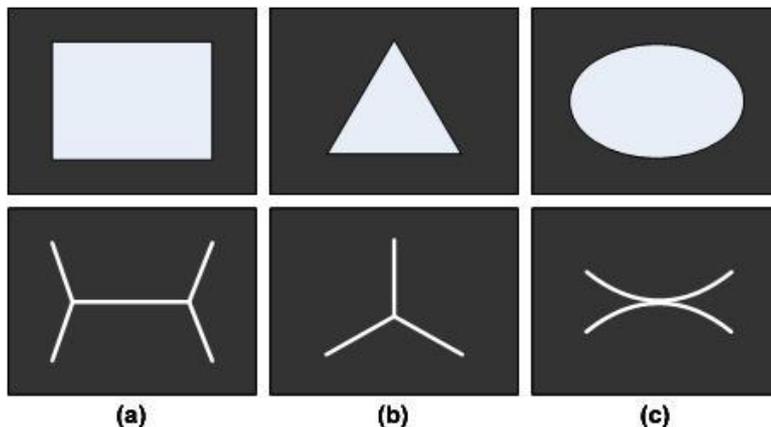


(b) 닫힘연산 결과영상

[그림 11-16] 실제 이진 영상에 닫힘연산을 적용한 결과 영상

Morphology(형태학) 처리: Skeletonization(골격화)

- 이진 영상에서 물체의 크기와 모양을 요약하는 선과 곡선의 집합으로 만드는 것
- 골격을 정의하는 방법이 다양하므로 주어진 물체에서 서로 다른 모양의 골격도 있을 수 있음
- 골격화는 침식연산을 이용해 수행
- 서로 다른 방향성이 여러 개 있는 침식 마스크를 이용하여 영상 내의 물체를 서서히 깎아 다듬어 침식을 반복하여 객체의 하부 구조를 표현할 수 있게 됨

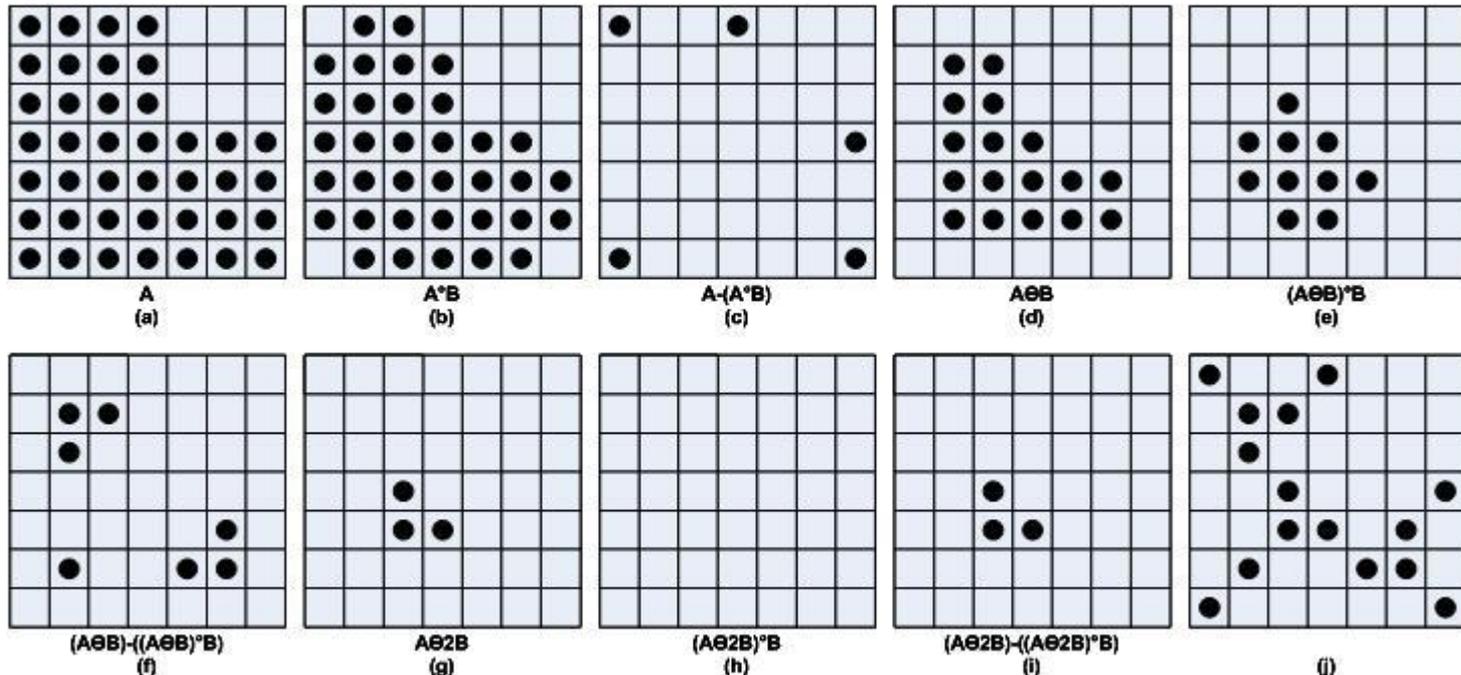


[그림 11-17] 기본 도형의 골격화

Morphology(형태학) 처리: Skeletonization(골격화) (계속)

| 침식 | 열림 | 차집합 |
|----------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| A | $A \circ B$ | $A - (A \circ B)$ |
| $A \ominus B$ | $(A \ominus B) \circ B$ | $(A \ominus B) - ((A \ominus B) \circ B)$ |
| $A \ominus 2B$ | $(A \ominus 2B) \circ B$ | $(A \ominus 2B) - ((A \ominus 2B) \circ B)$ |
| $A \ominus 3B$ | $(A \ominus 3B) \circ B$ | $(A \ominus 3B) - ((A \ominus 3B) \circ B)$ |
| ... | ... | ... |
| $A \ominus kB$ | $(A \ominus kB) \circ B$ | $(A \ominus kB) - ((A \ominus kB) \circ B)$ |

[표 11-1] 골격화 수행 과정



[그림 11-18] 골격화 수행 과정

Morphology(형태학) 처리: fingerprint image processing



| | |
|---|---|
| a | b |
| d | c |
| e | f |

FIGURE 9.11

- (a) Noisy image.
 - (b) Structuring element.
 - (c) Eroded image.
 - (d) Opening of A .
 - (e) Dilation of the opening.
 - (f) Closing of the opening.
- (Original image courtesy of the National Institute of Standards and Technology.)

Grayscale image 에서의 Morphology(형태학) 처리

■ 그레이스케일 영상의 침식과 팽창연산

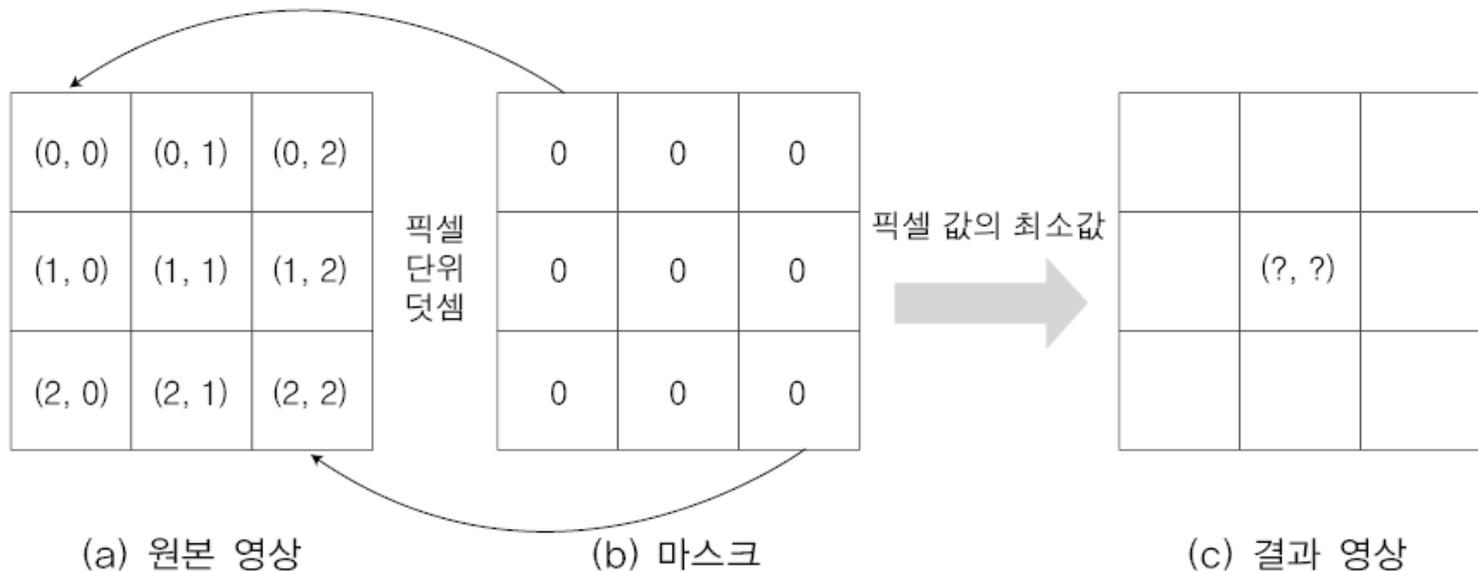
- 물체의 밝기와 배경의 밝기 간에 격차가 클 때는 그레이스케일 영상의 침식과 팽창연산이 효과적
- 이때, 사용되는 침식 마스크와 팽창 마스크는 같은 형태소 마스크로, 형태소의 모든 요소 값이 0인 것을 사용
- 형태소 마스크와의 연산 결과로 얻은 최대값과 최소값을 선택하느냐에 따라 침식과 팽창이 결정됨.

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

[그림 11-19] 그레이 영상에서 침식과 팽창의 형태소

Grayscale image의 침식연산

- 그레이 영상에서 밝은 객체를 더 어둡게 보이도록 하여 축소하는 효과를 얻는 게 침식
- 밝기가 균일하지 않은 영역에서는 효과적으로 처리되나, 균일한 영역에서는 입력 화소의 밝기와 같은 결과를 보임. 균일하지 않은 영역에서 반복해

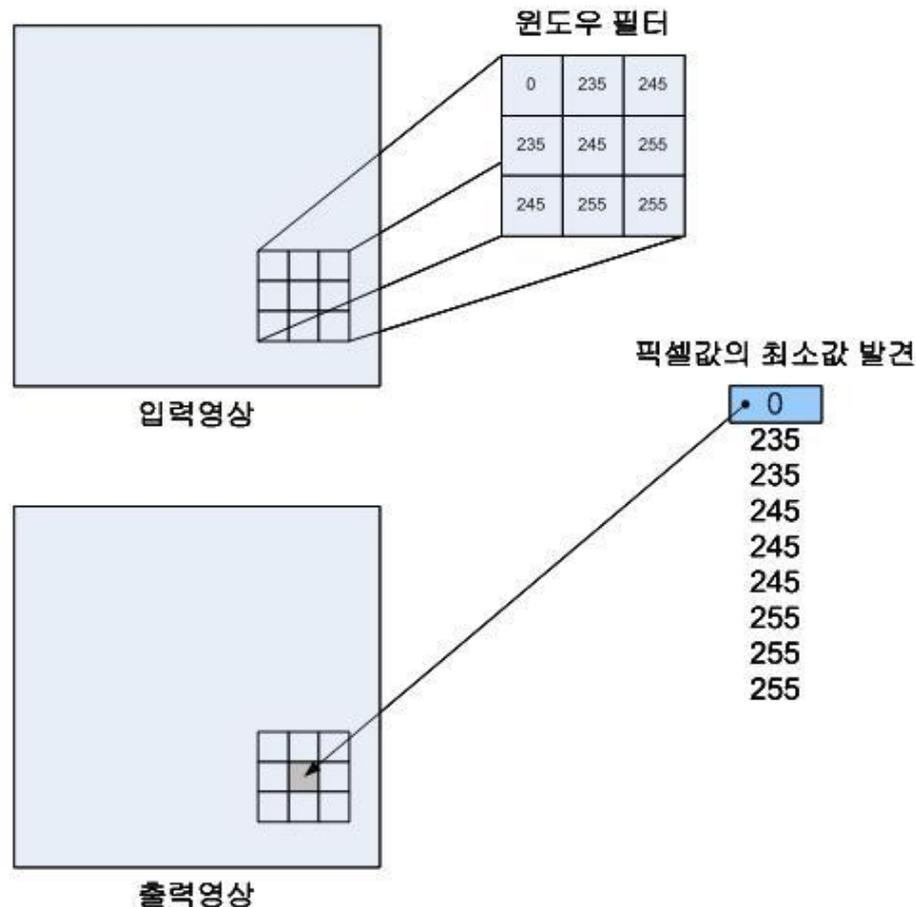


[그림 11-20] 그레이 영상에서 침식 수행 과정

Grayscale image의 침식연산(계속)

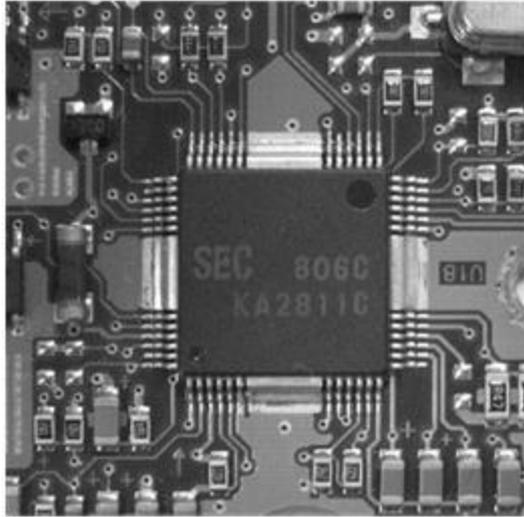
- 결과 화소가 결정되는 것을 다음과 같이 표현 가능

$$O(x, y) = \min\{\text{입력 화소 밝기와 형태소 마스크 화소의 각 합}\}$$

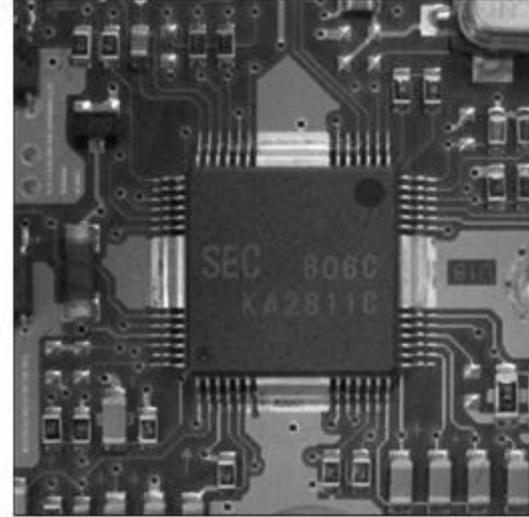


[그림 11-21] 그레이 영상에서 발견한 최소값으로 침식 수행

Grayscale image의 침식연산(결과 예시)



(a) 입력 영상

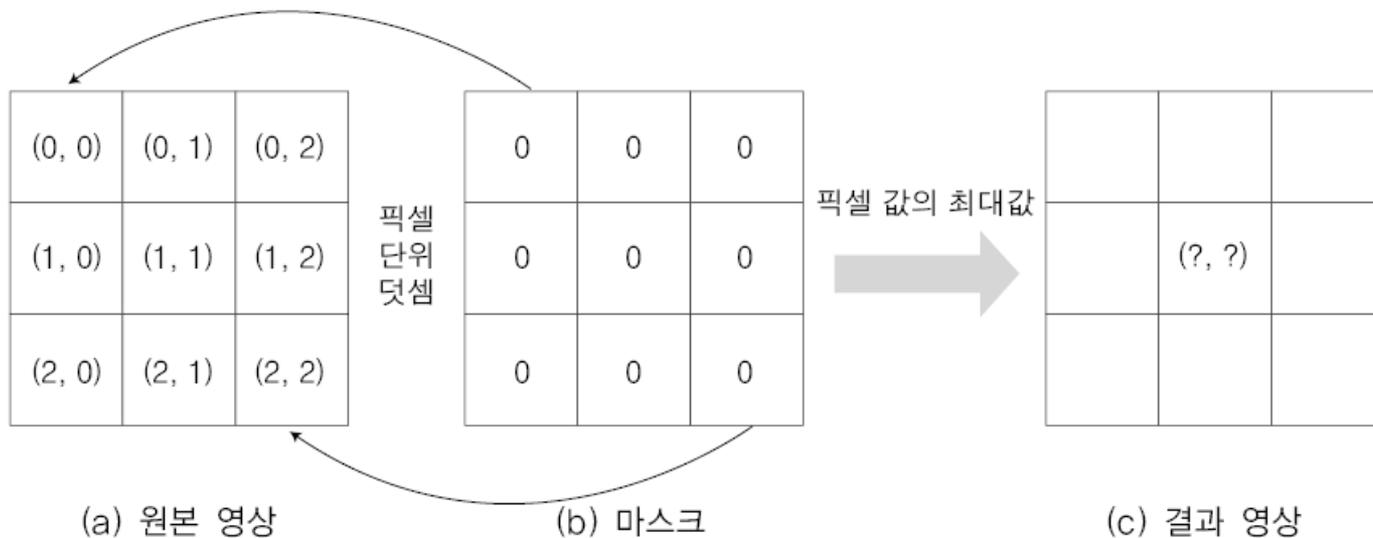


(b) 결과 영상

실제 그레이 영상에서 침식을 수행한 결과 영상

Grayscale image의 팽창연산

- 그레이 영상에서 객체를 더 밝게 하여 객체를 크게 보이게 하는 효과
- 침식처럼 밝기가 균일하지 않은 영역에서 효과적으로 동작
- 사용되는 형태소 마스크의 특징은 모든 화소를 0~255까지의 범위로 변화시킬 수 있도록 구성할 수 있음.
- 팽창연산의 결과로 화소 값이 255에 가까운 값이 되도록 형태소 마스크를 구성하면 더욱 분명한 팽창 효과를 얻을 수 있음.

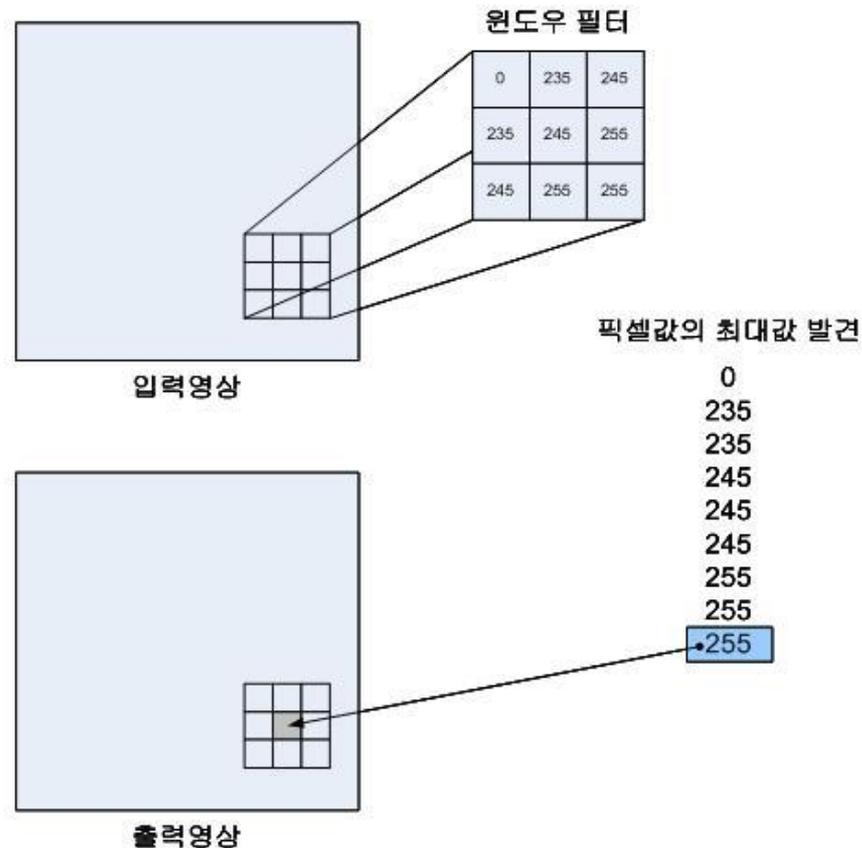


[그림 11-22] 그레이 영상에서 팽창 수행 과정

Grayscale image의 팽창연산(계속)

- 결과 화소가 결정되는 것은 다음과 같이 표현 가능

$$O(x, y) = \max\{\text{입력 화소 밝기와 마스크 화소의 각 합}\}$$



[그림 11-23] 그레이 영상에서 발견한 최대값으로 팽창 수행

Grayscale image의 팽창연산(결과 예시)



(a) 입력 영상



(b) 결과 영상

실제 그레이 영상에서 팽창을 수행한 결과 영상

Grayscale image의 열림과 닫힘 연산

- 이진 영상에서 열림과 닫힘 연산은 침식과 팽창으로 얻음.
- 그레이스케일 영상도 그레이 영상의 침식과 닫힘연산을 이용하여 그레이 영상에서 열림과 닫힘 연산을 수행
- 이진 영상의 결과처럼 경계선이 부드러워진 효과



(a) 입력 영상



(b) 열림연산 결과 영상

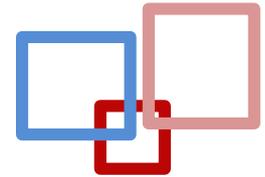


(c) 닫힘연산 결과 영상

[그림 11-24] 실제 그레이 영상에서 열림과 닫힘연산을 수행한 결과 영상

열림: 침식->팽창
닫힘: 팽창->침식

COMPUTER VISION 비전 프로그래밍



Thank you and question?

