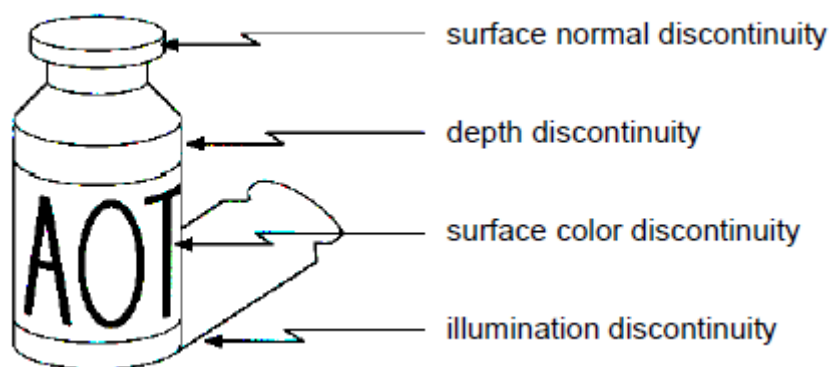


# 에지 검출

- 에지의 유용성
  - 물체의 경계를 표시해 줌
  - 매칭에 용이한 선분이나 곡선으로 변환 가능
- 에지의 한계
  - 실종된 에지(거짓 부정), 거짓 에지(거짓 긍정) 발생
  - 이들 오류를 어떻게 최소화할 것인가?

## 에지 검출의 기초

- 원리
  - 물체 내부나 배경은 변화가 없거나 작은 반면, 물체 경계는 변화가 큼
  - 이 원리에 따라 에지 검출 알고리즘은 명암, 컬러, 또는 텍스처의 변화량을 측정하고, 변화량이 큰 곳을 에지로 검출



## 디지털 영상의 미분

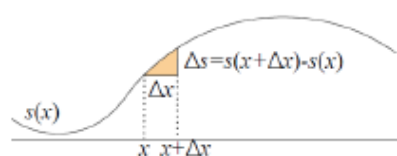
- 1차원
  - 연속 공간에서 미분

$$s'(x) = \frac{ds}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{s(x + \Delta x) - s(x)}{\Delta x}$$

- 디지털(이산) 공간에서 미분

$$f'(x) = \frac{df}{dx} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} = f(x + 1) - f(x) \quad (3.2)$$

이에 해당하는 마스크 =  $\begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$  ← 에지 연산자



(a) 연속 함수의 미분

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2	3	2	3	5	9	9	8	9
0	1	-1	1	2	4	0	-1	1	-
0	0	0	0	0	1	0	0	0	-

(b) 디지털 영상의 미분

디지털 영상  $f$

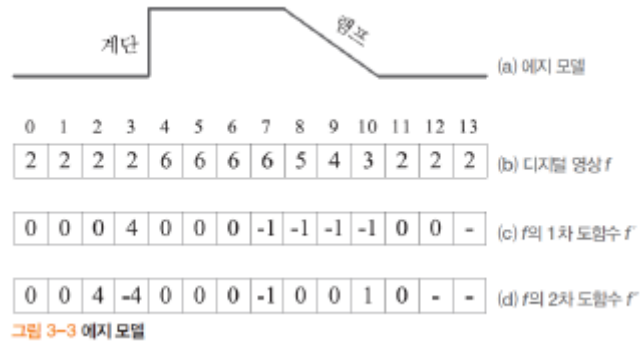
$f$ 의 도함수  $f'$

$|f'|$ 의 이진화

그림 3-2 미분과 에지 검출

## 에지 모델과 연산자

- 계단 에지와 램프 에지
  - 자연 영상에서는 주로 램프 에지가 나타남

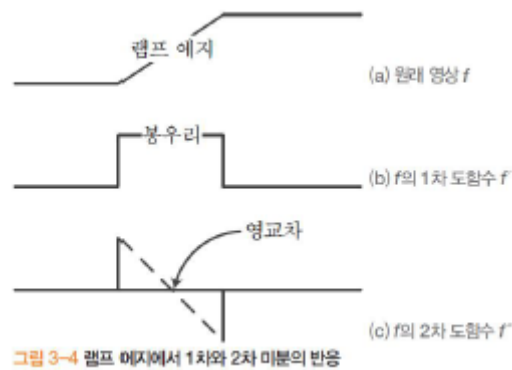


- 2차 미분

$$\begin{aligned}
 f''(x) &= \frac{d^2 f}{dx^2} = f'(x) - f'(x-1) \\
 &= (f(x+1) - f(x)) - (f(x) - f(x-1)) \\
 &= f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)
 \end{aligned}$$

이에 해당하는 마스크 =  $\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$

- 램프 에지에서의 미분의 반응



- 에지 검출 과정
  - 1차 미분에서 봉우리 또는 2차 미분에서 영교차를 찾음
  - 두꺼운 에지에서 위치 찾기 적용
- 현실에서는 잡음 때문에 스무딩 필요
  - $\Delta x = 2$ 인 연산자로 확장

$$f'(x) = \frac{df}{dx} = \frac{f(x+1) - f(x-1)}{2} \quad (3.4)$$

이에 해당하는 마스크 =  $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

- 2차원으로 확장

$$\nabla f(y, x) = \left( \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial x} \right) = (d_y, d_x) = (f(y+1, x) - f(y-1, x), f(y, x+1) - f(y, x-1)) \quad (3.5)$$

이에 해당하는 마스크:  $m_y = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ ,  $m_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

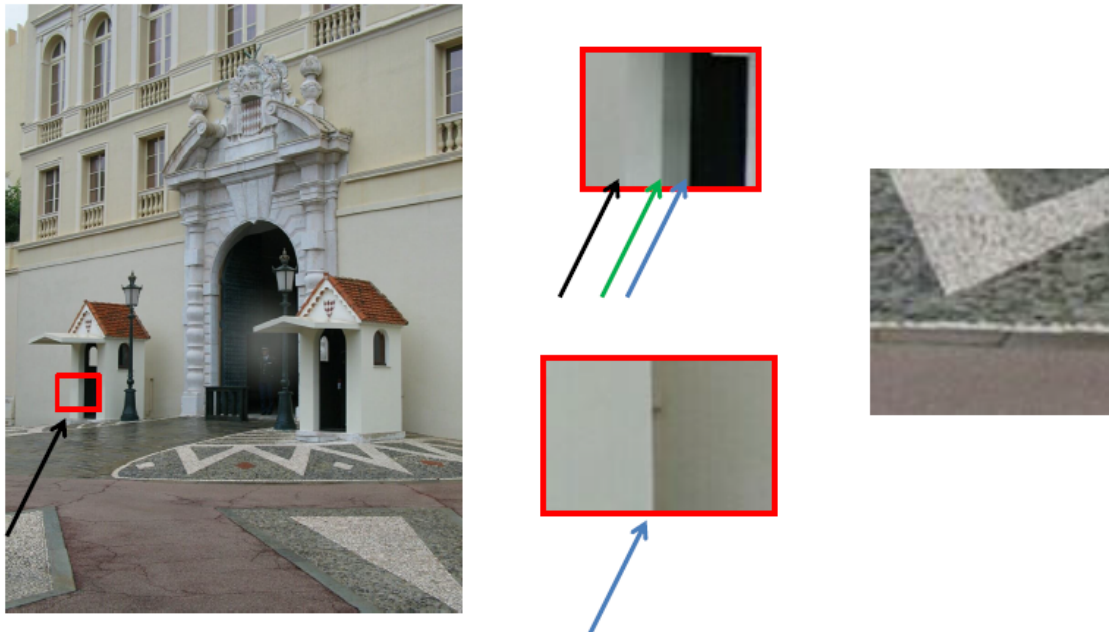
- 정방향으로 확장하여 스무딩 효과

<table><tr><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	-1	1	0	<table><tr><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	0	1	<table><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	<table><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	<table><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	-1	-2	-1	0	0	0	1	2	1	<table><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1
0	-1																																																
1	0																																																
-1	0																																																
0	1																																																
-1	-1	-1																																															
0	0	0																																															
1	1	1																																															
-1	0	1																																															
-1	0	1																																															
-1	0	1																																															
-1	-2	-1																																															
0	0	0																																															
1	2	1																																															
-1	0	1																																															
-2	0	2																																															
-1	0	1																																															
$m_y$	$m_x$	$m_y$	$m_x$	$m_y$	$m_x$																																												

(a) 로버츠      (b) 프레윗      (c) 소벨

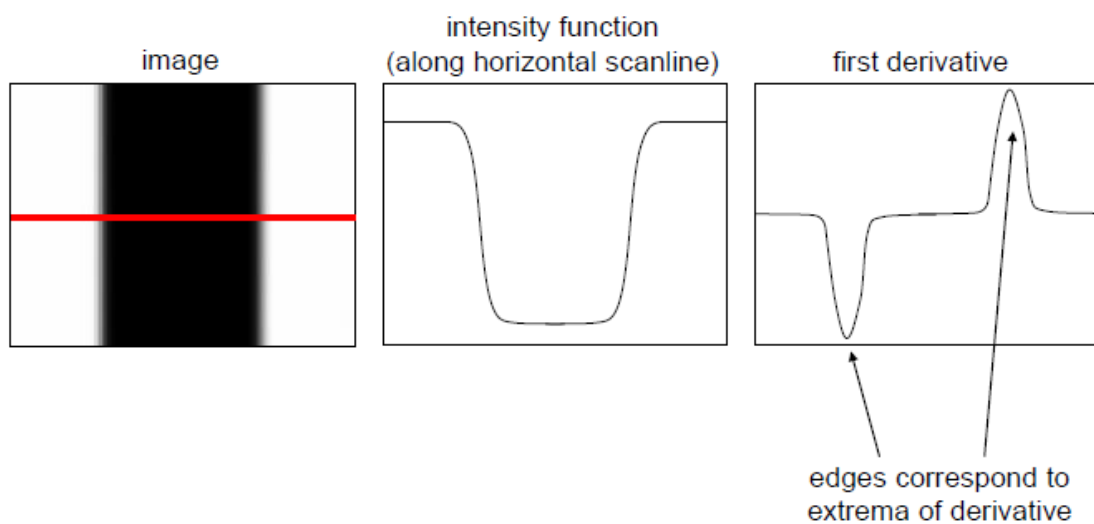
그림 3-5 에지 연산자

## Closed Up of Edges

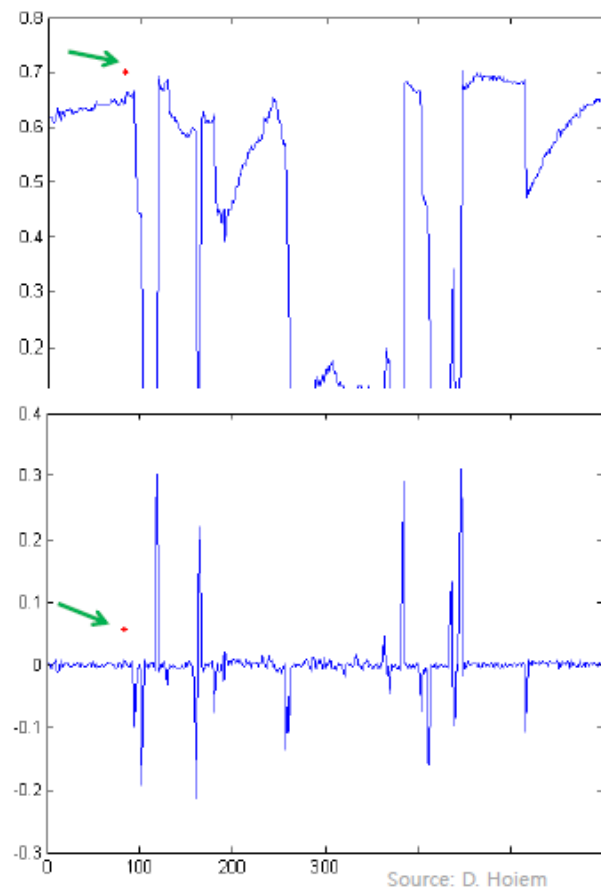
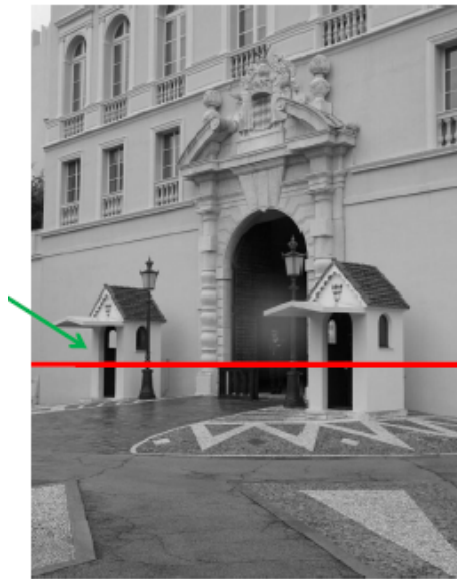


## Characterizing Edges

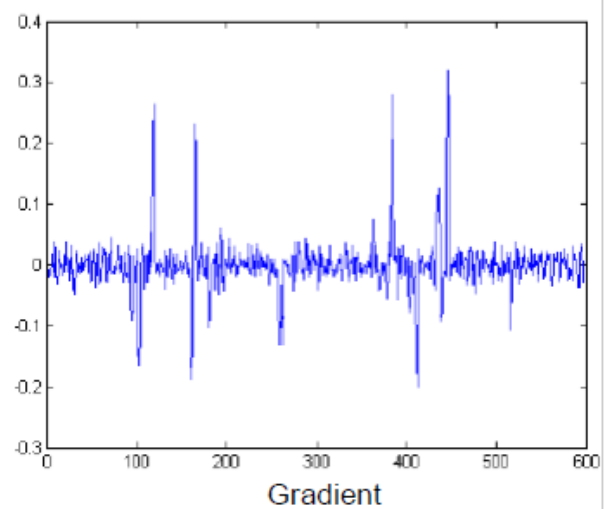
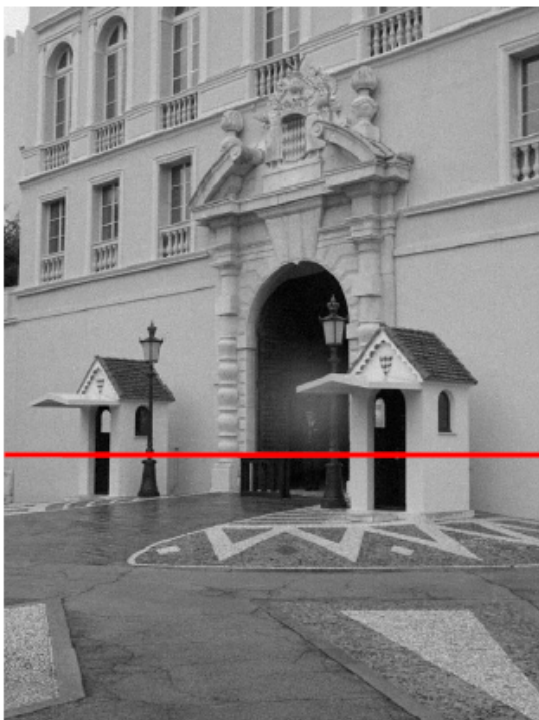
- An edge is a place of rapid change in the image intensity function



## Intensity Profile



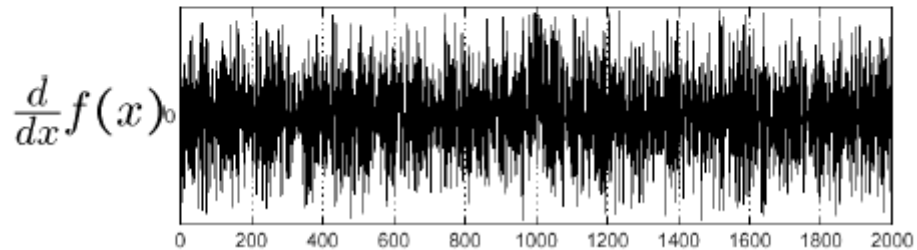
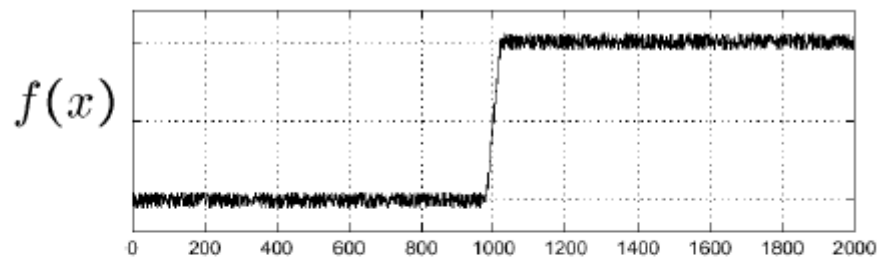
**With a little Gaussian noise**



Source: D. Hoiem

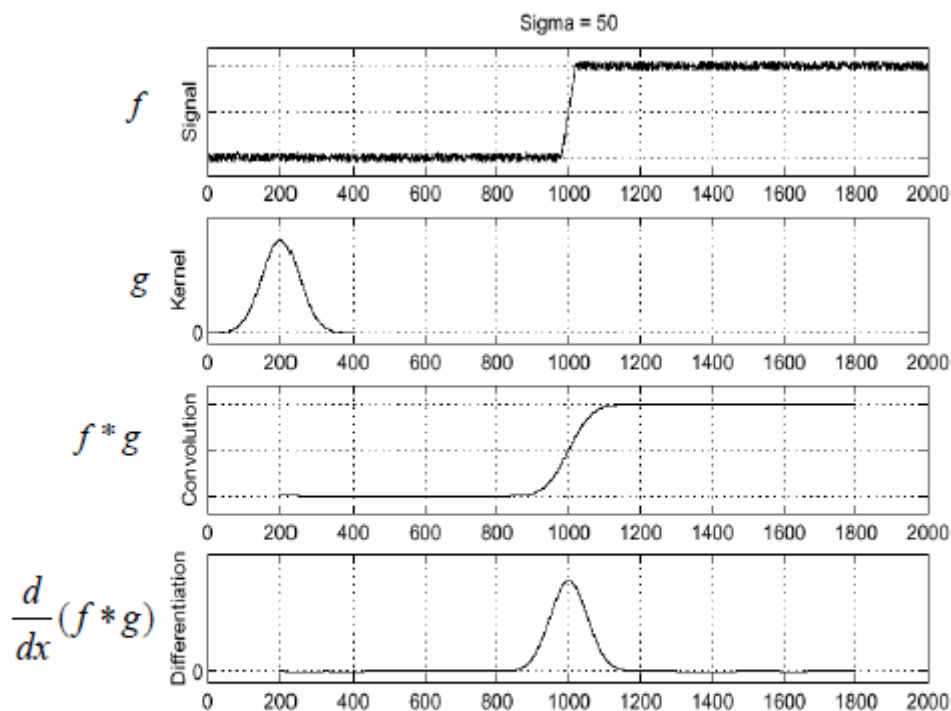
## Effects of Noise

- Consider a single row or column of the image
  - Plotting intensity as a function of position gives a signal



- Difference filters respond strongly to noise
  - Image noise results in pixels that look very different from their neighbors
  - Generally, the larger the noise the stronger the response
- What can we do about it?

**Solution : smooth first**



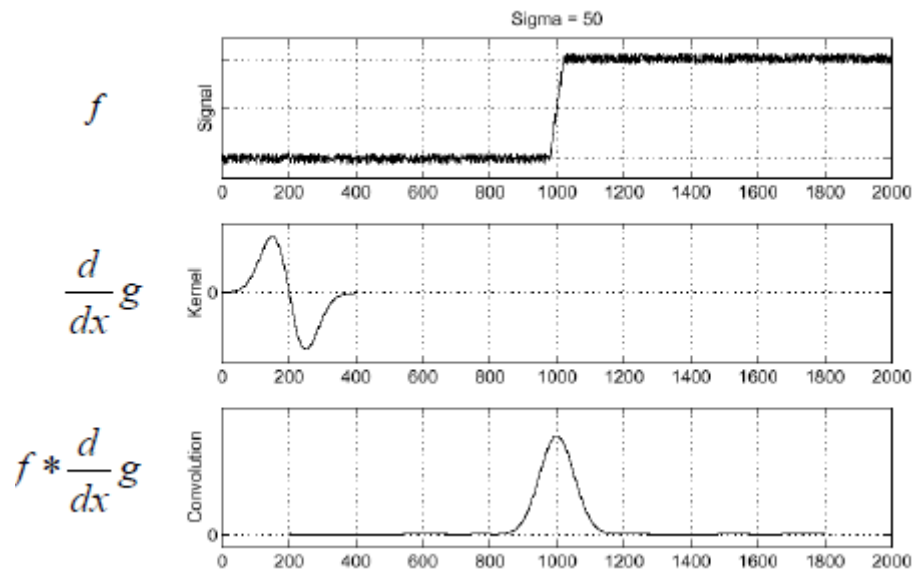
To find edges, look for peaks in  $\frac{d}{dx}(f * g)$

### Derivative Theorem of convolution

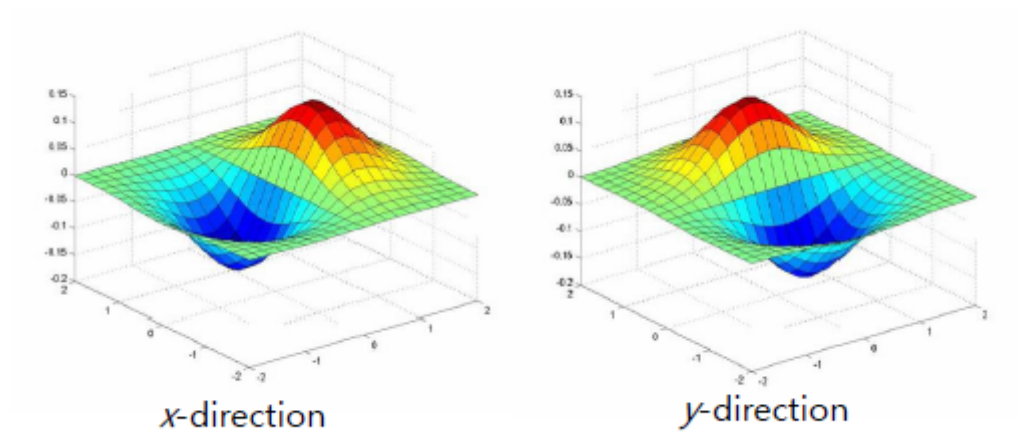
- Differentiation is convolution, and convolution is associative

$$\frac{d}{dx}(f * g) = f * \frac{d}{dx}g$$

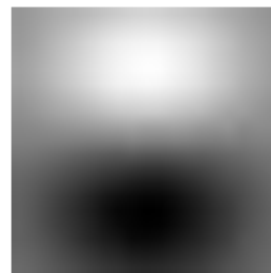
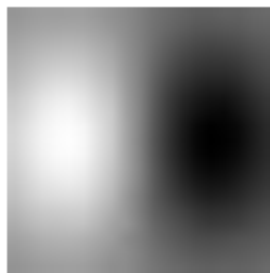
- This saves us one operation



## Derivative of Gaussian filter



- 분리 가능한가?



- 어느 쪽이 가로/세로 Edge?

## 에지 강도와 에지 방향

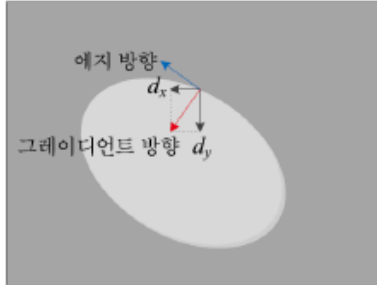
- 에지 검출 연산

그래디언트 :  $\nabla f = \left( \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial x} \right) = (d_y, d_x)$

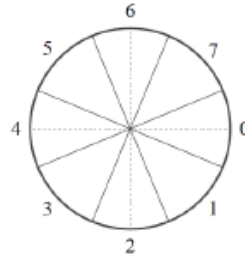
에지 강도 :  $S(y, x) = \text{magnitude}(\nabla f) = \sqrt{d_y^2 + d_x^2}$  (3.6)

그래디언트 방향 :  $D(y, x) = \arctan\left(\frac{d_y}{d_x}\right)$

$\nabla f = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, 0 \right]$



(a) 에지 방향과 그래디언트 방향



(b) 에지 방향의 양자화

$\nabla f = \left[ 0, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$

$\nabla f = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$

그림 3-6 에지 방향과 8-방향 양자화

### 예제 3-1 소벨 마스크를 이용한 에지 검출

[그림 3-7]의 작은 예제 영상에 소벨 에지 연산자를 적용한다. (5,3)위치에 있는 화소에 대해서 앞에서 다룬 그래디언트, 에지 강도, 에지 방향을 계산해 보자.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	1	0
2	0	1	2	0	0	0	1	0
3	0	1	3	1	0	0	2	0
4	0	1	3	4	0	0	2	0
5	0	1	2	3	4	3	0	0
6	0	0	0	0	1	3	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

$d_y = (0 \times 1 + 0 \times 2 + 1 \times 1) + (3 \times (-1) + 1 \times (-2) + 0 \times (-1)) = -4$   
 $d_x = (0 \times 1 + 4 \times 2 + 1 \times 1) + (3 \times (-1) + 2 \times (-2) + 0 \times (-1)) = 2$

$S(5, 3) = ((-4)^2 + 2^2)^{\frac{1}{2}} = 4.47$

$D(5, 3) = \arctan\left(-\frac{4}{2}\right) = -63.4^\circ$

→  $d_y$ 와  $d_x$

→ 그래디언트 방향

→ 에지 방향

그림 3-7 소벨 에지 검출 예

그래디언트는  $\nabla f = (d_y, d_x) = (-4, 2)$ 이다. 식 (3.6)을 적용하면 에지 강도는 4.47이고, 그래디언트 방향은  $-63.4^\circ$ 이다. 에지 방향은 그래디언트 방향에 수직이므로  $26.6^\circ$ 이다. 에지 방향을 [그림 3-6(b)]에 따라 양자화하면 1이 된다.

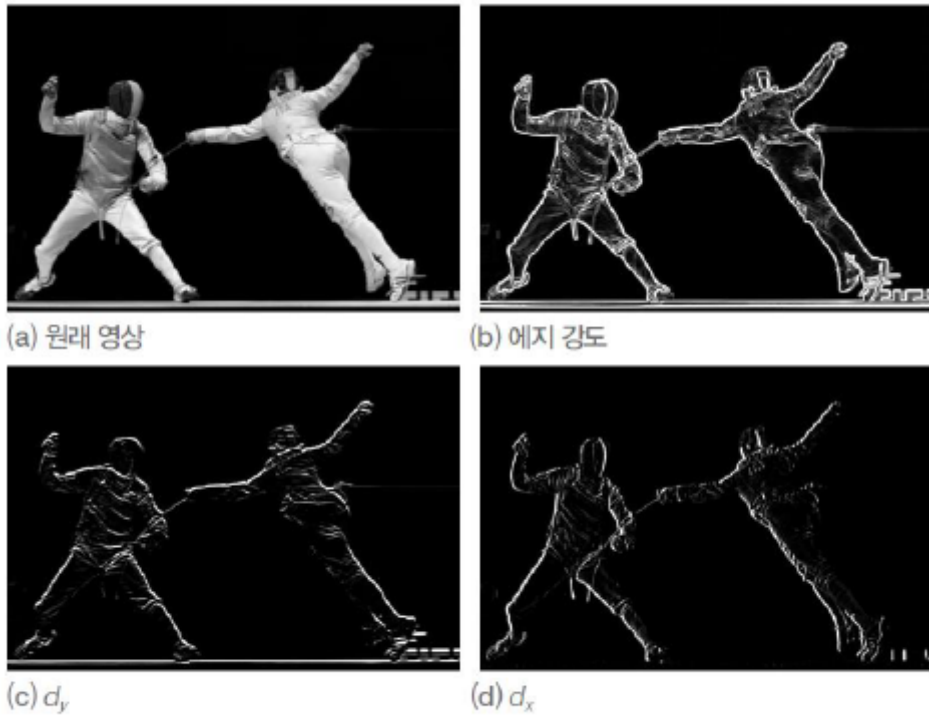


그림 3-8 에지 검출과 관련된 맵

## 영교차 이론

- 1980년에 Marr와 Hildreth가 개발 [Marr80]
  - 이전에는 주로 소벨을 사용

## 가우시안과 다중 스케일 효과

- 가우시안을 사용하는 이유
  - 미분은 잡음을 증폭시키므로 스무딩 적요이 중요함

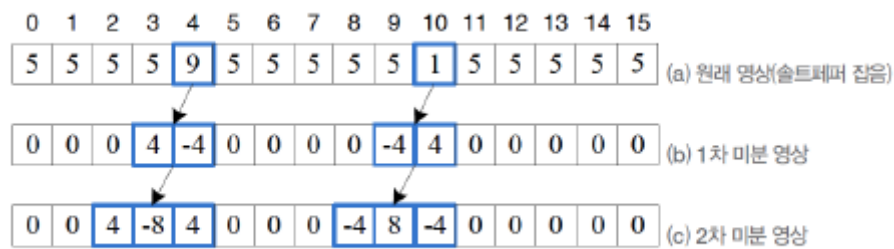


그림 3-9 미분에 의한 잡음 증폭

- $\sigma$ 를 조절하여 다중 스케일 효과
- 에지의 세밀함 조절 가능

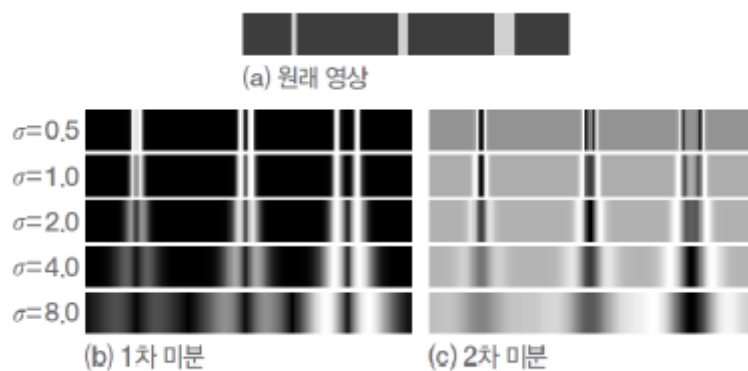


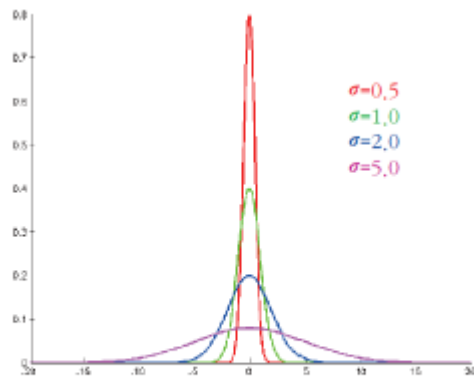
그림 3-10 다중 스케일 에지 효과



- 가우시안

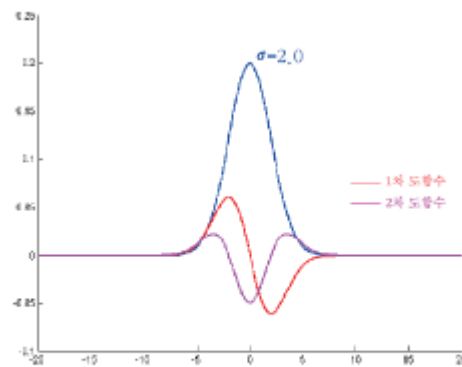
$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

- $\sigma$ 로 스케일 조절



(a)  $\sigma$ 에 따른 가우시안 함수

그림 3-11 가우시안 커널



(b) 가우시안 함수의 미분

- 2차원 가우시안

$$G(y,x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{y^2+x^2}{2\sigma^2}}$$

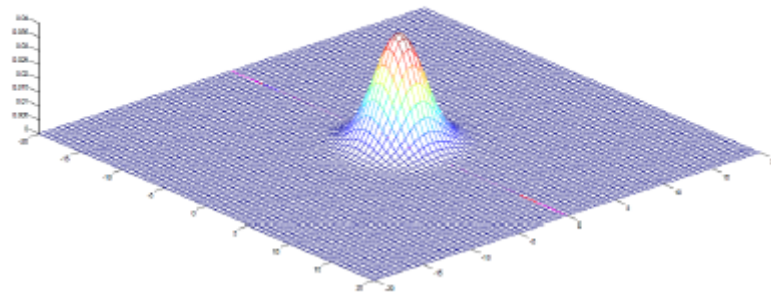


그림 3-12 2차원 가우시안 함수( $\sigma=2.0$ )

- 이산 공간에서 구현
  - 마스크 크기가 작으면 오차, 크면 계산 시간 과다
  - $6\sigma$ 와 같거나 큰 가장 작은 홀수

## LOG필터

- Marr-Hildreth 에지 검출 알고리즘 [Marr80]
  - 2차 미분에서 영교차 검출

### 알고리즘 3-1 Marr-Hildreth 에지 검출

입력: 영상  $f(j,i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$ , 가우시안의 표준편차  $\sigma$

출력: 에지 영상  $b(j,i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$  // 에지는 1, 비에지는 0인 이진 영상

- 1  $\sigma$  크기의 가우시안으로 입력 영상  $f$ 를 스무딩한다.
- 2 결과 영상에 라플라시안 연산자를 적용하여 2차 미분을 구한다.
- 3 결과 영상에서 영교차를 찾아 에지로 설정하고, 나머지는 비에지로 설정한다.

- 라플라시안 (2행)

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(y,x) &= \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \\ &= (f(y+1,x) + f(y-1,x) - 2f(y,x)) + (f(y,x+1) + f(y,x-1) - 2f(y,x)) \\ &= f(y+1,x) + f(y-1,x) + f(y,x+1) + f(y,x-1) - 4f(y,x)\end{aligned}\quad (3.10)$$

이에 해당하는 필터 :  $L =$

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

- LOG 필터

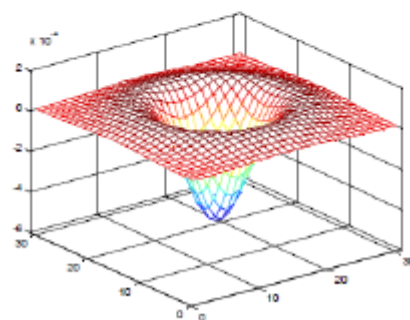
- 입력 영상에 가우시안 G를 적용한 후, 결과에 라플라시안을 다시 적용하는 두 단계의 비효율성
  - 계산시간 과다
  - 이산화에 따른 오류 누적
- LOG 필터를 이용한 한 단계 처리

$$\text{LOG}(y,x) = \nabla^2 (G(y,x) \circledast f(y,x)) = (\nabla^2 G(y,x)) \circledast f(y,x)$$

$$\nabla^2 G(y,x) = \left( \frac{y^2 + x^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) G(y,x)$$

					0.0005	0.0088	0.0088	0.0125	0.0088	0.0028	0.0005
					0.0028	0.0177	0.0394	0.0433	0.0394	0.0177	0.0028
					0.0088	0.0394	0.0602	-0.0964	0.0602	0.0394	0.0088
					0.0125	0.0433	-0.0964	-0.3168	-0.0964	0.0433	0.0125
0.4038	0.8021	0.4038			0.0088	0.0394	0.0602	-0.0964	0.0602	0.0394	0.0088
0.8021	-4.8233	0.8021			0.0028	0.0177	0.0394	0.0433	0.0394	0.0177	0.0028
0.4038	0.8021	0.4038			0.0005	0.0088	0.0088	0.0125	0.0088	0.0028	0.0005
(a) $\sigma=0.5$				(b) $\sigma=1.0$							
0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0008	0.0007	0.0006	0.0004	0.0002	0.0001
0.0001	0.0002	0.0005	0.0010	0.0014	0.0018	0.0019	0.0018	0.0014	0.0009	0.0005	0.0001
0.0002	0.0005	0.0011	0.0019	0.0025	0.0027	0.0027	0.0027	0.0025	0.0019	0.0011	0.0005
0.0004	0.0010	0.0019	0.0027	0.0035	0.0040	0.0040	0.0035	0.0027	0.0019	0.0010	0.0004
0.0006	0.0014	0.0025	0.0035	0.0040	-0.0040	-0.0040	0.0035	0.0025	0.0014	0.0006	
0.0007	0.0018	0.0027	0.0035	-0.0040	-0.0116	-0.0116	-0.0040	0.0035	0.0027	0.0018	0.0007
0.0008	0.0019	0.0027	0.0040	-0.0040	-0.0154	-0.0154	-0.0040	0.0040	0.0027	0.0019	0.0008
0.0007	0.0018	0.0027	0.0040	-0.0040	-0.0116	-0.0116	-0.0040	0.0035	0.0027	0.0018	0.0007
0.0006	0.0014	0.0025	0.0035	0.0040	-0.0040	-0.0040	0.0035	0.0025	0.0014	0.0006	
0.0004	0.0010	0.0019	0.0027	0.0035	0.0040	-0.0040	0.0035	0.0027	0.0019	0.0010	0.0004
0.0002	0.0005	0.0011	0.0019	0.0025	0.0027	0.0027	0.0025	0.0019	0.0011	0.0005	0.0002
0.0001	0.0002	0.0005	0.0010	0.0014	0.0018	0.0019	0.0018	0.0014	0.0009	0.0005	0.0001
0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005	0.0007	0.0008	0.0007	0.0006	0.0004	0.0002	0.0001
(c) $\sigma=2.0$											

(c)  $\sigma=2.0$



(d)  $\sigma=5.0$

그림 3-13 LOG 필터

### 알고리즘 3-2 Marr-Hildreth 에지 검출(LOG 필터 사용)

입력 : 영상  $f(i,j)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$ , 가우시안의 표준편차  $\sigma$

출력 : 에지 영상  $b(i,j)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$  // 에지는 1, 비에지는 0인 이진 영상

- 1  $\sigma$  크기의 LOG 필터를 입력 영상  $f$ 에 적용한다.
- 2 결과 영상에서 영교차를 찾아 에지로 설정하고 나머지는 비에지로 설정한다.

- 영교차 검출 (2행)

- 여덟 개의 이웃 중에 마주보는 동-서, 남-북, 북동-남서, 북서-남동의 화소 쌍 네 개를 조사한다. 그들 중 두 개 이상이 서로 다른 부호를 가진다
- 부호가 다른 쌍의 값 차이가 임계값을 넘는다

예제 3-2 Marr-Hildreth 에지 검출 알고리즘

[그림 3-14(a)]는 간단한 8x8 영상과 여기에  $\sigma=0.5$ 의 3x3 크기의 LOG 연산자([그림 3-13])를 적용하여 얻은 영상  $g$ 이다. 동그라미로 표시된 (6,3)에 있는 화소의 영교차 여부를 따져보자. 마주보는 네 개의 이웃 쌍 중에 남-북과 북서-남동의 두 개 쌍의 부호가 다르다. 이들을 구성하는 화소의 값 차이는 각각 7.6442와 5.2379이다. 만일 임계값  $T=1.0$ 으로 설정했다면 둘 다  $T$ 를 넘으므로 이 화소는 영교차 점이 된다. [그림 3-14(b)]는  $T=1.0$ 으로 구한 에지 영상  $b$ 이다.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	2	0	0	0	1	0
0	1	3	1	0	0	2	0
0	1	3	1	0	0	2	0
0	1	2	3	4	4	3	0
0	0	0	0	1	3	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

0.4038	1.2058	1.2058	0.4038	0	0.4038	0.8021	0.4038
1.2058	-2.4115	-2.0133	1.6096	0	1.2058	-4.0212	1.2058
1.6096	-0.0000	-4.4250	4.0212	0.4038	2.0133	-2.4171	2.0133
1.6096	1.2058	-7.6441	0.4038	1.2058	2.8154	-7.2404	2.8154
1.6096	1.2058	-6.4328	4.4250	7.2404	8.4462	-4.0212	3.6229
1.2058	-1.2058	-3.2246	-7.2404	-11.2616	-9.6574	-7.6441	3.6175
0.4038	1.6096	3.2191	5.6306	3.6175	-6.6311	1.6041	2.0133
0	0	0	0.4038	2.0133	3.2137	2.0133	0.4038

(a) 원래 영상과 LOG 필터를 적용한 영상  $g$

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

(b) 영교차 검출( $T=1.0$ )

그림 3-14 LOG 영상과 영교차 영상

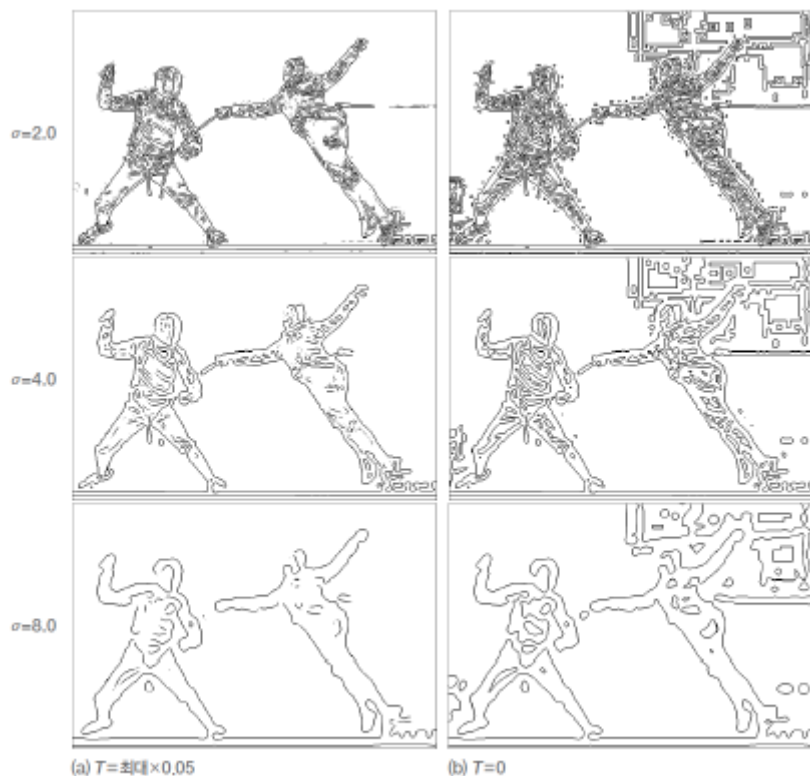


그림 3-15 다중 스케일 에지 검출

## 캐니 에지

- 앞 절은 그럴듯해 보이는 에지 연산자 사용
- 1986년에 Canny 에지 발표 [Canny86]

- 에지 검출을 최적화 문제로 해결
- 세 가지 기준
  - 최소 오류율 : 거짓 긍정과 거짓 부정이 최소여야 한다. 즉, 없는 에지가 생성되거나 있는 에지를 못 찾는 경우를 최소로 유지해야 한다
  - 위치 정확도 : 검출된 에지는 실제 에지의 위치와 가급적 가까워야 한다
  - 에지 두께 : 실제 에지에 해당하는 곳에는 한 두께의 에지만 생성해야 한다
- 알고리즘

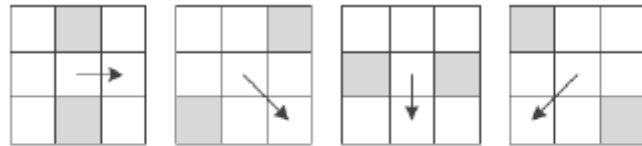
#### 알고리즘 3-3 캐니 에지 검출(스케치 버전)

입력 : 영상  $f(j, i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$ , 가우시안의 표준편차  $\sigma$

출력 : 에지 영상  $e(j, i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$  // 에지는 1, 비에지는 0인 이진 영상

- 1 입력 영상  $f$ 에  $\sigma$  크기의 가우시안 스무딩을 적용한다.
- 2 결과 영상에 소벨 연산자를 적용하여 에지 강도와 에지 방향 맵을 구한다.
- 3 비최대 억제를 적용하여 얇은 두께 에지 맵을 만든다.
- 4 이력 임계값을 적용하여 거짓 긍정을 제거한다.

- 비최대 억제
  - 이웃 두 화소보다 에지 강도가 크지 않으면 억제됨



(a) 에지 방향=0 (b) 에지 방향=1 (c) 에지 방향=2 (d) 에지 방향=3

그림 3-17 비최대 억제를 위한 두 이웃 화소(방향 4는 0, 5는 1, 6은 2, 7은 3과 같음)

- 이력 임계값
  - 두 개의 임계값  $T_{high}$ 와  $T_{low}$  사용하여 거짓 긍정 줄임
  - 에지 추적은  $T_{high}$ 를 넘는 화소에서 시작, 추적 도중에는  $T_{low}$  적용

#### 알고리즘 3-4 캐니 에지 검출

입력 : 영상  $f(j, i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$ , 가우시안의 표준편차  $\sigma$ , 이력 임계값  $T_{high}$ 와  $T_{low}$

출력 : 에지 영상  $e(j, i)$ ,  $0 \leq j \leq M-1$ ,  $0 \leq i \leq N-1$  // 에지는 1, 비에지는 0인 이진 영상

- 1  $f$ 에 크기  $\sigma$ 인 가우시안을 적용하여  $g$ 를 얻는다.
- 2  $g$ 에 소벨 연산자를 적용하여, 에지 강도 맵  $S$ 와 에지 방향 맵  $D$ 를 얻는다. //  $D$ 는 8-방향 양자화
- 3
- 4 // 5~9행 : 비최대 억제
- 5 for( $y=1$  to  $M-2$ )
- 6   for( $x=1$  to  $N-2$ ) {
- 7      $(y_1, x_1)$ 과  $(y_2, x_2)$ 를  $(y, x)$ 의 두 이웃 화소라 하자. // [그림 3-17] 참고
- 8     if( $S(y, x) \leq S(y_1, x_1)$  or  $S(y, x) \leq S(y_2, x_2)$ )  $S(y, x)=0$ ; // 비최대 억제
- 9   }
- 10
- 11 // 12~16행 : 이력 임계값을 이용한 에지 추적
- 12  $e(y, x)=0$ ,  $0 \leq y \leq M-1$ ,  $0 \leq x \leq N-1$ ;
- 13  $visited(y, x)=0$ ,  $0 \leq y \leq M-1$ ,  $0 \leq x \leq N-1$ ; // 모든 화소가 아직 방문 안됨을 표시
- 14 for( $y=1$  to  $M-2$ )
- 15   for( $x=1$  to  $N-2$ )

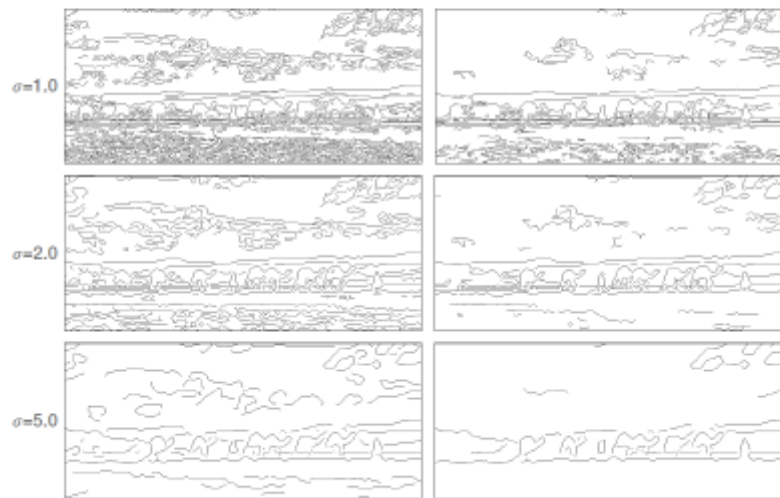
```

17 |
18 | // 에지를 추적하는 재귀 함수(배열은 모두 전역변수라 가정)
19 | function follow_edge(y,x) {
20 |     visited(y,x)=1; // 방문했음을 표시
21 |     e(y,x)=1; // 에지로 판정
22 |     for((y,x)의 8 이웃 (ny,nx) 각각에 대해)
23 |         if(S(ny,nx)>Tlow and visited(y,x)=0) follow_edge(ny,nx);
24 | }

```



(a) 원래 영상(342×800)



(b) 낮은 임계값

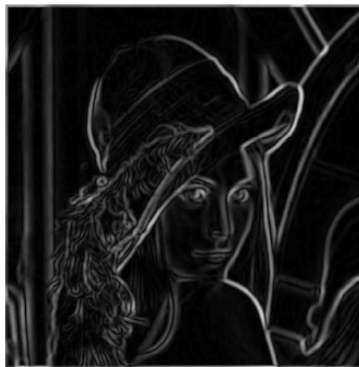
(c) 높은 임계값

그림 3-18 캐니 에지

## The Canny detector



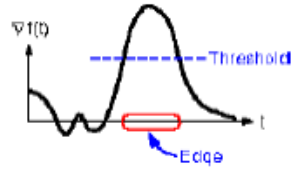
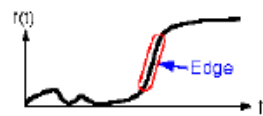
original image



norm of the gradient



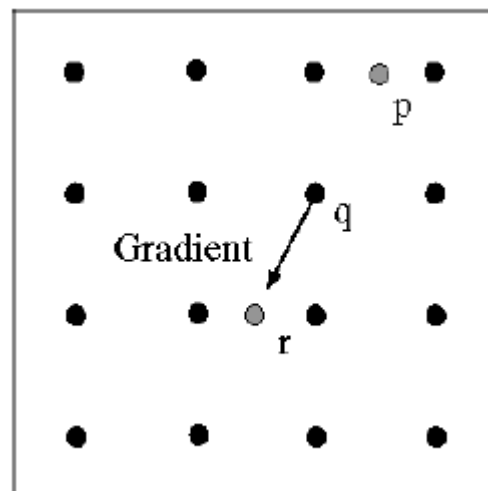
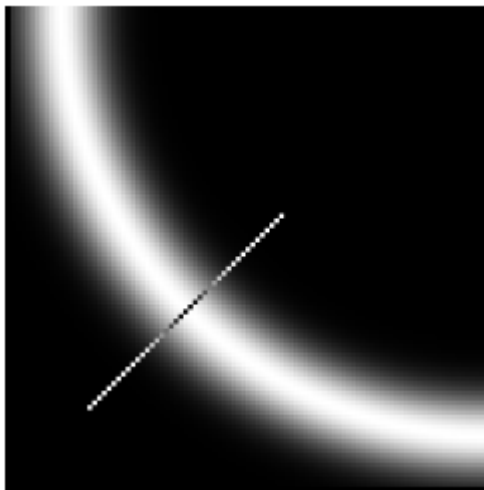
thresholding



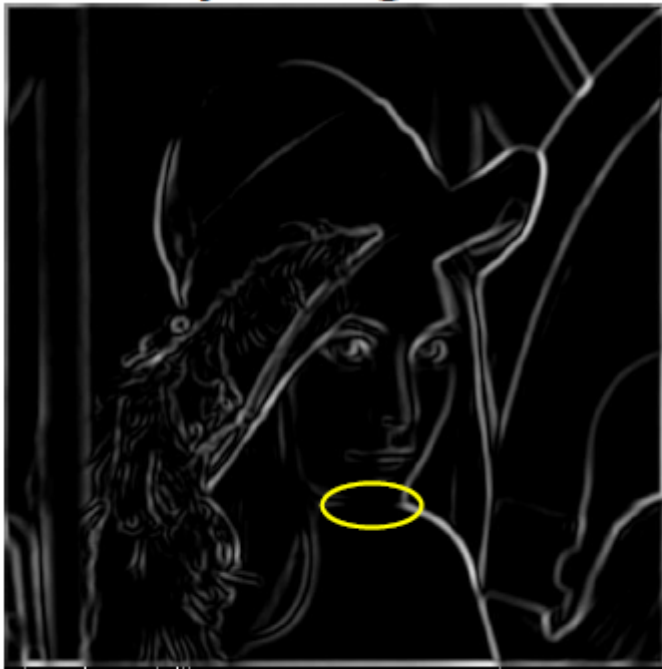
How to turn these thick regions of the gradient into curves?

thresholding

## Non-maximum suppression



- Check if pixel is local maximum along gradient direction, select single max across width of the edge
  - requires checking interpolated pixels p and r



Problem: pixels along this edge didn't survive the thresholding

thinning

## Hysteresis thresholding

- Use a high threshold to start edge curves, and a low threshold to continue them



original image



high threshold  
(strong edges)



low threshold  
(weak edges)



hysteresis threshold

## 컬러 에지

- RGB 채널에 독립적으로 적용 후 OR 결합
  - 에지 불일치 발생



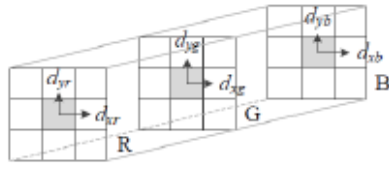


그림 3-19 RGB 컬러 공간에서 그레이디언트



그림 3-20 RGB 영상에서 OR 연산으로 구한 에지

- 디 젠조 방법

$$\begin{aligned} g_{yy} &= (d_{yr})^2 + (d_{yg})^2 + (d_{yb})^2 \\ g_{xx} &= (d_{xr})^2 + (d_{xg})^2 + (d_{xb})^2 \\ g_{yx} &= d_{yr}d_{xr} + d_{yg}d_{xg} + d_{yb}d_{xb} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\text{그레이디언트 방향: } D(y,x) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2g_{yx}}{g_{xx} - g_{yy}}\right) \quad (3.14)$$

$$\text{에지 강도: } S(y,x) = \sqrt{0.5 \times ((g_{yy} + g_{xx}) + (g_{xx} - g_{yy})\cos(2D(y,x)) + 2g_{yx}\sin(2D(y,x)))} \quad (3.15)$$



(a) 에지 맵



(b)  $T=0.2$ 로 이진화



(c)  $T=0.3$ 으로 이진화

그림 3-21 디 젠조 에지 맵(왼쪽)과 RGB채널을 평균한 에지 맵(오른쪽)