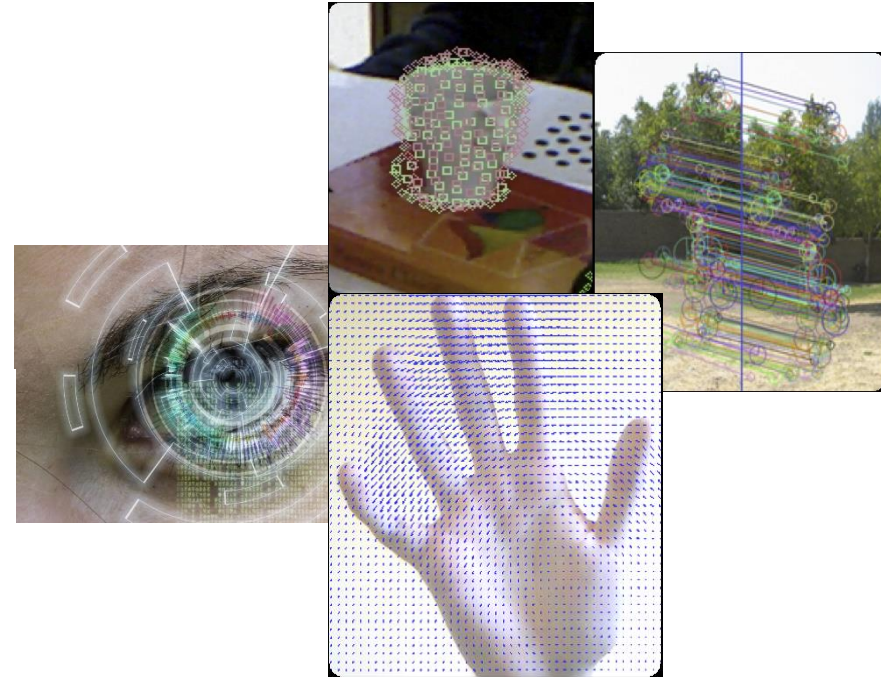


2023 Fall

COMPUTER VISION

비전
프로그래밍



5장. 영상 필터링 (Image Filtering)(이론)

Image Filtering (영상 필터링)???

■ Filtering(필터링)

- 디지털 영상의 특정 부분(특징)을 선택적으로 추출하기 위한 과정
- 통신 등에서 잡음 제거를 통칭하기도 함
- 관심 있는 시각적 특징을 추출하고 영상 재샘플링 등에 활용함
- 영상의 공간 영역에서는 일정 블록 영역을 처리하는 구조를 사용함 → 영역 처리

■ 영역 처리: Convolution Processing

- 화소의 영역 처리(region-based processing)
 - 출력 영상의 새로운 화소 값을 결정하려고 해당 입력 화소 뿐만 아니라 그 주변의 화소도 함께 고려하는 공간 영역 연산
 - 회선 기법(처리) 또는 Convolution processing (컨벌루션 처리)라고도 함.
- Convolution processing
 - 주변 화소의 조합을 결정하여 새로운 화소 값을 출력해 줌.
 - 현재 위치 화소에 이웃한 각 화소에 가중치를 곱한 합을 출력 화소 값으로 생성
- 화소의 영역 기반 처리
 - 엠보싱 효과, 블러링, 샤프닝, 경계선 검출, 잡음 제거 등이 있음

Image Filtering (영상 필터링)???

- 원영상 화소와 이웃한 각 화소에 가중치를 곱한 합을 출력 화소로 생성

$$Output_pixel[x, y] = \sum_{m=(x-k)}^{x+k} \sum_{n=(y-k)}^{y+k} (I[m, n] \times M[m, n])$$

- Output_pixel[x, y]: 회선 처리로 출력한 화소
 - I[m, n]: 입력 영상의 화소
 - M[m, n]: 입력 영상의 화소에 대응하는 가중치
- 각 화소에 가중치 설계:
 - **가중치 = convolution mask**(컨벌루션 마스크 또는 회선 마스크)
 - 3x3, 5x5, 7x7 등의 윈도우로 구성
 - **내부 가중치**에 따라서 다양한 정보를 추출 또는 영상 효과를 줄 수 있음

Image Filtering (영상 필터링)??? - Convolution Process

■ Convolution Process의 개념도

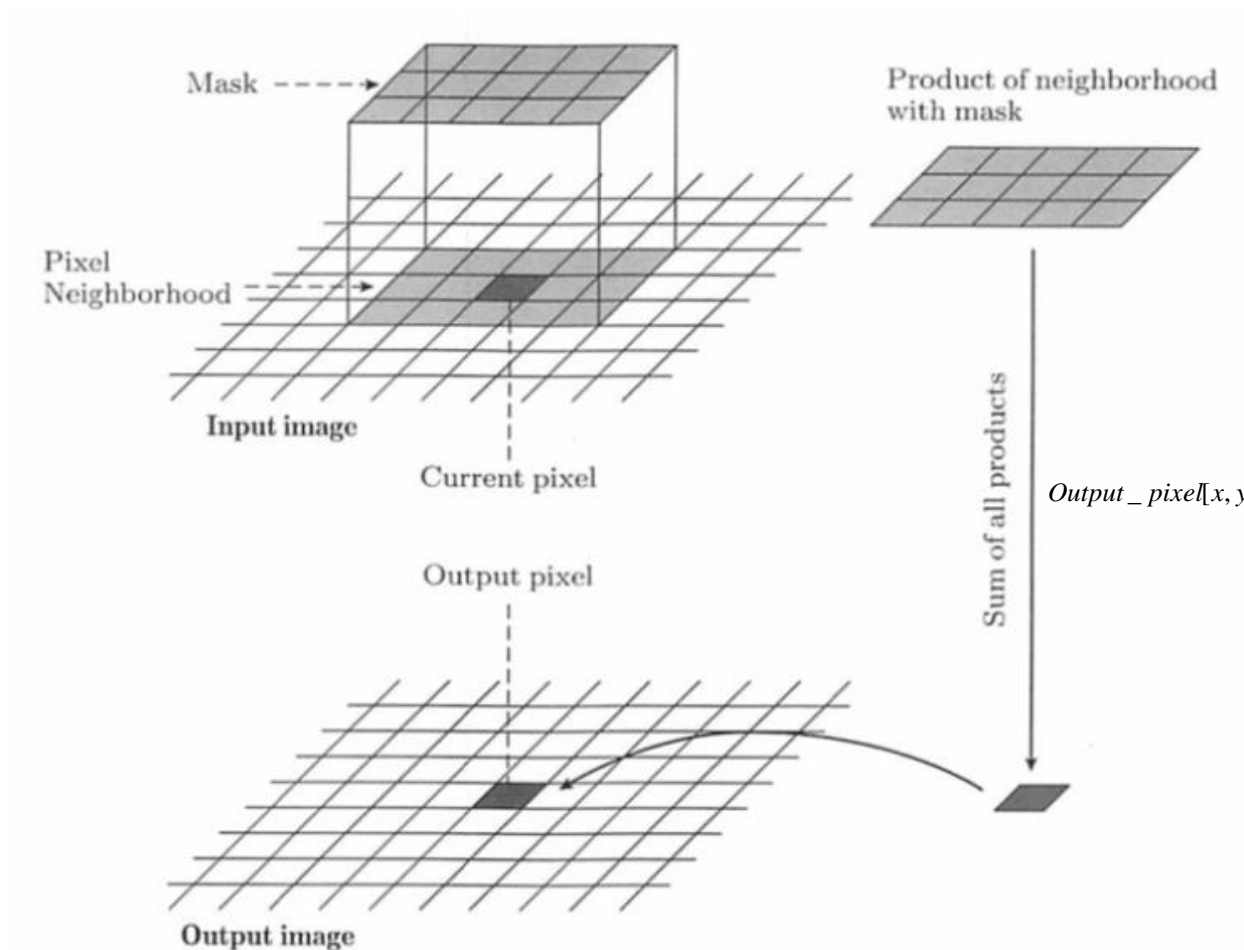


Image Filtering (영상 필터링)???

■ Convolution mask(컨벌루션 마스크)의 특징

- 주변 화소의 값을 각 방향에서 대칭적으로 고려해야 함. 이것은 각 방향에 있는 같은 수의 이웃 화소에 기반을 두고 새로운 화소 값을 생성하기 때문
- 회선 마스크의 크기는 행과 열 모두 홀수의 크기를 사용하여 3×3 , 5×5 , 7×7 등
- 회선 처리 기법으로 생성된 출력 영상은 밝기 에너지를 보존해야 하므로 영상의 평균 밝기를 원 영상과 똑같이 유지해야 함.
- 컨벌루션된 **영상의 평균 밝기 값이 원본 영상과 같도록 많은 컨벌루션 마스크의 계수 합이 1이 되도록 함.**
- 경계선 검출 등에서 사용되는 일부 **컨벌루션 마스크에서는 음수의 계수를 포함하며, 계수 합이 0이 되도록 설계**
- 음의 계수에서는 음의 화소 값이 생성될 수도 있으나 밝기는 항상 양의 값만 있으므로 생성된 화소 값에 일정한 상수(최대 밝기의 $1/2$)를 더해서 양의 화소 값이 나오도록 함.

Image Filtering (영상 필터링): Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

- 주파수: 신호의 변화 정도
- 영상 신호에서의 주파수 성분 해석
 - **밝기 값의 변화**를 볼 수 있음
 - 급격한 변화
 - 완만한 변화

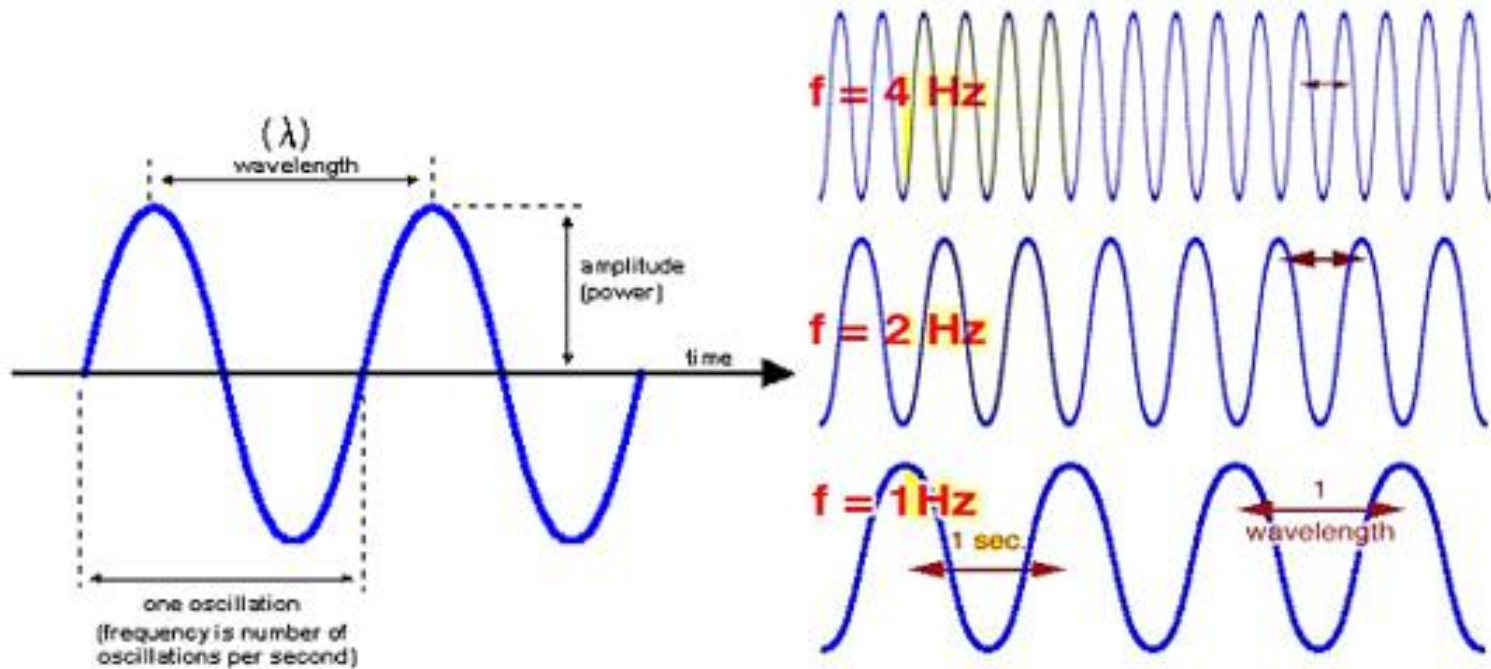


Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

■ 고주파 성분과 저주파 성분의 정의?

■ 주기 신호일 때

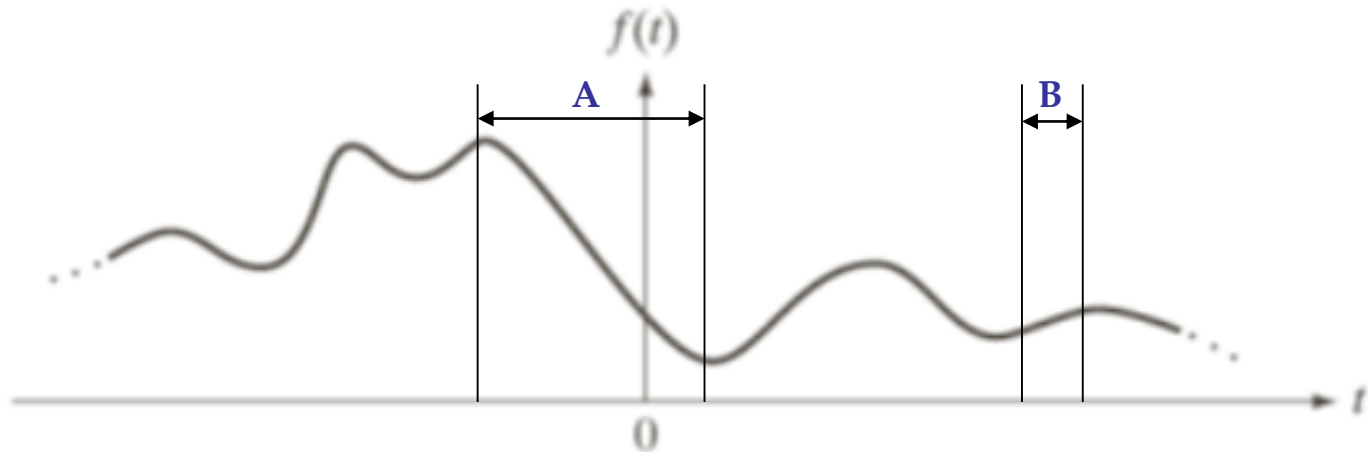
- 주어진 주기(시간) 안에서 얼마나 반복되었는가를 나타냄



Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

■ 비주기 신호일 때

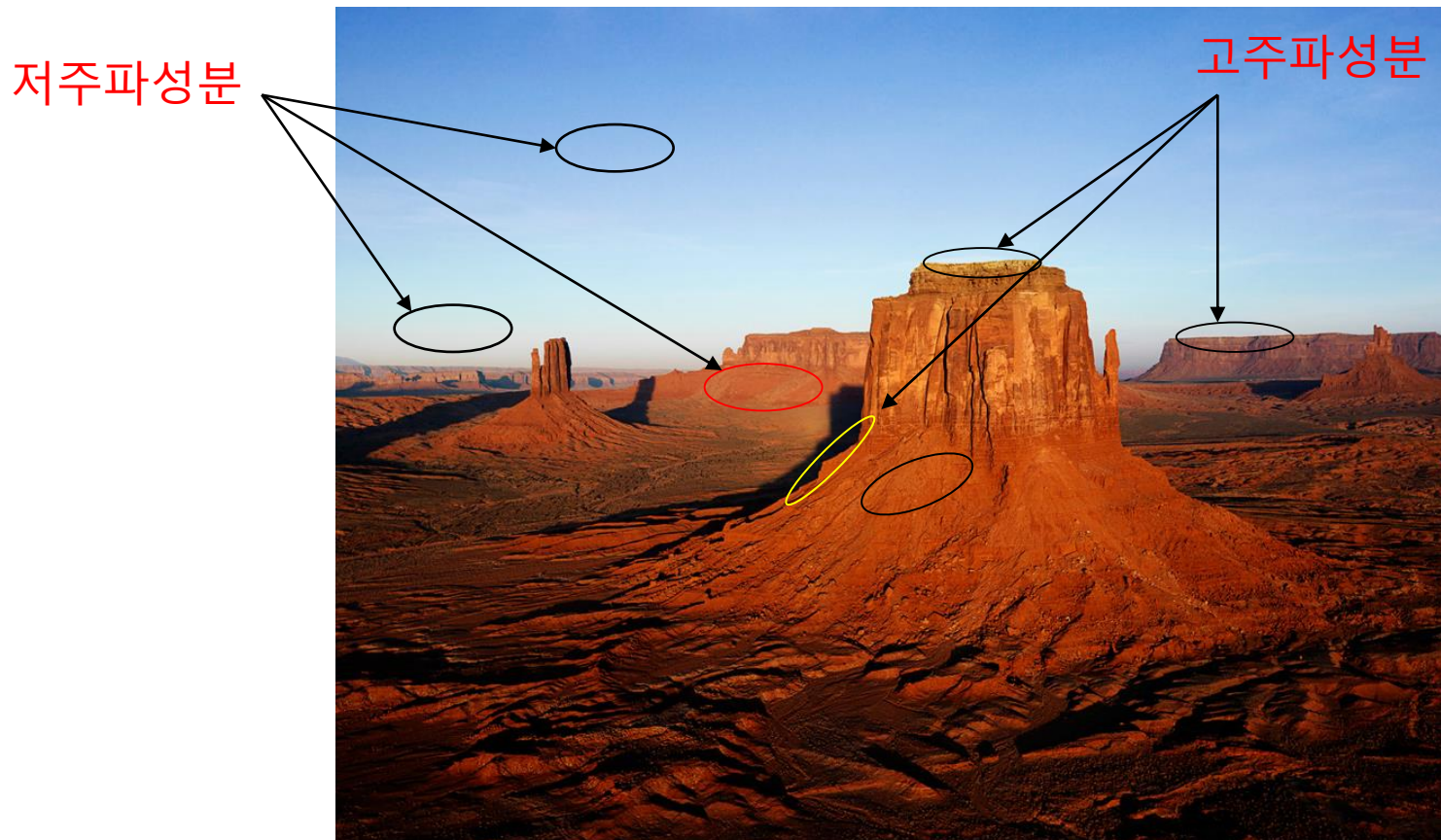
- 주어진 시간 안에서 얼마나 신호의 변화가 있는가를 나타냄
 - 변화가 크다 → 주파수 성분이 큼 (고주파 성분)
 - 변화가 거의 없다 → 주파수 성분이 적음 (저주파 성분)



Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

■ 영상의 경우

- 주어진 공간 영역 안에서 얼마나 신호의 변화가 있는가를 나타냄
 - 변화가 크다 → 주파수 성분이 큼 (고주파 성분)
 - 변화가 거의 없다 → 주파수 성분이 적음 (저주파 성분)



Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

- Frequency domain analysis(주파수 영역분석)
 - 가장 낮은 주파수에서 가장 높은 주파수 성분까지 표현(분해)
 - 대표적인 주파수 영역 분석 기법으로는
 - Discrete Fourier Transform
 - Discrete Cosine Transform
 - Discrete Sine Transform 등이 있음
- High (Frequency) Pass Filter(고주파 통과 필터)
 - 저주파 성분은 제거
- Low (Frequency) Pass Filter(저주파 통과 필터)
 - 고주파 성분은 제거

Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

■ Low Pass Filtering(저주파 통과 필터)를 이용한 블러링(blurring) 처리

- 저주파 필터는 영상 신호 성분 중 저주파 성분은 통과시키고 고주파 성분은 차단
- **필터 계수의 합은 1**로 샤프닝 회선 마스크하고는 다르나, 나머지 동작 특성은 같음.
- 현재 위치(중앙)의 화소 값이 주위 값으로 평균되어 부드럽게 나타남.
- 다음은 대표적인 저주파 필터의 계수

■ Averaging filter(평균 필터)

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

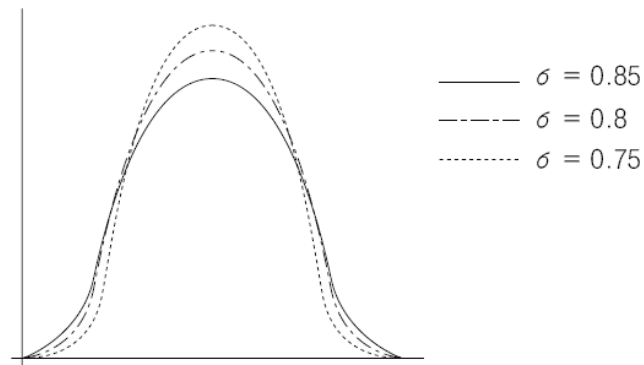
- Gaussian filter(가우시안 필터)
 - 수학적 모델링

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

- 영상의 세세한 부분을 제거하여 부드럽게 하므로 스무딩(Smoothing) 처리라고도 함

Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

- σ 에 따른 Gaussian(가우시안) 함수 그래프
 - σ 값이 클수록 높이는 낮지만 폭은 넓어지므로 많은 저주파 성분을 통과시킴.
 - σ 값이 작을 수록 적은 저주파 성분만 통과시킴.



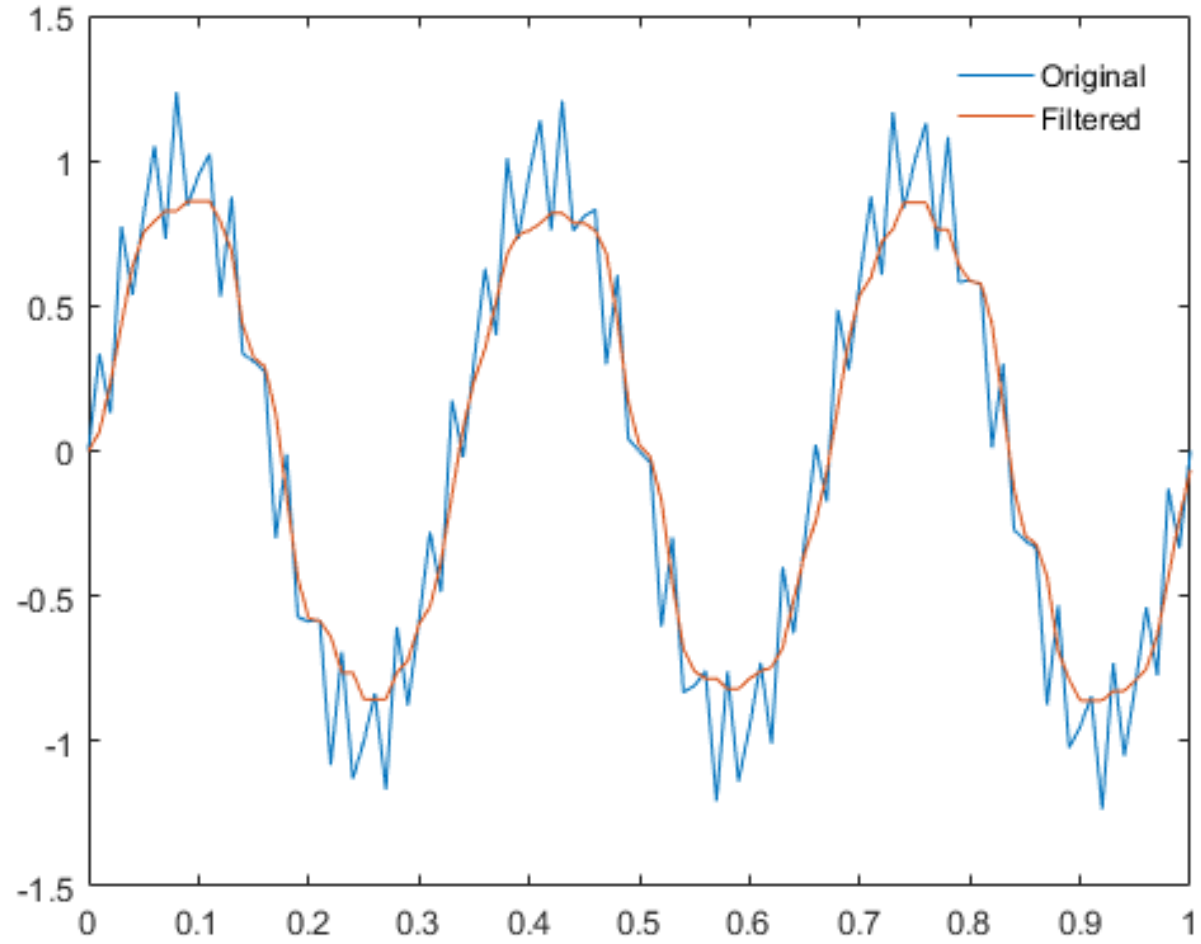
[그림 6-17] σ 값에 따른 가우시안 그래프

- Gaussian filter (가우시안 필터)
 - 가우시안 함수를 표본화하여 마스크의 계수를 결정
 - 오른쪽은 3x3 가우시안 필터 계수. 모든 계수는 양의 값으로 그 합은 1

1/16	1/8	1/16
1/8	1/4	1/8
1/16	1/8	1/16

Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

- 1차원 신호에 대한 Low Pass Filtering(저주파통과필터) 예시



Frequency domain analysis(주파수 영역분석)

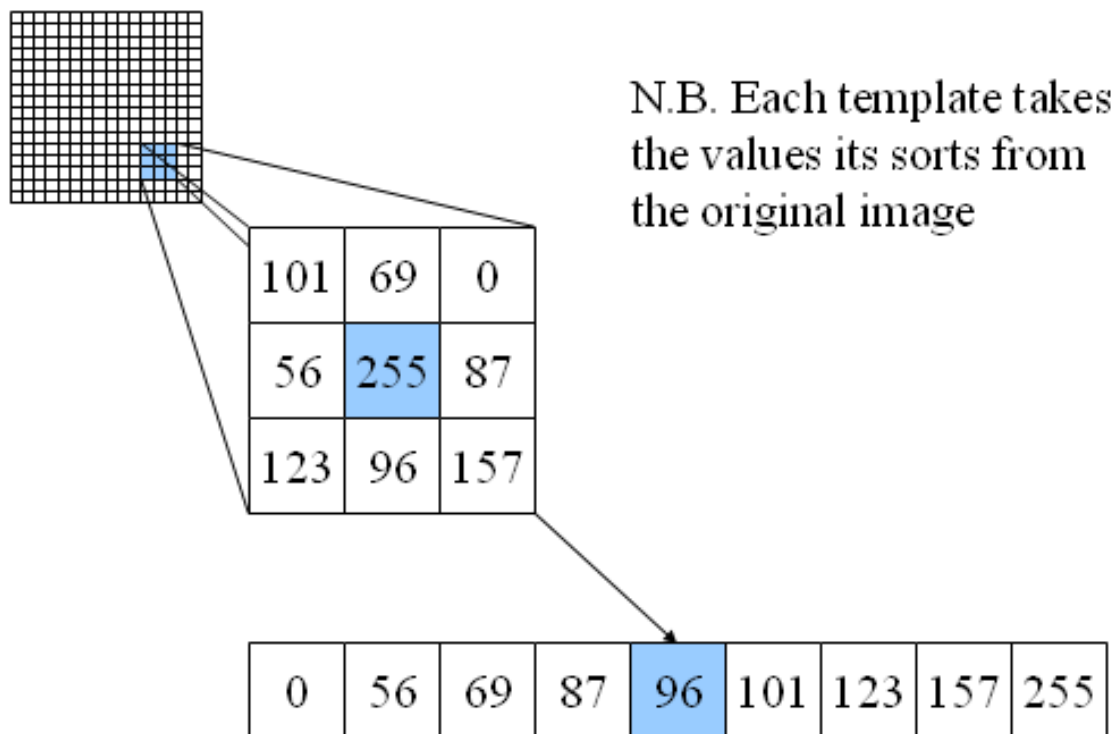
- High Pass Filtering(고주파 통과 필터)를 이용한 샤프닝 처리
 - 고주파 필터는 영상 신호 성분 중 고주파 성분은 통과시키고 저주파 성분은 차단
 - **필터 계수의 합은 0**으로 샤프닝 회선 마스크하고는 다르나, 나머지 동작 특성은 같음.
 - 가운데 큰 양수 값과 주변의 작은 음수 값으로 마스크되어 경계선을 더욱 두드러지게 함.
 - 다음은 대표적인 고주파 필터의 계수

$-1/9$	$-1/9$	$-1/9$
$-1/9$	$8/9$	$-1/9$
$-1/9$	$-1/9$	$-1/9$

Non-linear Filter(비선형 필터): Median Filtering(중간값 필터)

■ Median Filter (중간값 필터)

- Impulse 잡음 등 주위 값을 이용하여 영상에서 잡음을 제거하는 영상 필터의 한 종류
- 처리 영역의 화소를 화소 값의 크기에 따라 정렬 후 순서 상으로 중간에 위치한 값을 현재 위치의 화소 값으로 결정하는 필터



Non-linear Filter(비선형 필터):Median Filtering(중간값 필터)

- Median filter 활용 예시



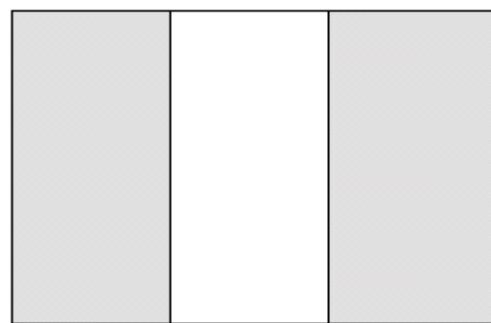
잡음 영상



필터 적용 영상

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분을 이용한 에지 검출

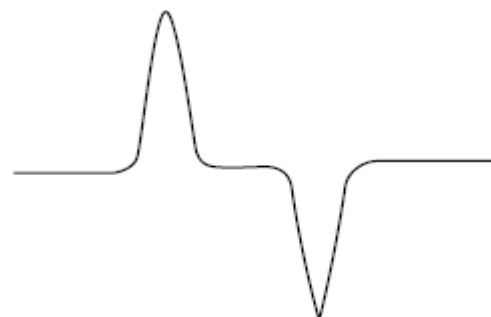
- 디지털 영상의 에지는 화소의 밝기 값이 급격히 변하는 부분이므로, 이 변화 부분을 탐지하는 연산을 이용해 에지 검출



(a) 영상



(b) 명암도 변화



(c) 미분 값 변화

[그림 7-8] 영상의 밝기 변화와 미분 값 변화

- 에지 추출에는 함수의 변화분을 찾는 미분 연산이 이용됨.

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)

- 좌표 (x, y) 에서 각 방향으로의 편미분

$$\nabla H(x, y) = \begin{bmatrix} H_r(x, y) \\ H_c(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x+1, y) - f(x, y) \\ f(x, y+1) - f(x, y) \end{bmatrix}$$

- 이웃 데이터와의 차이 값으로 표현되므로, 디지털 영상의 미분은 각 방향의 변화율을 나타냄.
- H_r 는 행 검출기, H_c 는 열 검출기

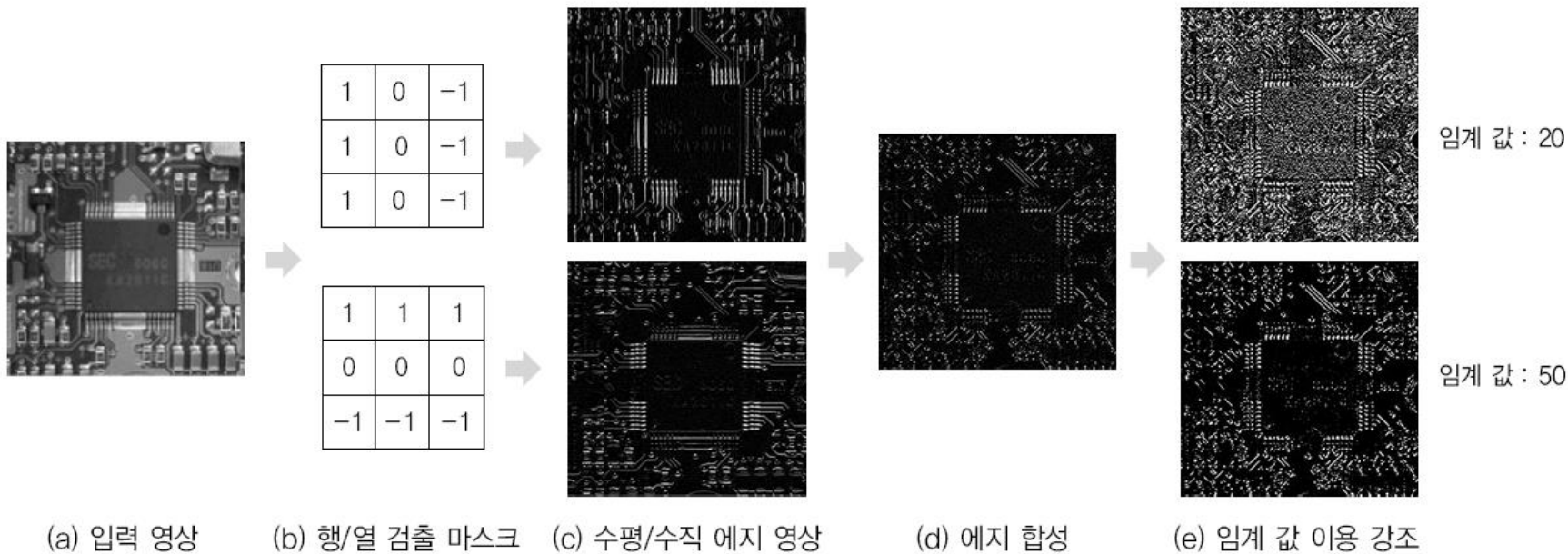
Edge Detection(에지 검출): 1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)

■ 영상의 전체 변화 분의 크기 계산

$$H(x, y) \approx |H_r(x, y)| + |H_c(x, y)| = \sqrt{H_r^2(x, y) + H_c^2(x, y)}$$

- 에지 검출을 위한 1차 미분 연산을 영역처리 기법의 회선 처리로 수행하려면 행 검출기 H_r 과 열 검출기 H_c 를 회선 마스크로 생성
- 편미분 식에서 제시된 이웃 데이터와의 차이를 표현하는 회선 마스크를 얻을 수 있음.
- 얻은 1차 미분 회선 마스크는 이동과 차분의 회선 마스크와 형태가 비슷함.
- 마스크의 크기가 클수록 상세한 에지를 검출하기 어렵고, 작으면 잡음에 민감하며, 회선 마스크의 합은 0이 됨

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)



[그림 7-9] 1차 미분 회선 마스크를 이용한 에지 검출 영상

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

- 종류가 다양함.
 - 로버츠(Roberts), 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt) 마스크가 대표적
- 행 검출 마스크와 열 검출 마스크가 있으며, 각 회선 마스크는 고유한 특징이 있음.

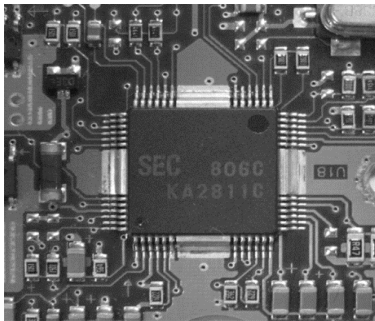
	행 검출 마스크	열 검출 마스크
로버츠	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
프리윗	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
소벨	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

[그림 7-10] 다양한 1차 미분 회선 마스크

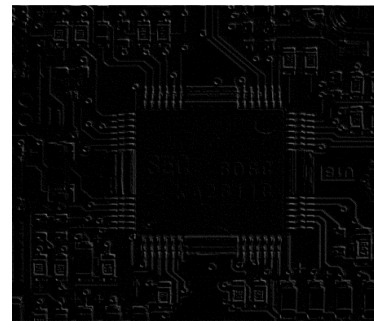
Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

■ 로버츠 마스크

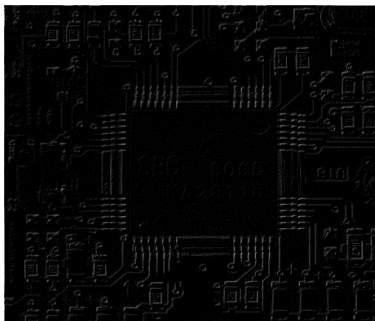
- 장점 : 크기가 작아 매우 빠른 속도로 동작하여 효과적으로 사용 가능.
- 단점 : 돌출된 값을 잘 평균할 수 없으며, 잡음에 민감함.



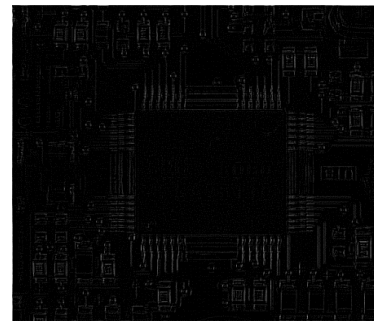
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지



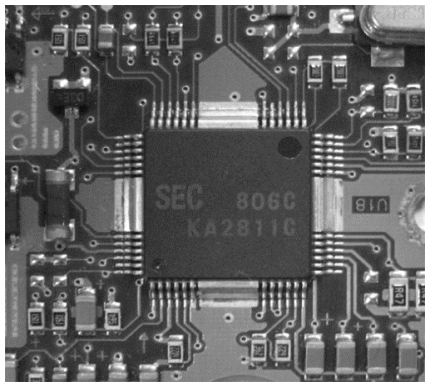
(d) 수평/수직 방향 에지

[그림 7-11] 로버츠 마스크를 이용한 에지 검출 영상

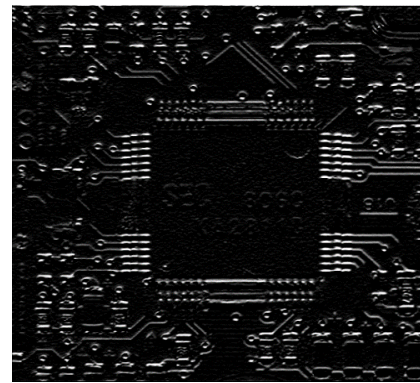
Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

■ 프리윗 마스크

- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선보다 수평과 수직에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



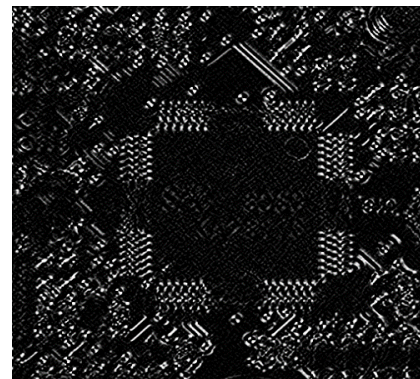
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지



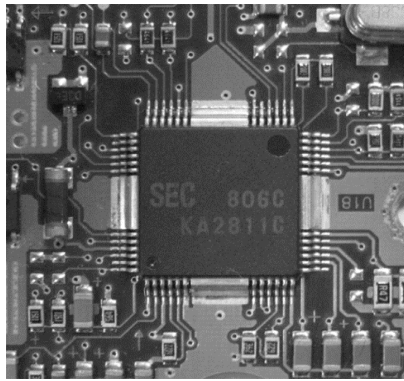
(d) 수평/수직 방향 에지

[그림 7-12] 프리윗 마스크를 이용한 에지 검출 영상

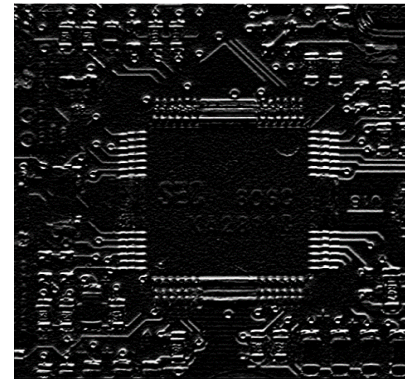
Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

■ Sobel Mask(소벨 마스크)

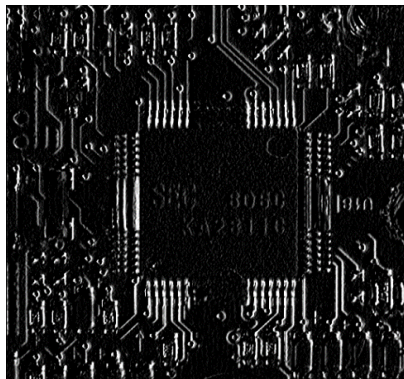
- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선 방향에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



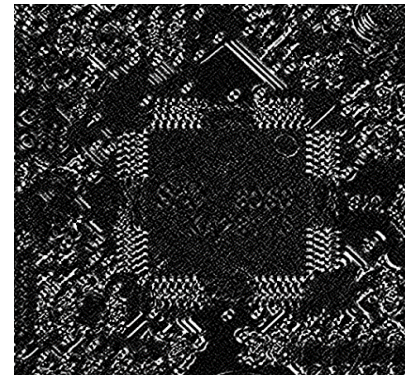
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지



(d) 수평/수직 방향 에지

[그림 7-13] 소벨 마스크를 이용한 에지 검출 영상

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

■ Compass Gradient Operator

- 에지를 좀더 정확하게 검출하려고 각기 다른 방향의 마스크 여덟 개를 이용하여 에지를 검출하는 방법
- 여덟 방향으로 수행한 연산의 결과 중 최대값을 최종 출력으로 결정함.
- 단점
 - 마스크의 크기가 작을수록 잡음에 민감하고,
 - 클수록 상세한 에지를 검출할 수 없음.

Edge Detection(에지 검출): 1차 미분 회선 마스크의 종류

- 8개 방향으로 에지를 검출하도록 설계함

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

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

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분을 이용한 에지 검출

- 임의의 이산 함수 $f(x)$ 에서의 1차 미분과 2차 미분 결과

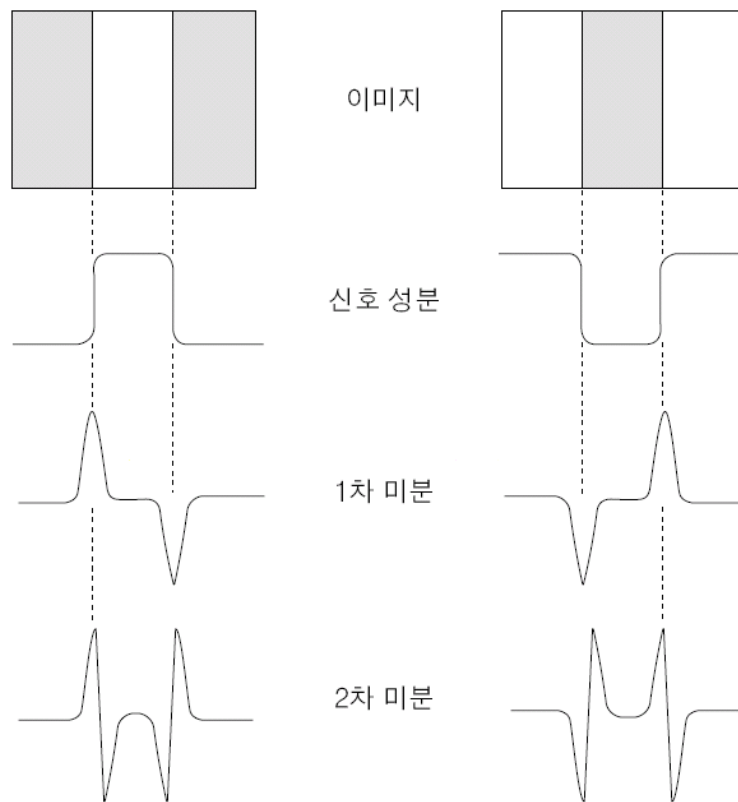
$$f'(x) = \frac{df}{dx} = f(x+1) - f(x)$$

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

- 2차 미분을 이용한 에지 검출기는 미분을 한 번 더 수행하므로, 1차 미분의 단점을 완화시켜 둔감하게 반응하도록 만듦.
 - 1차 미분을 이용한 에지 검출기의 단점: 에지가 있는 영역을 지날 때 민감하게 반응
- 2차 미분을 이용한 에지 검출기의 장점과 단점
 - 장점: 검출된 에지를 끊거나 하지 않고 연결된 폐곡선을 형성함.
 - 단점: 고립된 잡음에 민감하고, 윤곽의 강도만 검출하지 방향은 구하지 못함.

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분을 이용한 에지 검출(계속)

- 2차 미분 연산은 에지 부분에서 부호가 바뀌는 영교차(Zero Crossing)의 특성이 있음.



[그림 7-15] 1차 미분과 2차 미분 검출기의 비교

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분을 이용한 에지 검출

■ 라플라시안(Laplacian) 연산자

- 대표적인 2차 미분 연산자로, 모든 방향의 에지를 강조함.
- 라플라시안 연산자 공식

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

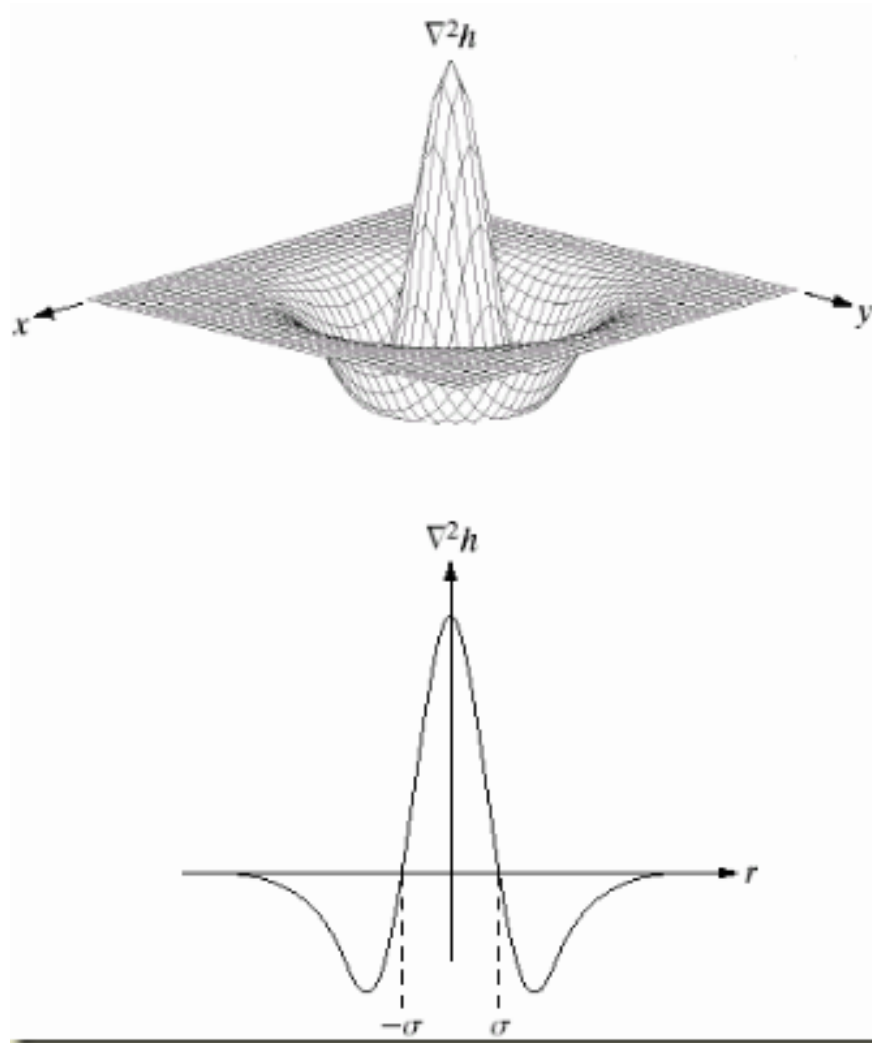
$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y)$$

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1)$$

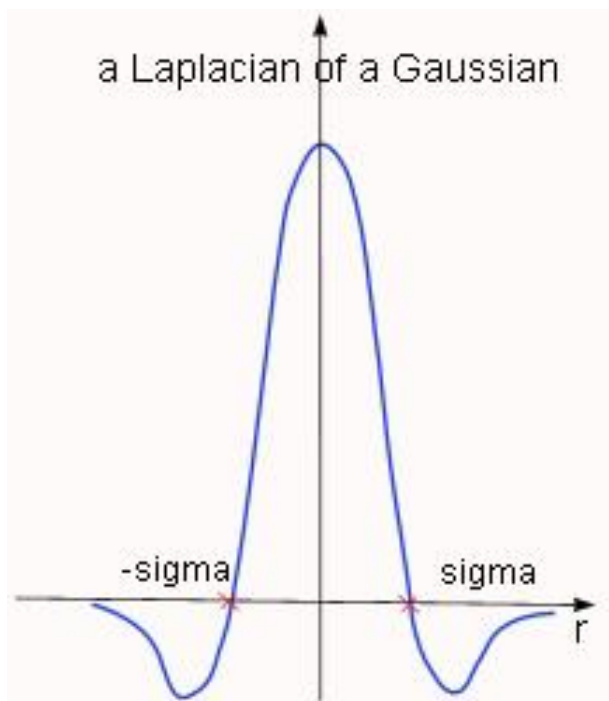
$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x, y) &= f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1) \\ &= f(x, y+1) + f(x-1, y) + f(x+1, y) + f(x, y-1) - 4f(x, y)\end{aligned}$$

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분을 이용한 에지 검출

- 라플라시안(Laplacian) 연산자 도시



Edge Detection(에지 검출): 2차 미분을 이용한 에지 검출



$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

(a)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(b)

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

(c)

[그림 7-16] 라플라시안 회선 마스크

- 1차 미분의 회선 마스크에는 행과 열 방향의 회선 마스크가 있으나,
- 2차 미분의 라플라시안 회선 마스크에는 행과 열 방향이 합쳐져 한 개만 있음.
 - 회선 마스크의 합은 0

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분에 의한 에지 검출

- Laplacian(라플라시안) 연산자 적용 예
 - 잡음 성분에 민감 → 필요이상의 에지 성분이 추출됨
 - 에지 크기를 임계값으로 비교 후 큰 부분만 에지로 필터링 함



(a) 원본 영상



(b) 마스크 1 적용



(c) 마스크 2 적용



(d) 마스크 3 적용

라플라시안 회선 마스크를 사용하여 검출한 에지 영상

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분에 의한 에지 검출

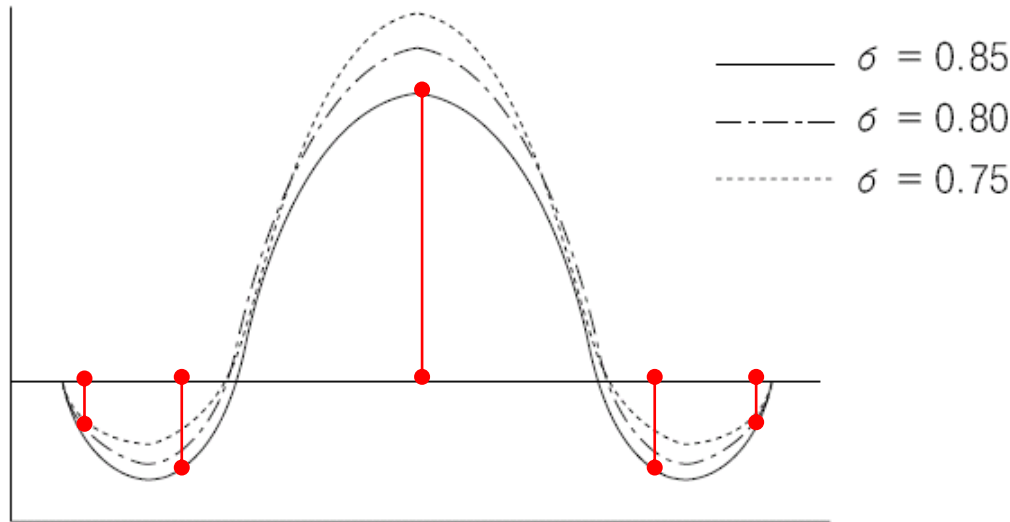
■ LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자

- 잡음에 매우 민감한 라플라시안 마스크를 이용한 에지 검출기의 문제점을 해결하기 위해 만듦.
- 가우시안 스무딩을 수행하여 잡음 제거 과정을 거친 뒤 에지를 강조하려고 라플라시안을 이용함.
- LoG 연산자 수학적 모델

$$\text{LoG}(x, y) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2} \right] - e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}$$

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분에 의한 에지 검출

- LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자(계속)



(a)

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

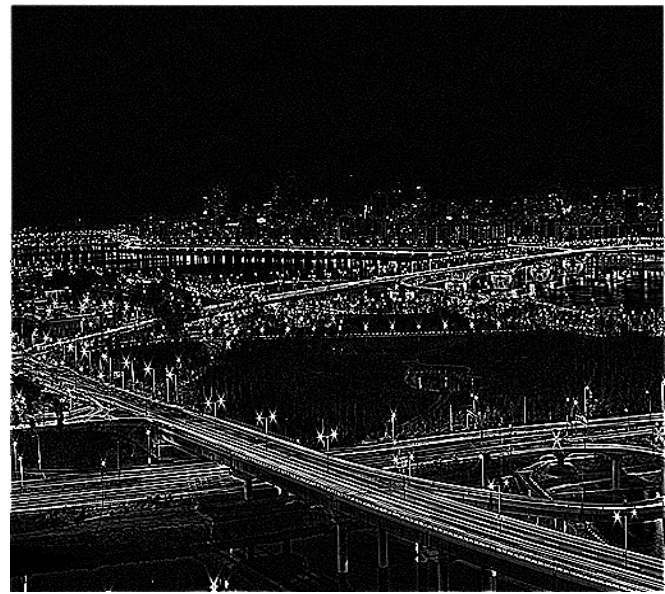
(b)

[그림 7-17] LoG의 멕시코 모자 필터와 회선 마스크

Edge Detection(에지 검출): 2차 미분에 의한 에지 검출

■ LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자(계속)

- LoG를 수행하는 두 가지 방법
 - 가우시안 스무딩 필터링을 먼저 수행하고 그 결과 값에 라플라시안을 수행하는 방법
 - LoG 필터에 해당하는 선형 필터링을 한꺼번에 수행하는 방법



[그림 7-18] LoG로 검출된 에지 영상

Convolution Processing : 컬러 영상의 회선 처리

■ 컬러 영상의 회선 처리

- 컬러 영상은 R, G, B 채널 세 개를 이용해 다양한 색을 표현하므로 이 채널을 응용하여 회선 처리 수행
- 독립 채널 별 회선 수행과 HSI 컬러 모델로 변경한 뒤 밝기 성분 (I 또는 Y) 회선을 처리하는 두 가지 방법이 있음

■ 독립 채널 별 회선 수행

- RGB 컬러 영상을 R, G, B 채널로 분리하여 채널 별로 각각 회선을 수행한 뒤 회선 처리된 각 채널을 다시 조합해서 회선 된 컬러 영상 생성
- RGB 컬러 영상은 채널 세 개를 조합해서 색을 표현하므로 회선 과정에서 아주 작은 오류만 발생해도 조합된 회선에서 정확한 결과를 만들지 못함.

Convolution Processing : 컬러 영상의 회선 처리(계속)

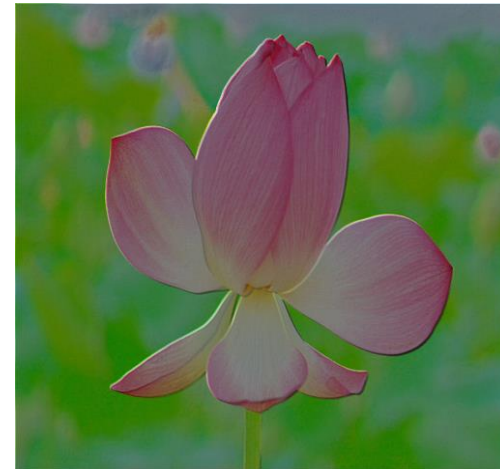
■ HSI 컬러 모델로 변경 후 회선 처리

- RGB 컬러 영상을 우선으로 해서 HSI 컬러 모델로 변환하여 색상(H), 명도(I), 채도(S) 성분을 얻음
- 밝기 성분인 명도(I) 부분만 회선 처리를 수행하고 나머지 두 성분은 수행하지 않음. 마지막으로 HSI는 다시 RGB 컬러 영상으로 변환됨.
- 색상(H)에서 회선 처리를 하지 않아 원 영상의 색상 부분이 그대로 보존되므로 독립 채널별로 회선을 처리하는 방법보다 더 정확

Convolution Processing : 컬러 영상의 회선 처리(계속)



[그림 6-13] 채널별 회선 수행 뒤 합성한 컬러 회선 영상



[그림 6-14] HSI 변환 뒤 밝기(I)만 회선 처리된 영상

Convolution Processing : 컬러 영상에서의 에지 검출

■ RGB 컬러 모델을 사용할 경우

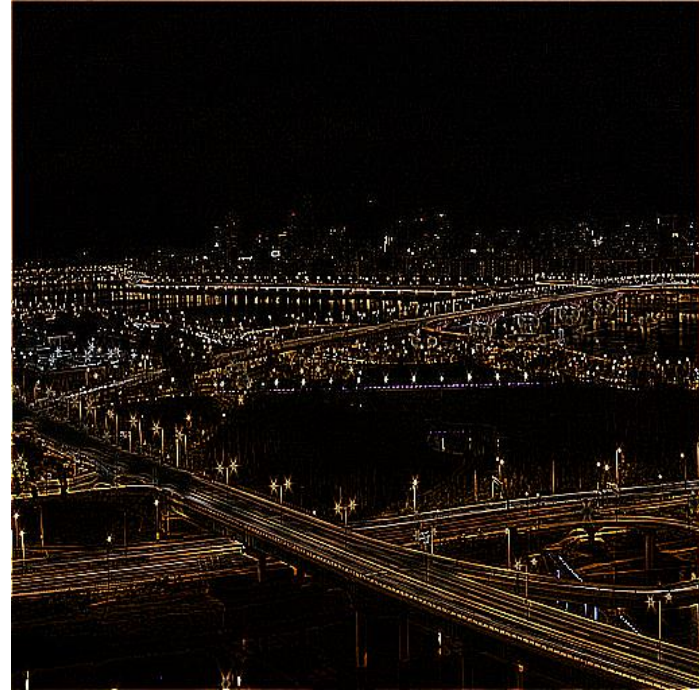
- R, G, B 각각에서 에지 검출을 위한 회선을 수행 후 검출된 에지를 다시 합해 컬러 영상의 에지를 얻음.
- 검출된 각 성분의 에지를 합치는 공식

$$E(x, y) = \sqrt{E_{red}^2(x, y) + E_{green}^2(x, y) + E_{blue}^2(x, y)}$$

■ HIS 또는 YCrCb 계열 컬러 모델을 사용할 경우

- RGB 컬러 모델을 HSI 컬러 모델로 변환하여 명도값 (I)에서만 회선을 적용한 뒤 RGB 컬러 모델로 변경하여 컬러 영상의 에지를 얻음.

Convolution Processing : 컬러 영상에서의 에지 검출(계속)



[그림 7-22] 컬러 영상에서의 에지 검출

COMPUTER VISION 비전 프로그래밍

Thank you and question?

