07장 영역 처리를 이용한 에지 검출

- 에지 검출의 개요
- 에지 검출기
- 1차 미분을 이용한 에지 검출
- 2차 미분을 이용한 에지 검출

한빛미디어(주)

학습목표

- ✓ 에지의 개념을 학습한다.
- ✓ 이동과 차분을 기본으로 한 에지 검출기를 학습한다.
- ✓ 미분과 에지의 관련성을 소개한다.
- ✓ 1차 미분 회선 마스크를 이용한 에지 검출기를 학습한다.
- ✓ 2차 미분 회선 마스크를 이용한 에지 검출기를 학습한다.

Section 01 에지 검출의 개요

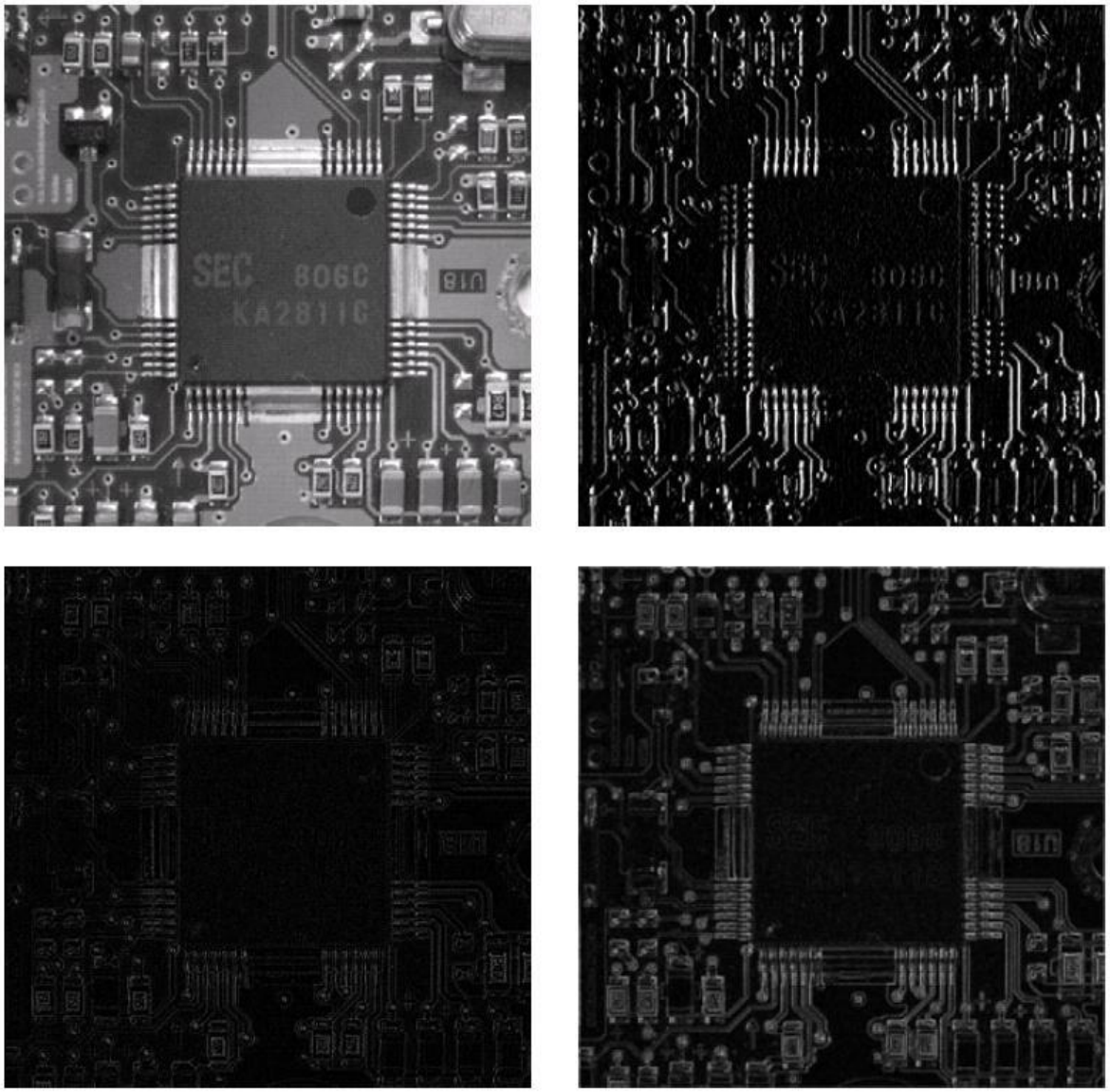
- 에지(edge)
  - 디지털 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 지점
  - 디지털 영상을 구성하는 객체 간의 경계(= 경계선)
  - 디지털 영상의 에지: 물체 식별, 위치/모양/크기 등을 인지하고 방향성을 탐지할 수 있는 정보 제공

[그림 7-1] 다양한 에지 패턴

에지 검출의 개요(계속)

- 영역처리
  - 에지를 검출하기 위한 방법으로 사용됨
- 간단한 에지 추출 기법
  - 연산 자체가 간단하고 빠름.
  - 유사 연산자(Homogeneity Operator)와 차 연산자(Difference Operator)가 있음.
  - 이 두 방법으로 얻은 에지를 강화하거나 약화시키는 추가적인 임계 값(Threshold)을 처리하는 방법이 있음.
- 미분을 이용한 에지 검출 방법
  - 에지가 화소의 밝기 변화율에 관여한다는 것
  - 1차 미분을 이용한 검출 방법과 2차 미분을 이용한 검출 방법 있음
  - 2차 미분을 이용한 검출 방법: 1차 미분으로 얻은 결과에 미분을 한 번 더 추가하여 에지 검출의 성능을 향상시킨 것

에지 검출의 개요(계속)



[그림 7-2] 다양한 1차 미분법으로 검출된 에지 영상

Section 02 에지 검출기

- 디지털 영상의 에지를 검출하는 가장 쉬운 방법은 화소 간의 차이를 이용하는 것

- 이동과 차분(Shift And Difference)
  - 화소의 위치를 위쪽, 아래쪽, 왼쪽, 오른쪽으로 하나씩 이동시킨 뒤 원래 화소에서 이동 위치의 화소를 빼서 에지를 구함.
  - 에지 검출기는 대부분 이 방법을 응용함.

0	0	0
−1	1	0
0	0	0

(a) 수직 에지 검출 마스크

0	−1	0
0	1	0
0	0	0

(b) 수평 에지 검출 마스크

[그림 7-3] 이동과 차분 방법에서의 에지 검출 마스크

[실습하기 7-1] 이동과 차분 처리 프로그램

① **ResourceView 창에서 [Menu]-[IDR_IMAGETYPE] 더블클릭 → 메뉴 추가**

ID	ID_DIFF_OPERATOR_HOR
Caption	이동과 차분(수평처리)

② **[MFC ClassWizard] 대화상자를 이용해 추가된 메뉴에서 이동과 차분 처리를 실행하는 함수 추가**

Class Name	Function Type	Function Name
View Class	void	OnDiffOperatorHor
Doc Class	void	OnDiffOperatorHor

③ **Doc 클래스에 다음 프로그램 추가**

[실습하기 7-1] 이동과 차분 처리 프로그램

```
void CImageProcessingDoc::OnDiffOperatorHor()
{
   int i, j;
   double DiffHorMask[3][3]
        = {{0., -1., 0.}, {0., 1., 0.}, {0., 0., 0.}};
   // 수평 필터 선택

   m_Re_height = m_height;
   m_Re_width = m_width;
   m_Re_size = m_Re_height * m_Re_width;
   m_OutputImage = new unsigned char [m_Re_size];

   m_tempImage = OnMaskProcess(m_InputImage, DiffHorMask);
   // m_tempImage = OnScale(m_tempImage, m_Re_height, m_Re_width);
```

[실습하기 7-1] 이동과 차분 처리 프로그램

```
    for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
        for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
            if(m_tempImage[i][j] > 255.)
                m_tempImage[i][j] = 255.;
            if(m_tempImage[i][j] < 0.)
                m_tempImage[i][j] = 0.;
        }
    }

    for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
        for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
            m_OutputImage[i* m_Re_width + j]
              = (unsigned char)m_tempImage[i][j];
        }
    }
}
```

[실습하기 7-1] 이동과 차분 처리 프로그램

④ View 클래스에 다음 프로그램 추가

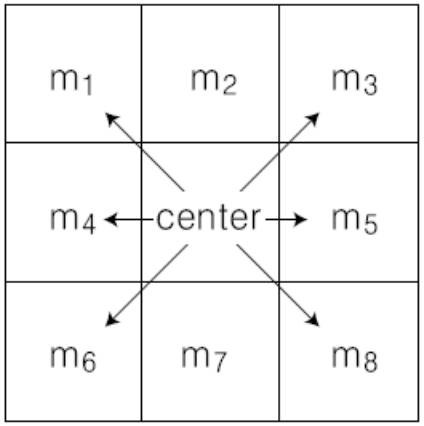
```
void CImageProcessingView::OnDiffOperatorHor()
{
    CImageProcessingDoc* pDoc = GetDocument();
    ASSERT_VALID(pDoc);

    pDoc->OnDiffOperatorHor();

    Invalidate(TRUE);
}
```

유사 연산자 기법

- 가장 단순한 에지 검출 방법으로 화소를 감산한 값에서 최대값을 결정하여 에지를 검출
- 뺄셈연산이 여러 번 수행되므로 계산 시간이 많이 소요됨



$$\text{New Pixel} = \max(|\text{center} - m_1| \cdots |\text{center} - m_8|)$$

총 8번 계산

예

5	2	1
6	9	3
7	2	6

$$\text{New Pixel} = \max(|9-5|, |9-2|, |9-1|, |9-6|, |9-3|, |9-7|, |9-2|, |9-6|) = 8$$

[그림 7-4] 유사 연산자의 동작 원리

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

① **ResourceView 창에서 [Menu]-[IDR_IMAGETYPE] 더블클릭 → 메뉴 추가**

ID	ID_HOMOGEN_OPERATOR
Caption	유사 연산자 기법

② **[MFC ClassWizard] 대화상자를 이용해 추가된 메뉴에서 유사 연산자 에지 검출 처리를 실행하는 함수 추가**

Class Name	Function Type	Function Name
View Class	void	OnHomogenOperator
Doc Class	void	OnHomogenOperator
Doc Class	double	DoubleABS(double X)

③ **Doc 클래스에 다음 프로그램 추가**

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

❶ **OnHomogenOperator 함수 추가하기**

```
void CImageProcessingDoc::OnHomogenOperator()
{
   int i, j, n, m;
   double max, **tempOutputImage;

   m_Re_height = m_height;
   m_Re_width = m_width;
   m_Re_size = m_Re_height * m_Re_width;
   m_OutputImage = new unsigned char [m_Re_size];

   m_tempImage = Image2DMem(m_height + 2, m_width + 2);
   tempOutputImage = Image2DMem(m_Re_height, m_Re_width);

   for(i=0 ; i<m_height ; i++){
      for(j=0 ; j<m_width ; j++){
         m_tempImage[i+1][j+1] = (double)m_InputImage[i * m_width + j];
      }
   }
```

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

❶ **OnHomogenOperator 함수 추가하기(계속)**

```
for(i=0 ; i<m_height ; i++){
   for(j=0 ; j<m_width ; j++){
      max = 0.0; // 블록이 이동할 때마다 최대값 초기화
      for(n=0 ; n<3 ; n++){
         for(m=0 ; m<3 ; m++){
            if(DoubleABS(m_tempImage[i+1][j+1] -
               m_tempImage[i+n][j+m]) >= max)
               // 블록의 가운데 값 - 블록의 주변 픽셀 값의 절대 값
               // 중에서 최대값을 찾는다.

                  max = DoubleABS(m_tempImage[i+1]
                        [j+1] - m_tempImage[i+n][j+m]);
         }
      }
      tempOutputImage[i][j] = max; // 찾은 최대값을 출력 값으로 지정
   }
}
```

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

❶ **OnHomogenOperator 함수 추가하기(계속)**

```
    for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
        for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
            if(tempOutputImage[i][j] > 255.)
                tempOutputImage[i][j] = 255.;
            if(tempOutputImage[i][j] < 0.)
                tempOutputImage[i][j] = 0.;
        }
    }

    for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
        for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
            m_OutputImage[i* m_Re_width + j]
                = (unsigned char)tempOutputImage[i][j];
        }
    }
}
```

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

❷ **DoubleABS 함수 추가하기**

```
double CImageProcessingDoc::DoubleABS(double X)
{ // 실수의 절대 값 연산 함수
   if(X >= 0)
      return X;
   else
      return -X;
}
```

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

④ View 클래스에 다음 프로그램 추가

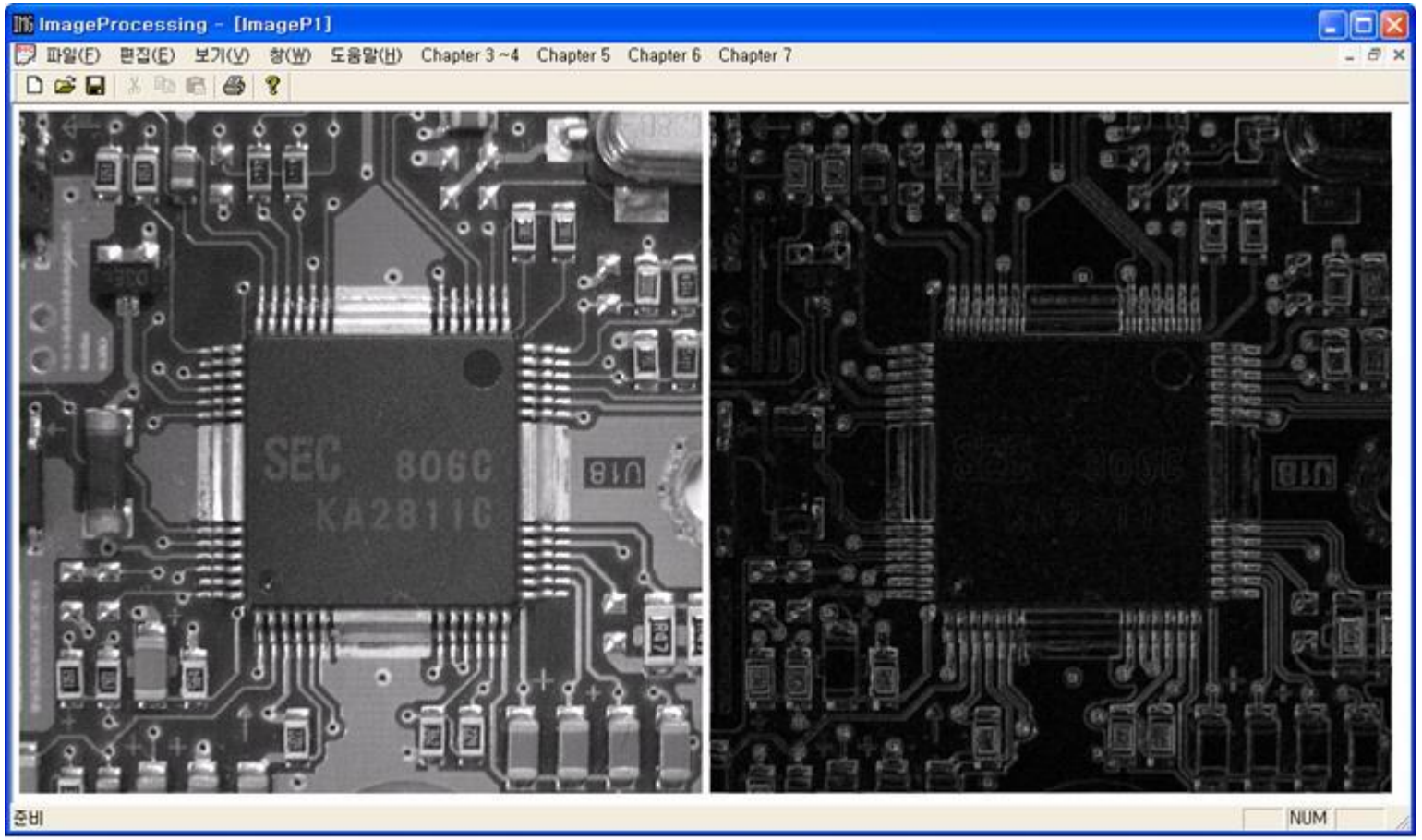
```
void CImageProcessingView::OnHomogenOperator()
{
    CImageProcessingDoc* pDoc = GetDocument();
    ASSERT_VALID(pDoc);

    pDoc->OnHomogenOperator();

    Invalidate(TRUE);
}
```

[실습하기 7-2] 유사 연산자 에지 검출 처리 프로그램

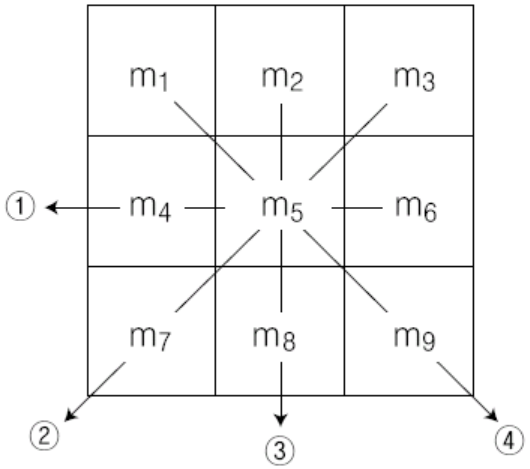
⑤ 프로그램 실행 결과 영상



유사 연산자 기법으로 검출된 에지

차 연산자 기법

- 유사 연산자의 계산 시간이 오래 걸리는 단점을 보안해 주는 방법
- 뺄셈 연산이 여덟 번 필요한 유사 연산자와는 달리 화소당 네 번만 사용되어 연산 시간이 빠름.



$$\text{New Pixel} = \max(|m_1 - m_9|, |m_3 - m_7|, |m_2 - m_8|, |m_6 - m_4|)$$

총 4번 계산

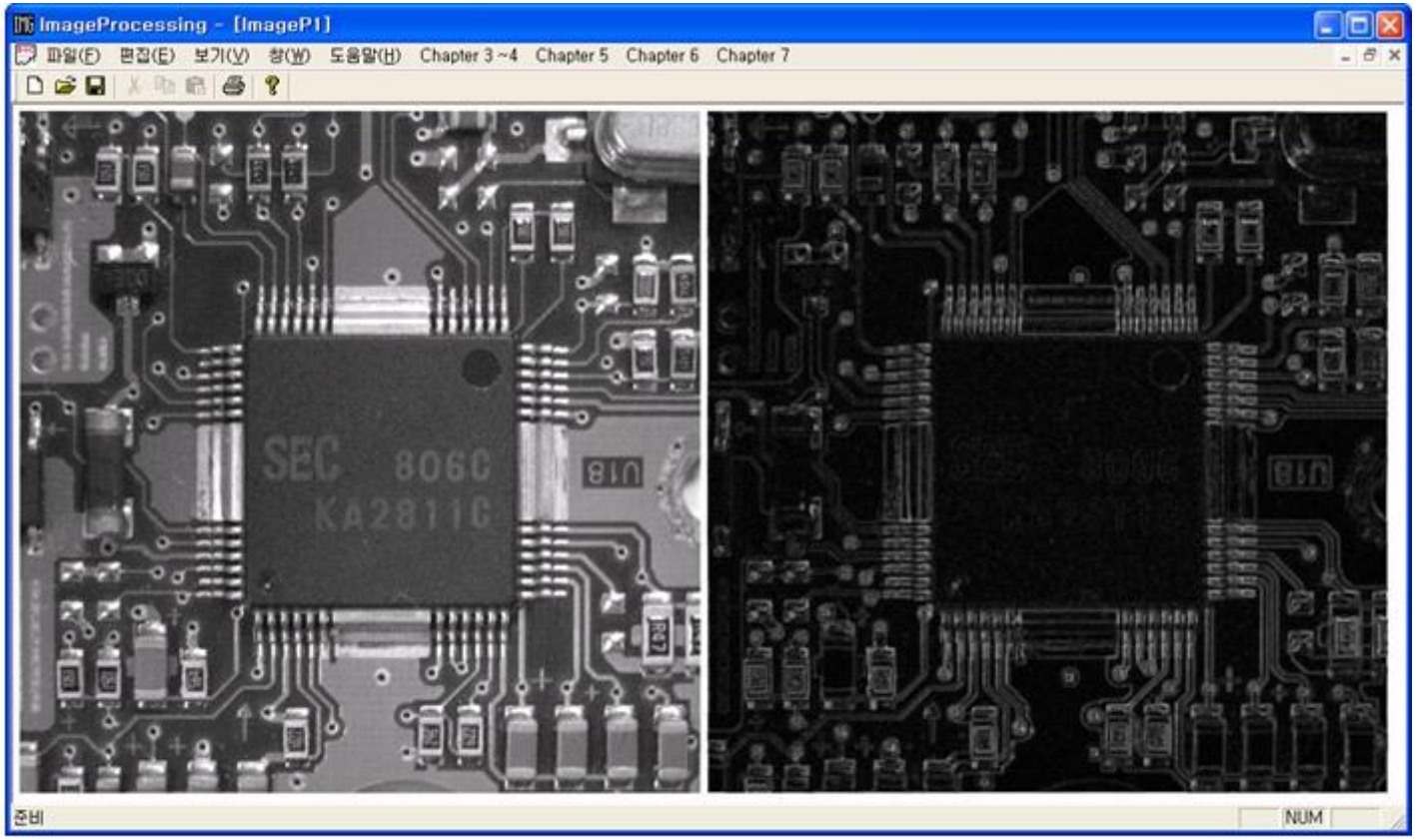
예

5	2	1
6	9	3
7	2	6

$$\text{New Pixel} = \max(|1-9|, |2-8|, |3-7|, |6-4|) = 8$$

[그림 7-5] 차 연산자의 동작 원리

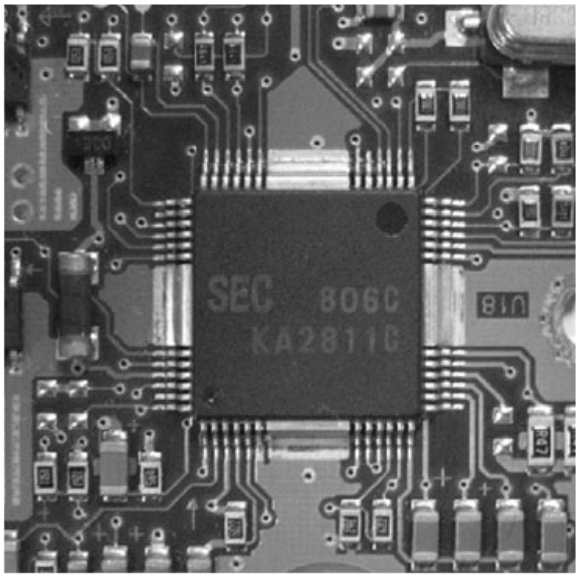
차 연산자 기법(계속)



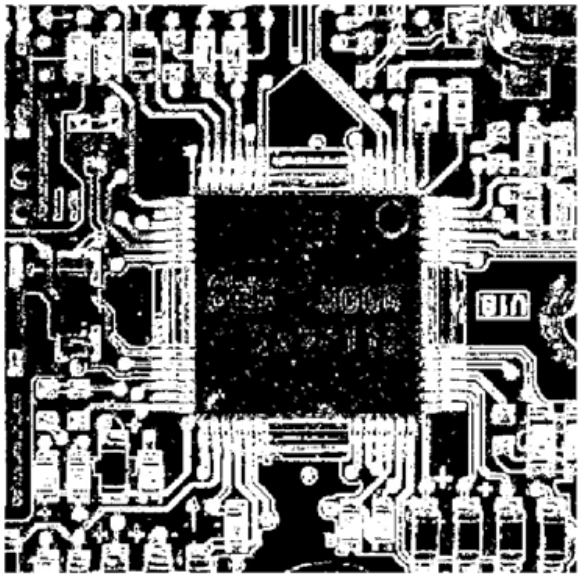
[그림 7-6] 차 연산자 기법으로 검출된 에지

임계 값을 이용한 에지 처리

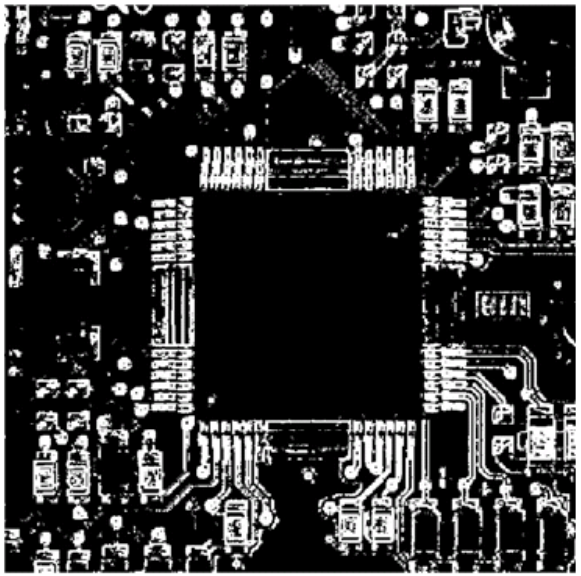
- 보통 에지 추출기와 함께 사용되어 강한 에지는 강하게, 약한 에지를 약화게 함.
  - 효율적으로 영상처리를 하기 위해서는 검출된 에지를 강조하거나 약화시킬 필요가 있음.



(a) 원본 영상



(b) 단일 임계 값 처리

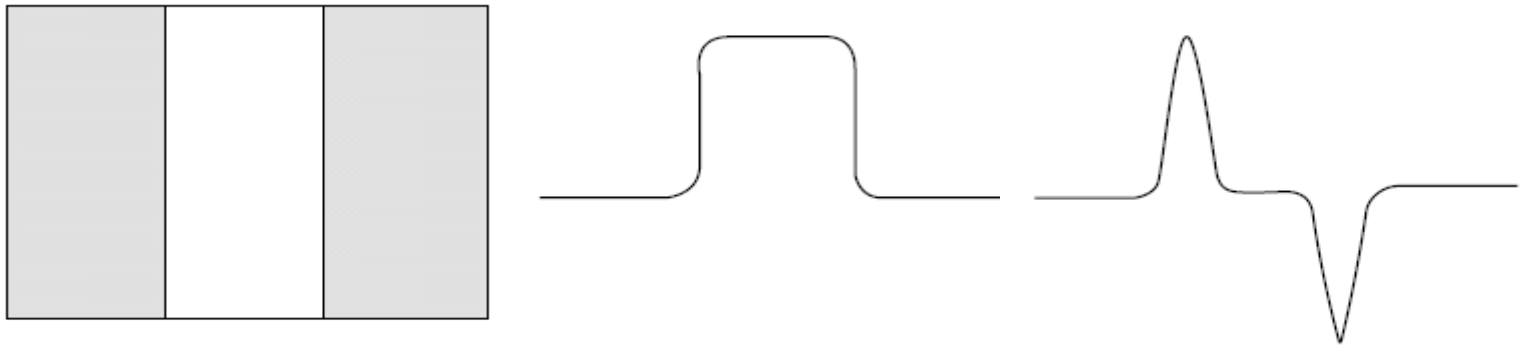


(c) 다중 임계 값 처리

[그림 7-7] 임계 값을 이용해 에지 처리한 영상

Section 03 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.

1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)

- 좌표 (x, y)에서 각 방향으로의 편미분

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

  - 이웃 데이터와의 차이 값으로 표현되므로, 디지털 영상의 미분은 각 방향의 변화율을 나타냄.
  - Hr는 행 검출기, Hc는 열 검출기

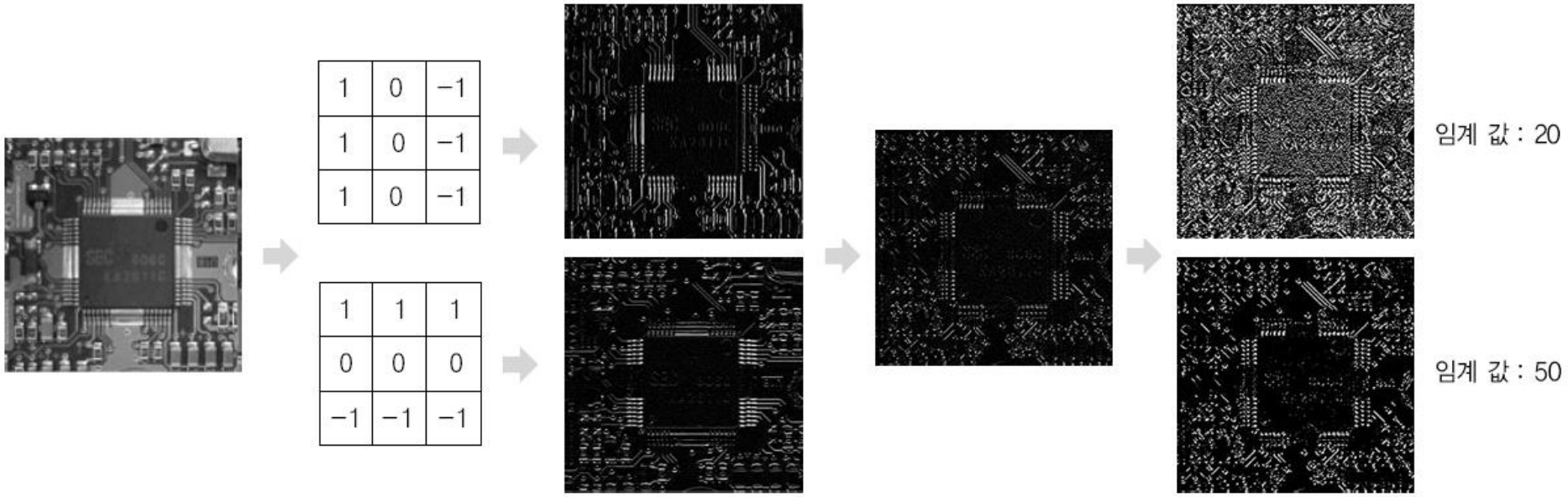
1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)

- 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 Hr과 열 검출기 Hc를 회선 마스크로 생성
  - 편미분 식에서 제시된 이웃 데이터와의 차이를 표현하는 회선 마스크를 얻을 수 얻음.
  - 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

1차 미분을 이용한 에지 검출(계속)



[그림 7-9] 1차 미분 회선 마스크를 이용한 에지 검출 영상

1차 미분 회선 마스크의 종류

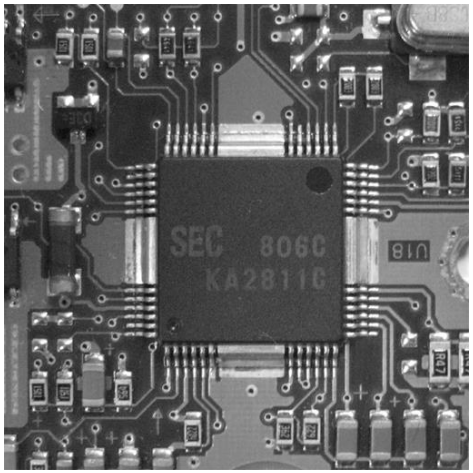
- 종류가 다양함.
- 로버츠(Roberts), 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt) 마스크가 대표적
- 행 검출 마스크와 열 검출 마스크가 있으며, 각 회선 마스크는 고유한 특징이 있음.

	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	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

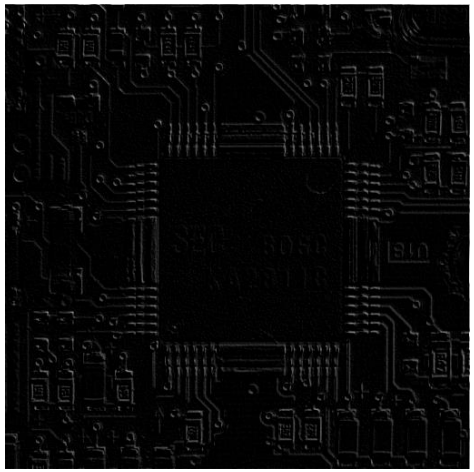
[그림 7-10] 다양한 1차 미분 회선 마스크

로버츠 마스크

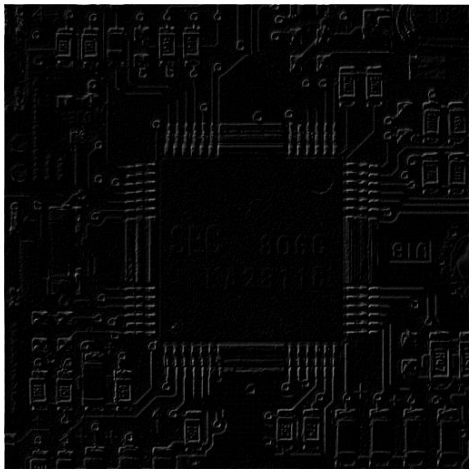
- 장점 : 크기가 작아 매우 빠른 속도로 동작하여 효과적으로 사용 가능.
- 단점 : 돌출된 값을 잘 평균할 수 없으며, 잡음에 민감함.



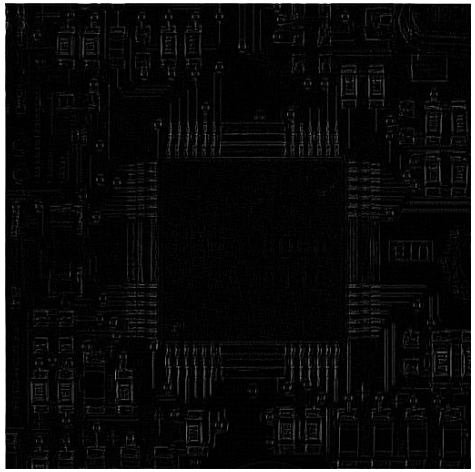
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지

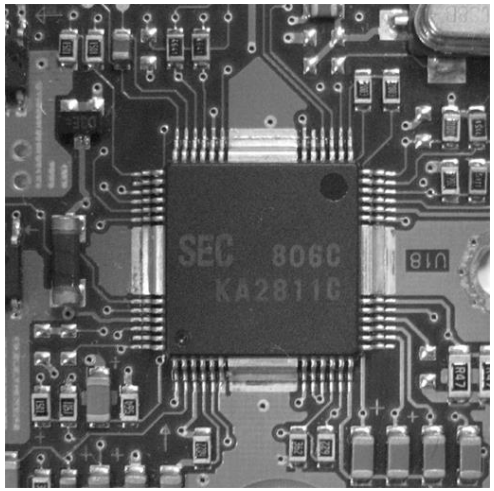


(d) 수평/수직 방향 에지

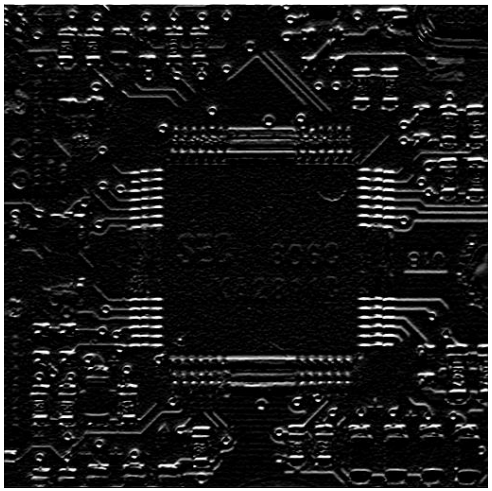
[그림 7-11] 로버츠 마스크를 이용한 에지 검출 영상

프리윗 마스크

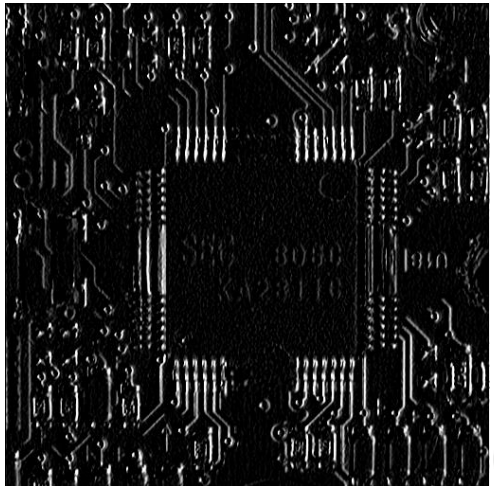
- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선보다 수평과 수직에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



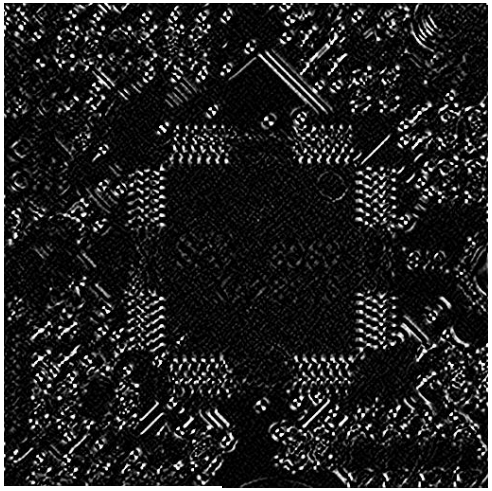
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지

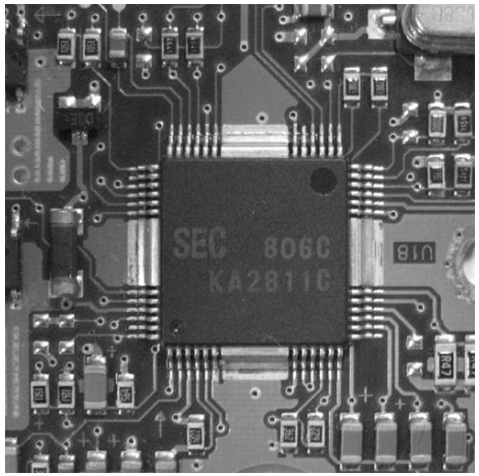


(d) 수평/수직 방향 에지

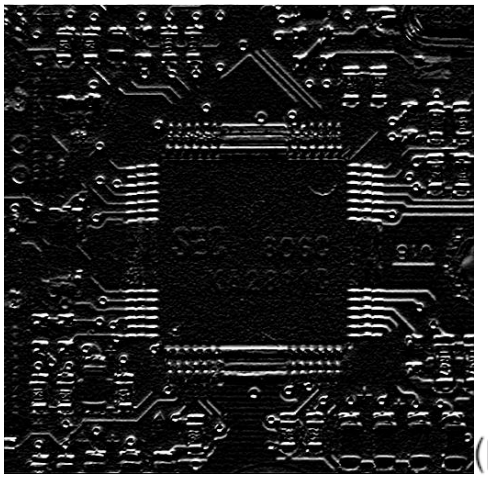
[그림 7-12] 프리윗 마스크를 이용한 에지 검출 영상

소벨 마스크

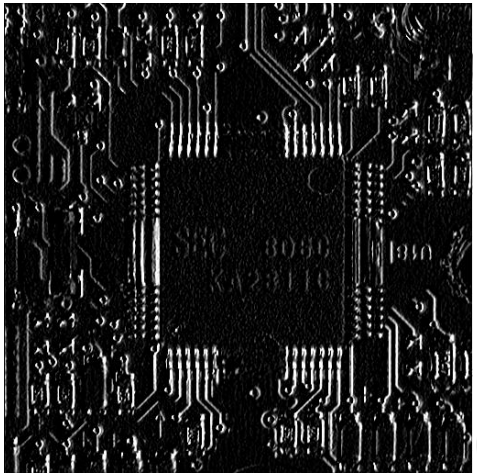
- 장점 : 돌출된 값을 비교적 잘 평균화함.
- 단점 : 대각선 방향에 놓인 에지에 더 민감하게 반응함.



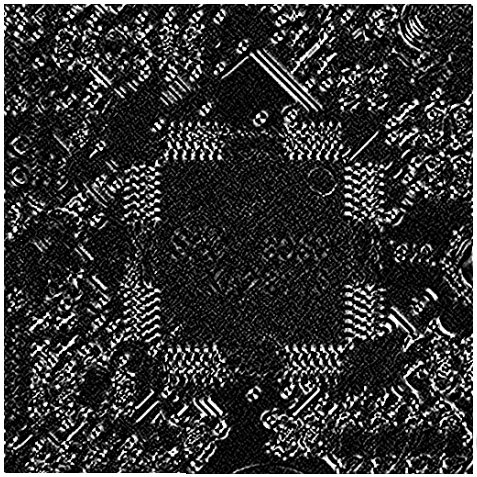
(a) 원본 영상



(b) 수평 방향 에지



(c) 수직 방향 에지



(d) 수평/수직 방향 에지

[그림 7-13] 소벨 마스크를 이용한 에지 검출 영상

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.

Section 04 2차 미분을 이용한 에지 검출

- 임의의 이산 함수 f(x)에서의 1차 미분과 2차 미분 결과

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

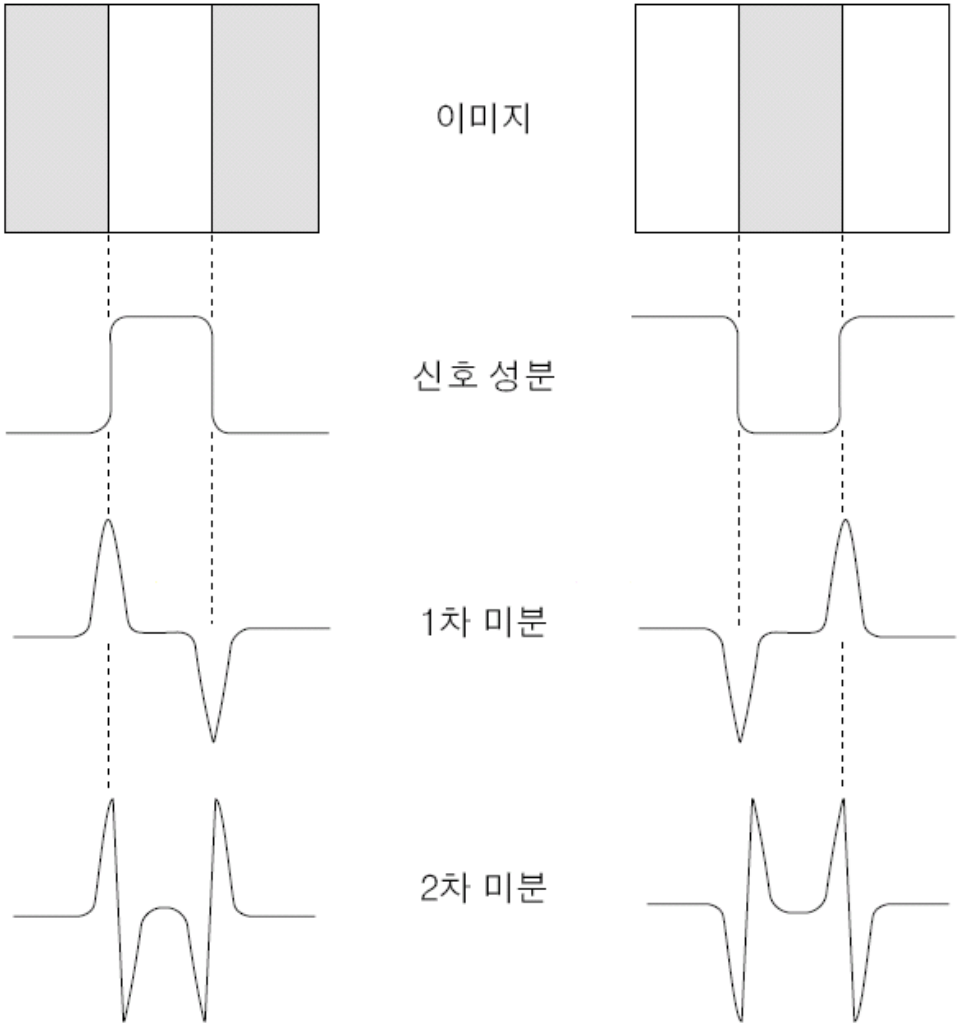
$$f''(x) = \frac{d^2f}{dx^2} = \frac{df(x+1)}{dx} - \frac{df(x)}{dx} = (f(x+1) - f(x)) - (f(x) - f(x-1))$$

$$= f(x+1) - 2f(x) + f(x-1)$$

- 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.

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

라플라시안(Laplacian) 연산자

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

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

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

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

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

라플라시안(Laplacian) 연산자(계속)

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

(a) (b) (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

[실습하기 7-3] 라플라시안 처리 프로그램

① **ResourceView 창에서 [Menu]-[IDR_IMAGETYPE] 더블클릭 → 메뉴 추가**

ID	ID_LAPLACIAN
Caption	라플라시안

② **[MFC ClassWizard] 대화상자를 이용해 추가된 메뉴에서 라플라시안 처리를 실행하는 함수 추가**

Class Name	Function Type	Function Name
View Class	void	OnLaplacian
Doc Class	void	OnLaplacian

③ **Doc 클래스에 다음 프로그램 추가**

[실습하기 7-3] 라플라시안 처리 프로그램

```
void CImageProcessingDoc::OnLaplacian()
{
   int i, j;
   double LaplacianMask[3][3] = {{0., 1., 0.}, {1., -4., 1.}, {0., 1., 0.}};

   m_Re_height = m_height;
   m_Re_width = m_width;
   m_Re_size = m_Re_height * m_Re_width;
   m_OutputImage = new unsigned char [m_Re_size];

   m_tempImage = OnMaskProcess(m_InputImage, LaplacianMask);

   // m_tempImage = OnScale(m_tempImage, m_Re_height, m_Re_width);

   for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
      for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
         if(m_tempImage[i][j] > 255.)
            m_tempImage[i][j] = 255.;
         if(m_tempImage[i][j] < 0.)
            m_tempImage[i][j] = 0.;
      }
   }

   for(i=0 ; i< m_Re_height ; i++){
      for(j=0 ; j< m_Re_width ; j++){
         m_OutputImage[i* m_Re_width + j]
            = (unsigned char)m_tempImage[i][j];
      }
   }
}
```

[실습하기 7-3] 라플라시안 처리 프로그램

④ View 클래스에 다음 프로그램 추가

```
void CImageProcessingView::OnLaplacian()
{
    CImageProcessingDoc* pDoc = GetDocument();
    ASSERT_VALID(pDoc);

    pDoc->OnLaplacian();

    Invalidate(TRUE);
}
```

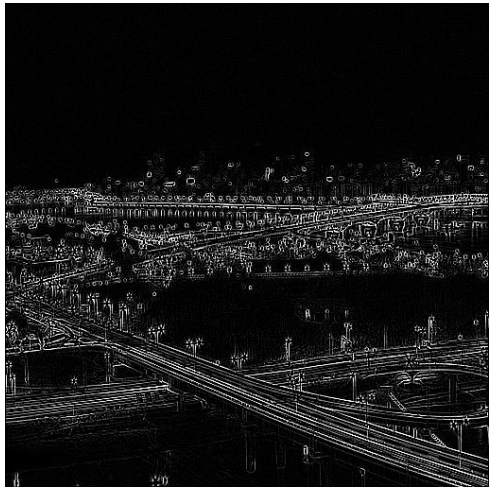
[실습하기 7-3] 라플라시안 처리 프로그램

⑤ 프로그램 실행 결과 영상

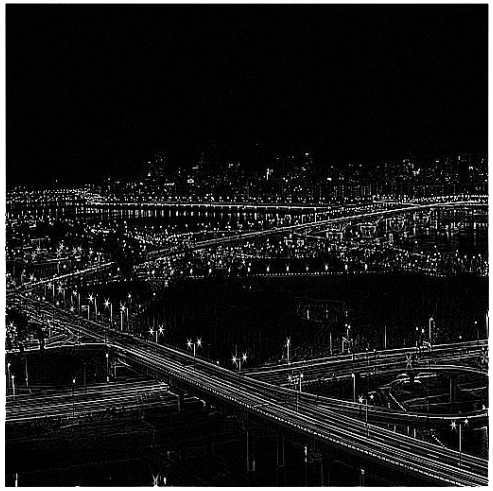
- 잡음 성분에 매우 민감하여 실제보다 더 많은 에지를 검출하므로 에지의 크기를 서로 비교하여 임계 값 이상일 때만 에지로 정의

(a) 원본 영상

(b) 마스크 1 적용



(c) 마스크 2 적용



(d) 마스크 3 적용

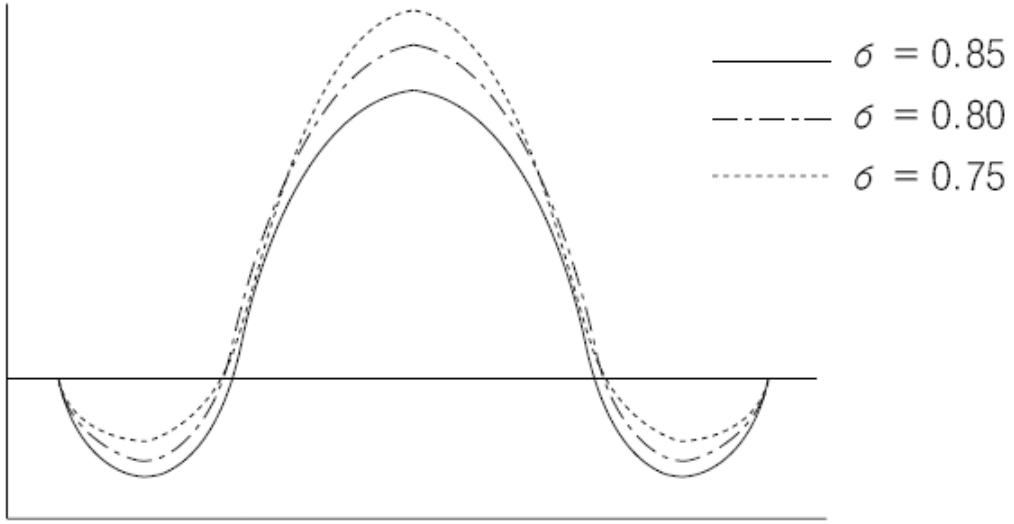
라플라시안 회선 마스크를 사용하여 검출한 에지 영상

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 공식

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

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 멕시칸 모자 필터와 회선 마스크

LoG(Laplacian of Gaussian) 연산자(계속)

- **LoG**를 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

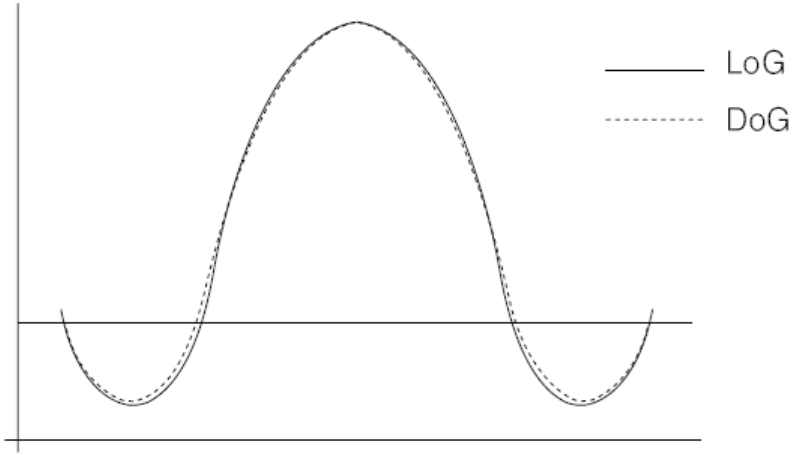
DoG(Difference of Gaussians) 연산자

- 계산 시간이 많이 소요되는 LoG 연산자의 단점을 보안하기 위해 등장
- 각 가우시안 연산에 분산 값을 서로 다르게 주어 이 차를 이용해 에지 맵을 구함
- DoG 공식

$$DoG(x,y) = \frac{e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{\frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2}$$

- 장점
  - σ1과 σ2의 값을 변화시켜 검출할 에지의 넓이를 조절할 수 있음.
  - σ1 /σ2=1.6의 값이 있는 비율이 LoG와 가장 비슷한 결과를 나타냄.

DoG(Difference of Gaussians) 연산자(계속)



[그림 7-19] LoG와 DoG 그래프 비교

0	0	−1	−1	−1	0	0
0	−2	−3	−3	−3	−2	0
−1	−3	5	5	5	−3	−1
−1	−3	5	16	5	−3	−1
−1	−3	5	5	5	−3	−1
0	−2	−3	−3	−3	−2	0
0	0	−1	−1	−1	0	0

(a) 7×7 DoG 마스크

0	0	0	−1	−1	−1	0	0	0
0	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−2	0
0	−3	−2	−1	−1	−1	−2	−3	0
−1	−3	−1	9	9	9	−1	−3	−1
−1	−3	−1	9	19	9	−1	−3	−1
−1	−3	−1	9	9	9	−1	−3	−1
0	−3	−2	−1	−1	−1	−2	−3	0
0	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−2	0
0	0	0	−1	−1	−1	0	0	0

(b) 9×9 DoG 마스크

[그림 7-20] DoG의 회선 마스크

DoG(Difference of Gaussians) 연산자(계속)

[그림 7-21] DoG로 검출된 에지 영상

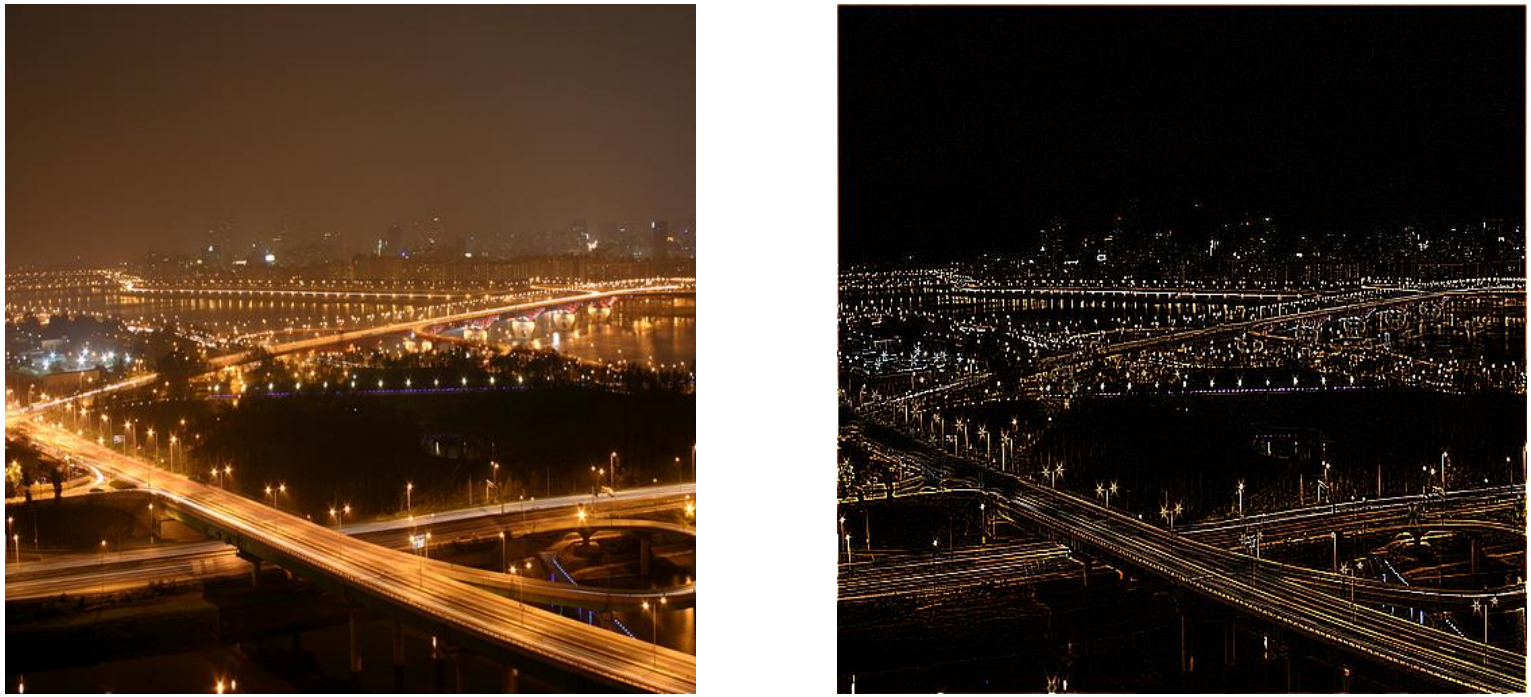
컬러 영상에서의 에지 검출

- **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**

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

- **HSI 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.**

컬러 영상에서의 에지 검출(계속)



[그림 7-22] 컬러 영상에서의 에지 검출

요약

- 에지
  - 디지털 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 지점(=경계선)
- 간단한 에지 추출 기법
  - 연산 자체가 간단하고 빠름.
  - 유사 연산자와 차 연산자, 임계 값 처리 방법이 대표적
- 유사 연산자
  - 가장 단순한 방법으로, 일련의 화소를 감산한 값에서 최대값을 결정하여 에지를 검출
- 차 연산자
  - 계산 시간이 오래 걸리는 유사 연산자의 단점 해결 위해 제시
  - 화소당 뺄셈연산이 네 개만 사용되어서 빠른 연산 수행 가능
- 임계 값을 이용한 에지 처리
  - 보통 에지 추출기와 함께 사용되어 강한 에지는 강하게, 약한 에지는 약화시키는 역할 수행
- 1차 미분 회선 마스크
  - 종류가 다양
  - 로버츠, 소벨, 프리윗 마스크가 대표적

요약

- **Compass Gradient Operator**
  - 에지를 좀더 정확하게 검출하려고 다른 방향의 마스크 여덟 개를 이용하여 에지를 검출하는 방법
- **2차 미분 에지 검출기**
  - 라플라시안, **LoG, DoG** 등이 대표적
- **라플라시안 에지 검출기**
  - 에지 검출 성능이 우수하여 다른 연산자보다 더욱 더 두드러지게 에지 추출
  - 에지의 방향은 검출하지 못하고, 잡음 성분에 매우 민감하여 실제보다 많은 에지를 검출.
- **LoG**
  - 잡음에 민감한 라플라시안의 문제를 해결하기 위해 만듦.
  - 라플라시안을 적용하기 전에 가우시안 스무딩을 수행하여 잡음을 제거한 뒤 에지를 강조하는 데 라플라시안을 이용
  - 계산 시간이 많이 소요됨.
- **LoG**
  - 계산 시간이 많이 소요되는 **LoG**의 단점 보완 위해 등장

요약

- 컬러 영상에서의 에지 검출
  - **RGB** 컬러 모델 사용시: **R, G ,B** 각각에서 에지 검출을 위한 회선을 수행 → 검출된 에지를 다시 합침.
  - **HSI** 컬러 모델 사용시: **RGB** 모델을 **HSI** 모델로 변환하여 명도값 **(I)**에만 회선을 적용 → **RGB** 모델로 변경해서 컬러 영상의 에지를 구함.

Thank you