

4. 공간영역 필터링

영상 필터링은 영상에서 특정 성분을 제거하는 작업을 의미한다. 공간적 필터링(Spatial filtering)은 영상의 픽셀 값을 그대로 이용하여 영상에서 원하는 정보만 걸러내는 영상처리 기법을 말한다.

가. 컨볼루션

선형시불변(LTI:Linear Time-invariant) 시스템에서의 신호의 입출력 관계는 컨볼루션(convolution)으로 정의된다. 영상에서 컨볼루션은 입력픽셀에 이웃한 픽셀들의 가중합이 된다. 가중치는 2차원 배열로 정의되며, 마스크(mask), 윈도우(window), 템플릿(template), 커널(kernel) 등으로 다양하게 불린다. 이 2차원 가중치 배열은(이후, 마스크) 1×1 , 3×3 , 5×5 등으로 중심이 쉽게 정의되도록 대부분 홀수 정방형으로 만들어지게 된다.

마스크의 성질에 따라 영상의 필터링 결과는 달라진다. 즉, 마스크의 특성이 저주파, 고주파 필터링 등의 필터링 특성을 결정하게 되는 것이다. 식(4-1)은 마스크를 이용한 영상의 필터링을 정의한 수식이다. 그리고 그림 4-1은 그 과정을 그림으로 표현한 것이다.

$$g[y][x] = \sum_{j=-w}^w \sum_{i=-w}^w M[j][i]f[y+j][x+i] \quad (4-1)$$

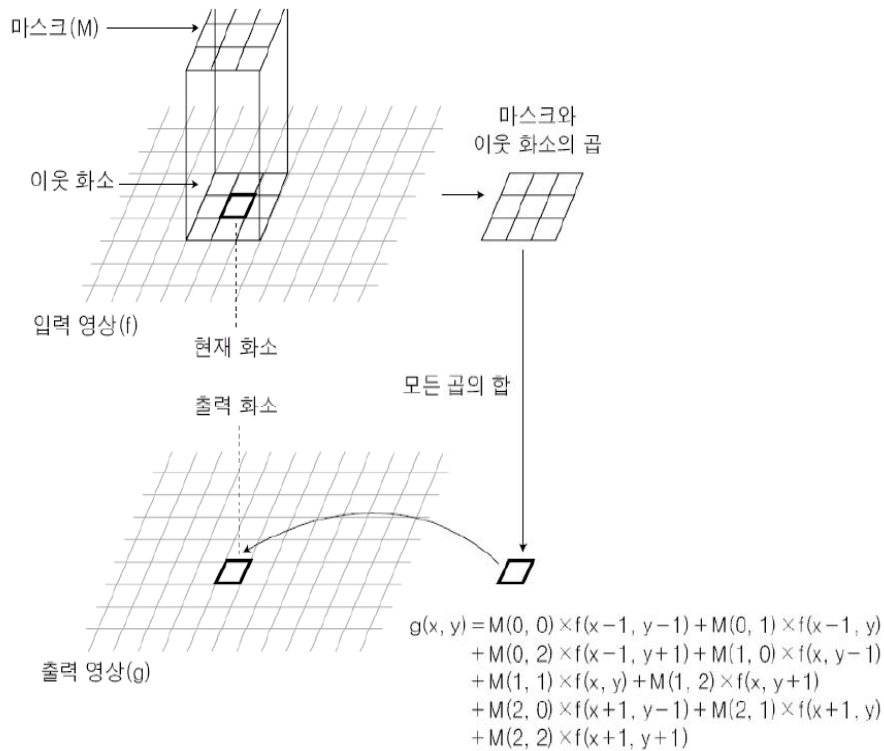


그림 4-1 영상의 공간적 필터링을 위한 2차원 컨볼루션 동작

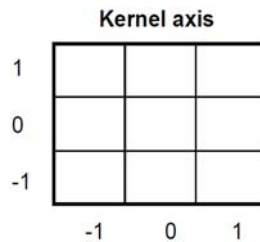
* Pseudo code for Image Filtering

Pseudocode for the convolution of an image $f(x,y)$ with a kernel $k(x,y)$
($2w+1$ columns, $2h+1$ lines) to produce a new image $g(x,y)$:

```

for y = 0 to ImageHeight do
  for x = 0 to ImageWidth do
    sum = 0
    for i = -h to h do
      for j = -w to w do
        sum = sum + k(j,i) * f(x - j, y - i)
      end for
    end for
    g(x,y) = sum
  end for
end for

```



나. 경계처리 기법

콘볼루션을 이용해 필터링을 수행 시, 마스크가 좌에서 우로, 그리고 위에서 아래로 이동하면서 필터링을 수행하게 된다. 즉, 제일 위 좌측 화소에서 시작하여 우측으로, 그리고 한 줄이 끝나면 다음 줄로 내려와서 과정을 반복하게 된다. 하지만, 영상의 경계에 해당하는 시작이나 끝부분에는 주변화소가 없어서 필터링이 불가능해진다. 이때 적용되는 기법이 경계처리 기법이다.

이러한 경계에 해당하는 최외각 픽셀의 처리방법으로 제일 간단한 것은 연산에서 제외하는 방법이다. 하지만 이 방법은 최외각 줄은 필터링이 되지 않는 문제가 발생하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 그림 5-2처럼 최외각 바깥에 가상의 픽셀이 있다고 가정하고 필터링을 수행한다.

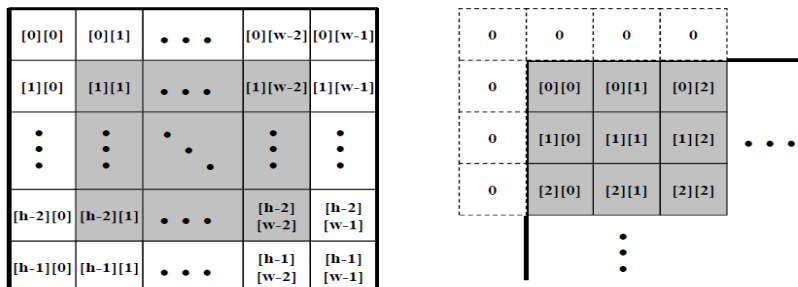


그림 4-2 최외각 경계처리 기법

또한, 필터링 수행 시 주의해야 할 점은 원본 영상의 복사본을 만들어 해당되는 픽셀값을 참조해야 한다는 점이다. 복사본을 만들지 않으면, 이전에 필터링된 결과가 주변 픽셀에 반영되어 원하는 결과를 얻지 못하게 된다.

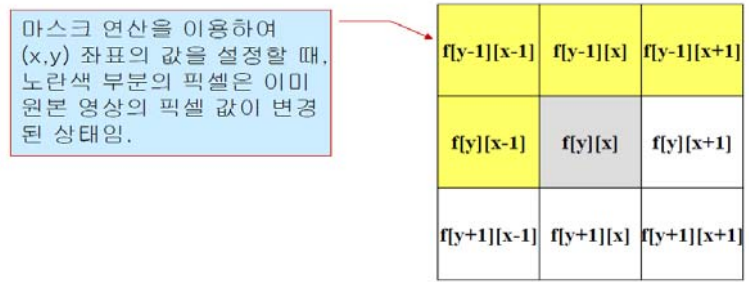


그림 4-3 필터링 연산 시 주변 픽셀값이 변경된 경우

< 실습 5-1 >

* lena영상을 사용하여 필터링을 수행하고자 한다. 원하는 출력은 원본 영상과 동일한 결과를 얻고자 한다. 아래 질문에 답하시오.

1. 출력이 원본과 동일한 결과를 얻기 위한 마스크를 만드시오.
2. 구해진 마스크를 이용해서 필터링을 수행하고 결과를 확인하시오.

다. 엠보싱 효과

엠보싱 효과는 경계선을 기분으로 영상이 볼록하게 튀어나온 느낌을 가지도록 효과를 준다. 즉, 엠보싱 효과를 주어 마치 영상을 양각한 효과가 나도록 만드는 것이다. 그림 4-4는 엠보싱 효과를 만들 수 있는 마스크의 예를 보여주고 있다.

경계는 강조하고, 주의의 값들을 사라지게 만드는 효과를 나타낸다. 마스크에 존재하는 -1 값 때문에 결과가 음의 픽셀 값이 나올 수 있다. 255의 절반 정도에 해당하는 128을 더하여 처리하기도 한다.

-1	0	0
0	0	0
0	0	1

그림 4-4 엠보싱 효과 마스크

< 실습 5-2 >

1. 아래 6×6 영상에 엠보싱 마스크를 적용하여 직접 손으로 계산하고 그 결과를 나타내시오. 계산되어 나온 결과에 128을 더해서 결과를 나타내시오

10	10	11	11	10	10
11	12	13	10	11	250
11	10	11	11	255	250
12	11	10	251	255	250
11	10	250	250	255	250
10	251	250	250	255	250

2. lena 영상을 이용하여 엠보싱 효과를 적용하시오. 필터링 뒤 128을 더하여 결과를 출력하시오.
3. 2번에서 작성된 프로그램을 경계문제를 고려하여 엠보싱 효과를 내도록 수정하시오.

라. 블러링(Blurring)

양상을 흐리게 만드는 기법을 블러링(Blurring) 또는 스무딩(Smoothing)이라고 한다. 신호 처리에서는 저역 통과 필터링(Low-pass filtering)이라고 한다. 영상의 저주파 영역은 일반적으로 밝기변화가 없는 영역이다. 이와 반대로 영상에서 밝기 변화가 급격히 생기는 부분은 영상에 포함된 객체의 경계에 해당하게 된다. 즉, 영상에 존재하는 경계영역을 사라지게 또는 희미하게 하여 전체적으로 영상이 흐리게 보이도록 만드는 기법이다. 그림 4-5는 주파수에 따른 신호의 변화를 보여주고 있다.

블러링 효과를 내는 필터링 방법에는 평균 값(Mean), 가중치 평균 값(Weighted Mean), 가우시안(Gaussian) 필터링 등의 방법이 있다.

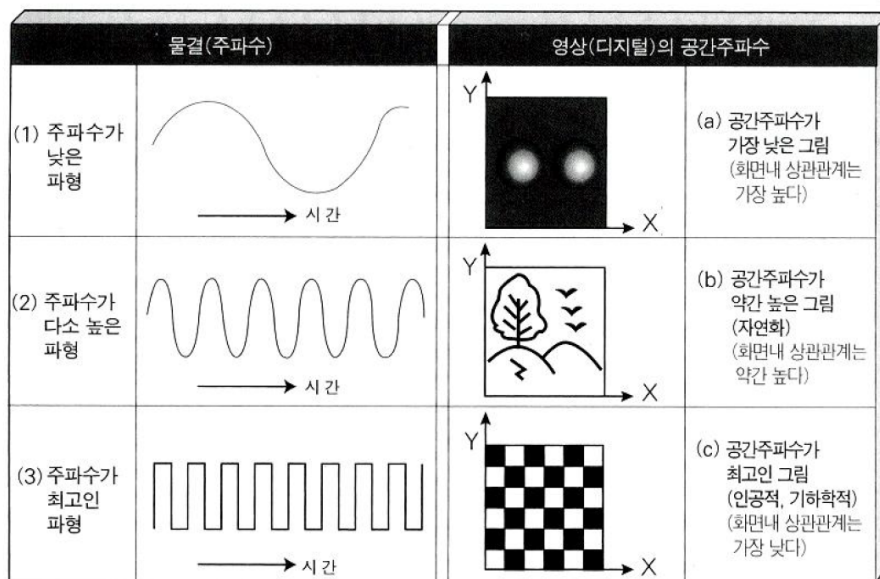


그림 4-5 주파수에 따른 신호의 변화

1) Mean Filter(평균 값 필터)

평균 값 필터링은 영상의 특정 좌표 값을 주변 픽셀들의 그레이스케일 값들의 산술 평균 값으로 설정하는 필터링 방법이다. 사용되는 마스크의 모든 값은 양수이며 전체 합은 1이 된다. 밝기 변화가 거의 없는 영상에서는 효과가 잘 나타나지 않지만, 밝기가 급격히 변화하는 영상에 적용하면, 고주파 성분을 제거하여 영상을 흐리게 하는 효과가 있다.

그림 4-6은 평균 값 필터링을 위해 사용되는 3x3 및 5x5 마스크의 예를 보여주고 있다. 위에서 언급하였듯이, 마스크의 값들이 전부 동일하며, 마스크의 합이 1이 된다. 사용되는 마스크의 크기가 커질수록 영상이 흐려지게 되는 정도가 심해지게 된다. 단, 마스크의 크기가 커질수록 계산량도 많아지게 되어 처리속도가 많이 걸리게 된다.

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{25} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

그림 4-6 평균 값 필터링에 사용되는 마스크의 예

마. 가중 평균 값 필터(Weighted mean filter)

가중 평균 값 필터는 평균 값 필터의 일종으로, 필터 마스크의 가운데 위치한 픽셀에 가중치를 더 주는 방법이다. 가운데 중심이 되는 픽셀의 가중치를 높게 하여 영상을 흐리게 하면서도 원본 영상의 정보를 어느 정도 보존할 수 있는 방법이다. 그림 4-7은 가중 평균 값 필터링을 위해 사용되는 3x3 및 5x5 마스크의 예를 보여주고 있다.

$$\frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{256} \times \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

그림 4-7 가중 평균 값 필터링에 사용되는 마스크의 예

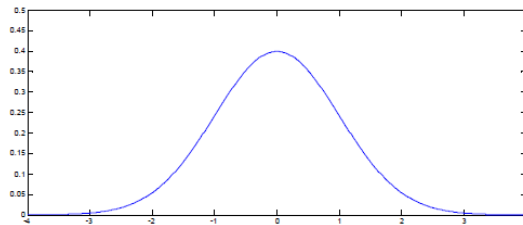
바. 가우시안(Gaussian) 필터

가중 평균 값 필터는 마스크의 중심은 값이 크고 주변으로 갈수록 그 값이 감소하는 모양이다. 이러한 형태의 가중치를 주는 방식의 가장 일반적이고 자연스러운 형태는 가우시안이다. 가우시안은 표준편차 값인 σ 에 따라 모양이 변하게 된다. σ 값이 커지면, 가우시안의 높이는 낮지만 폭이 넓어지게 된다. σ 의 값이 커지게 되면, 블러링 되는 정도도 커지게 된다.

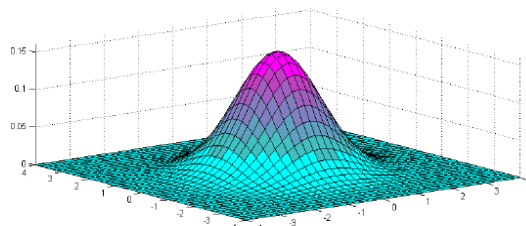
식(4-2)와 (4-3)은 각각 1차원 및 2차원 가우시안 식을 나타내고 있고, 그림 4-8은 식에 해당하는 1차원 및 2차원 가우시안의 모양을 보여주고 있다. 그리고 그림 4-9는 $\sigma=1$ 일 때, 9x9 가우시안 필터의 값을 보여주고 있다. 마스크의 값이 가장 큰 중심에서 점차 감소하는 모양을 잘 보여주고 있다.

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (4-2)$$

$$G_{\sigma}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (4-3)$$



(a) 1차원 가우시안



(b) 2차원 가우시안

그림 4-8 1차원 및 2차원 가우시안의 모양

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0018	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000
0.0000	0.0002	0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029	0.0002	0.0000
0.0000	0.0011	0.0131	0.0585	0.0965	0.0585	0.0131	0.0011	0.0000
0.0001	0.0018	0.0215	0.0965	0.1592	0.0965	0.0215	0.0018	0.0001
0.0000	0.0011	0.0131	0.0585	0.0965	0.0585	0.0131	0.0011	0.0000
0.0000	0.0002	0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029	0.0002	0.0000
0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0018	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그림 4-8 $\sigma=1$ 일 때, 9x9 가우시안 필터의 값

가우시안 필터는 2가지 방법으로 만들 수 있다. 우선, 식 (4-3)을 이용하여 바로 만들 수 있다. 또한, 식 (4-2)의 1차원 가우시안을 만든 다음, 1차원 가우시안 두 개를 곱해서 2차원으로 만들 수 있다. 식(4-4)는 1차원 가우시안을 곱해서 2차원 가우시안을 만드는 수식을 보여주고 있다. 그리고 그림 4-9는 그 과정을 그림으로 나타내고 있다.

$$G_{\sigma}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (4-4)$$

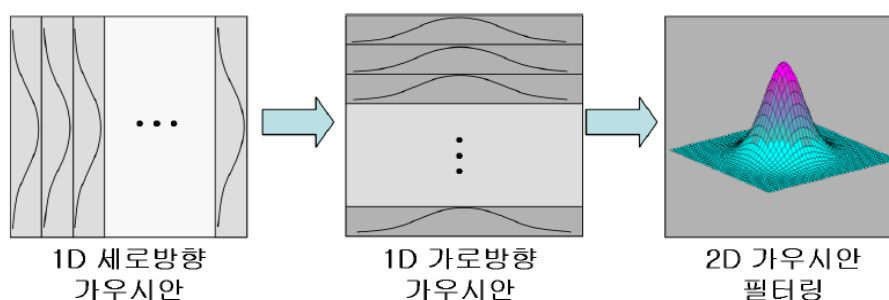


그림 4-9 1차원 가우시안을 곱해서 2차원 가우시안 만들기

< 실습 5-3 >

1. lena 영상을 이용하여 평균 값 필터링을 수행하시오. 마스크는 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11을 사용하여 각각의 결과를 한 화면에 출력하고, 원본 이미지와 비교하시오.
2. lena 영상을 이용하여 가중 평균 값 필터링을 수행하시오. 마스크는 그림 4-7의 3x3과 5x5 마스크를 사용하여 각각의 결과를 한 화면에 출력하고, 원본 이미지와 비교하시오.
3. 가우시안 필터링에서 아래의 질문에 대한 각각의 프로그램을 작성하고 그 결과를 출력하시오.
 - (a) 1차원 가우시안 필터를 만드시오. 크기는 1x9가 되게 하고, 1차원 가우시안의 그림을 화면에 출력하시오.
 - (b) 1차원 가우시안을 이용하여, 2차원 가우시안 필터를 만드시오. 크기는 9x9가 되게 하고, 그 값을 출력하시오. 결과는 그림 4-8의 값과 같아야 한다. 그리고 2차원 가우시안의 그림을 화면에 출력하시오.
 - (c) 1차원 가우시안을 이용하지 않고, 2차원 가우시안 필터를 만드시오. 크기는 9x9가 되게 하고, 그 값을 출력하시오. 결과는 그림 4-8의 값과 같아야 한다. 그리고 2차원 가우시안의 그림을 화면에 출력하시오.
 - (d) $\sigma=1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0$ 일 때의 9x9 가우시안 마스크를 만들고, 만들어진 마스크를 이용하여 필터링된 결과를 화면에 출력하시오.