

컴퓨터 비전과 딥러닝

Chapter 03

영상 처리

차례

3.1 디지털 영상 기초

3.2 이진 영상

3.3 점 연산

3.4 영역 연산

3.5 기하 연산

3.6 OpenCV의 계산 효율

Preview

■ 영상 처리

- 특정 목적을 달성하기 위해 원래 영상을 개선된 새로운 영상으로 변환하는 작업



(a) 안개 낀 도로 영상



(b) 히스토그램 평활화로 개선한 영상

그림 3-1 영상 처리로 화질 개선

■ 화질 개선 자체가 목적인 경우

- 예) 도주 차량의 번호판 식별, 병변 위치 찾기 등

■ 컴퓨터 비전은 전처리로 활용하여 인식 성능을 향상

3.1 디지털 영상 기초

■ 현대는 인터넷에 수많은 영상이 쌓임

- 컴퓨터 비전 알고리즘을 개발하는데 중요한 실험 데이터로 활용됨

3.1.1 영상 획득과 표현

■ 핀홀 카메라 모델

- 영상 획득 과정은 매우 복잡
- 핀홀 카메라 모델은 핵심을 설명

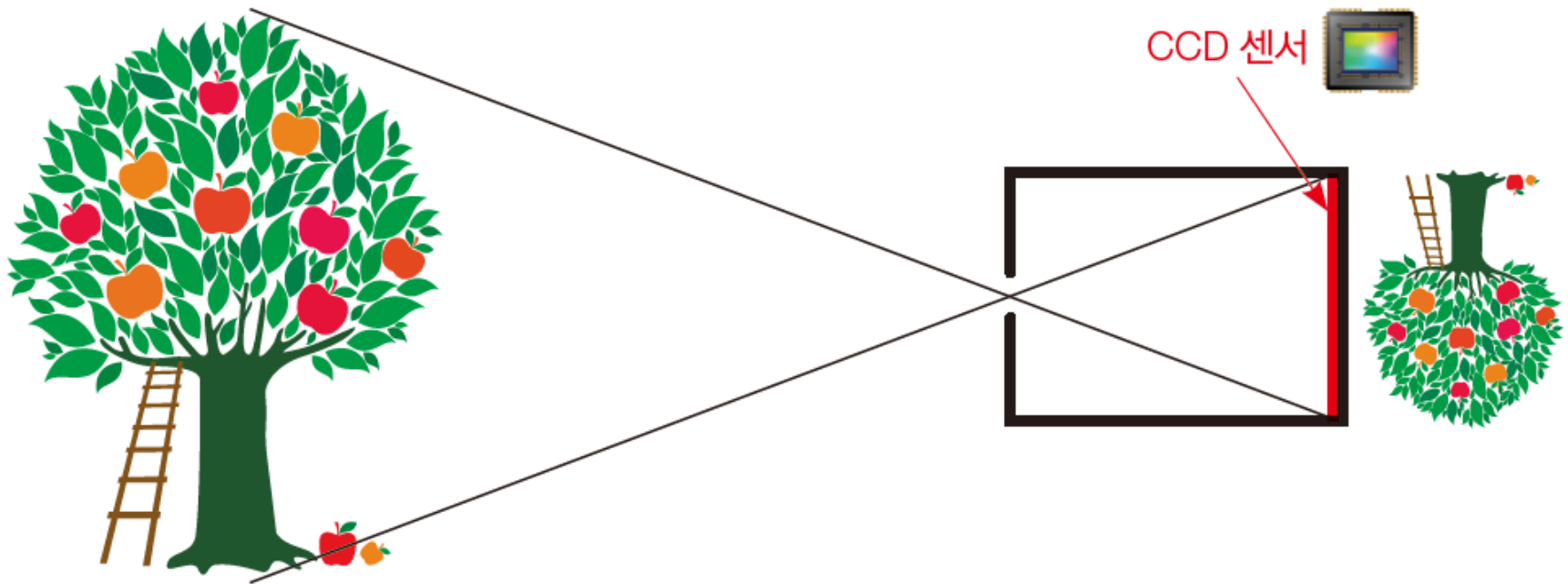
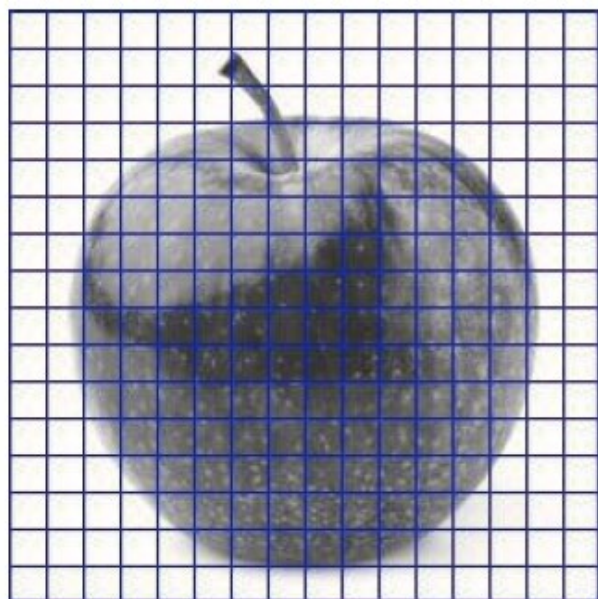


그림 3-2 핀홀 카메라 모델과 CCD 센서

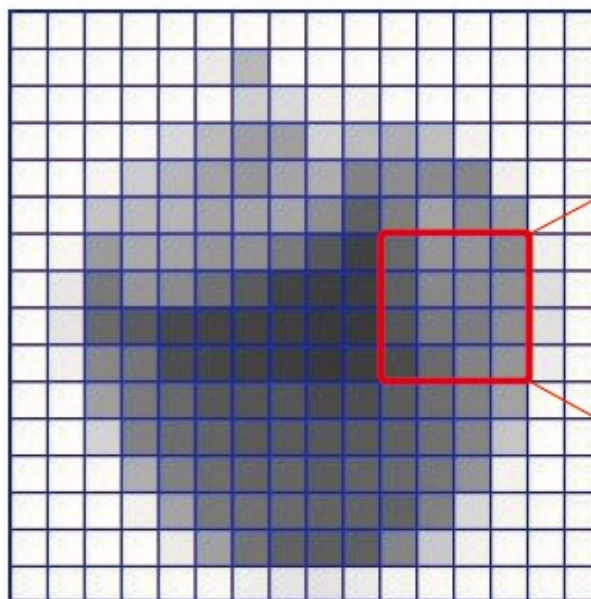
3.1.1 영상 획득과 표현

■ 디지털 변환

- $M \times N$ 영상으로 샘플링_{sampling}
- L 단계로 양자화_{quantization}



(a) 샘플링



(b) 양자화

105	149	149	141
97	137	139	146
86	123	126	142
76	106	132	150

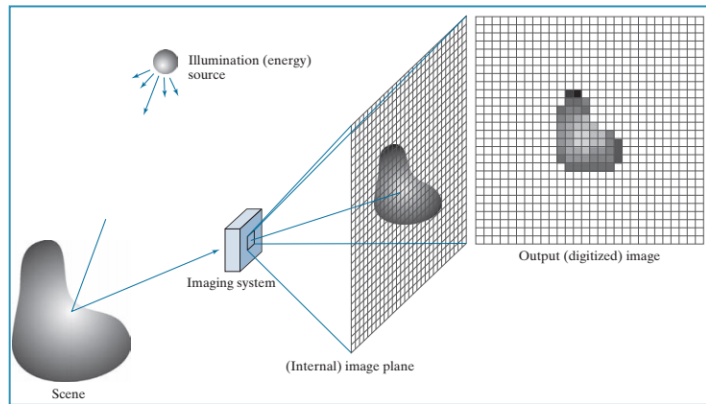
그림 3-3 피사체가 반사하는 빛 신호를 샘플링과 양자화를 통해 디지털 영상으로 변환

TIP 엄밀히 말해 해상도는 물리적 단위 공간에서 식별 가능한 점의 개수를 뜻한다. 예를 들어 인치 당 점의 개수를 뜻하는 dpi(dot per inch)는 해상도다. 이 책에서는 화소의 개수를 해상도라고 부른다.

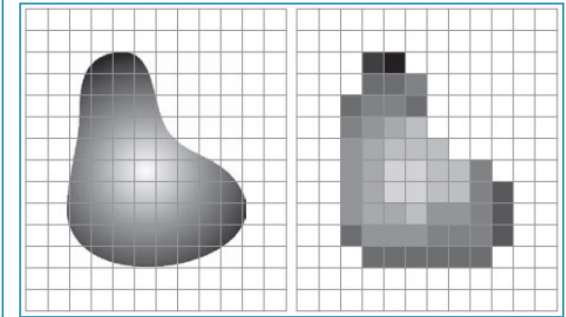
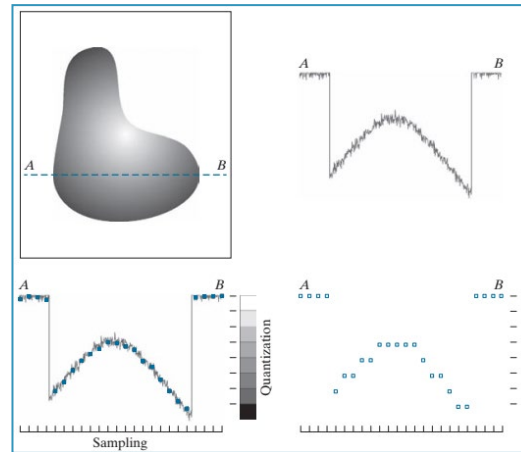
Digital Image의 정의

■ 정의

- An image may be defined as a two-dimensional function, $f(x, y)$, where x and y are *spatial* (plane) coordinates, and the amplitude of f at any pair of coordinates (x, y) is called the *intensity* or *gray level* of the image at that point. When x , y , and the intensity values of f are all finite, discrete quantities, we call the image a *digital image*.

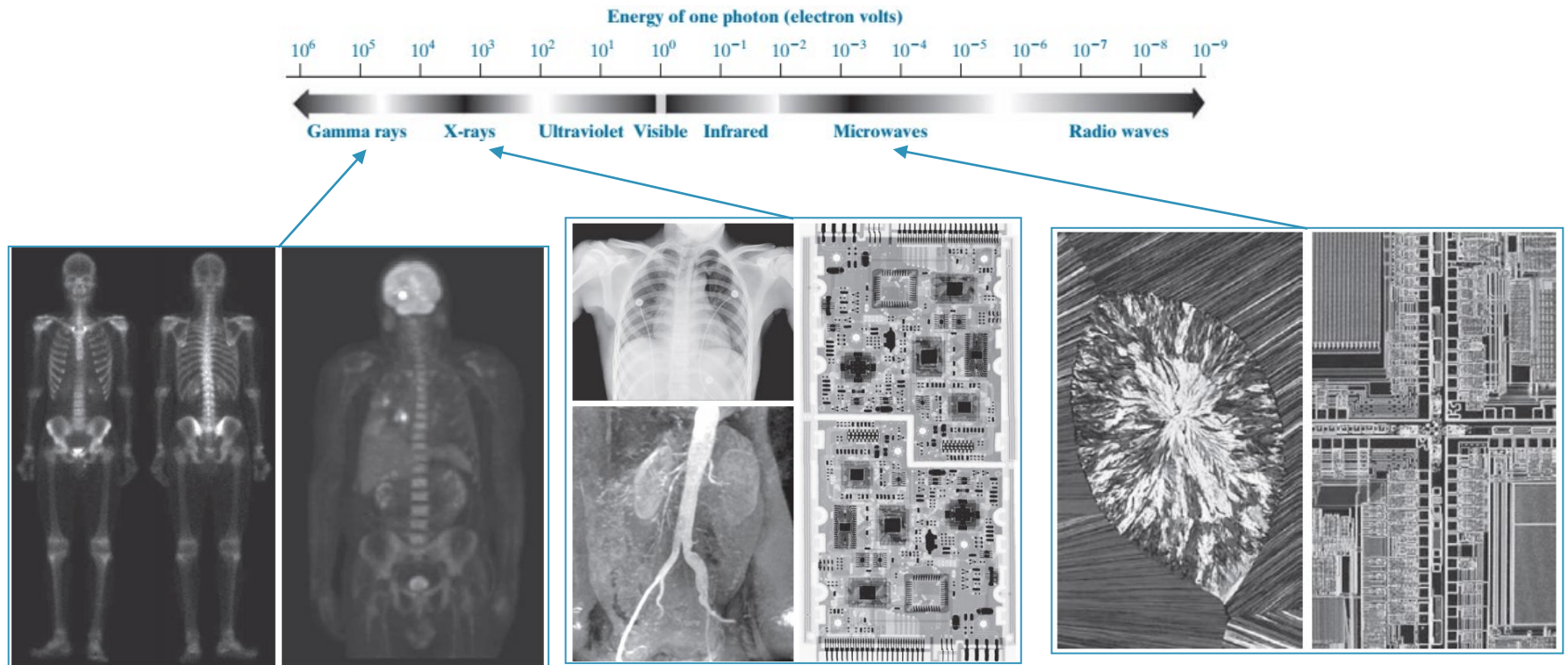


영상
획득



샘플링(Sampling),
양자화(Quantization)

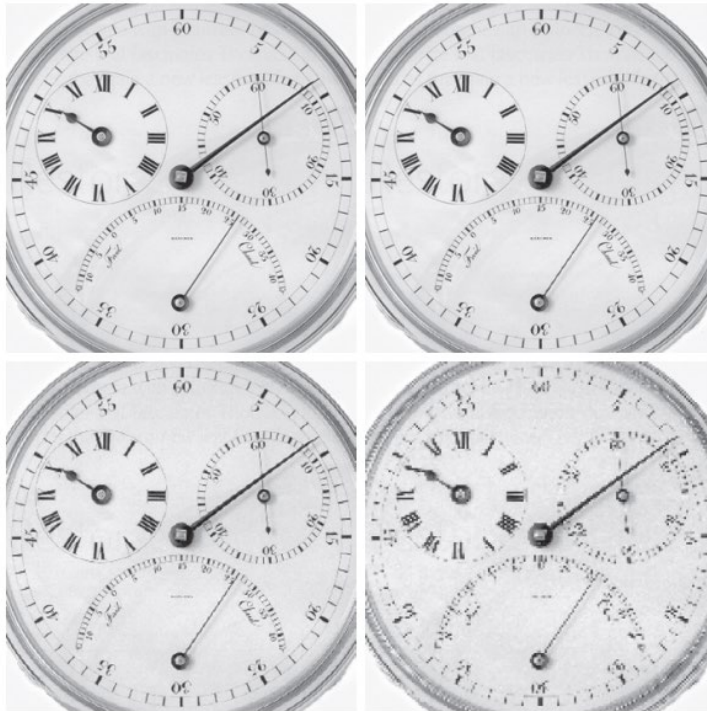
다양한 디지털 이미지 예



공간적 해상도

a b
c d

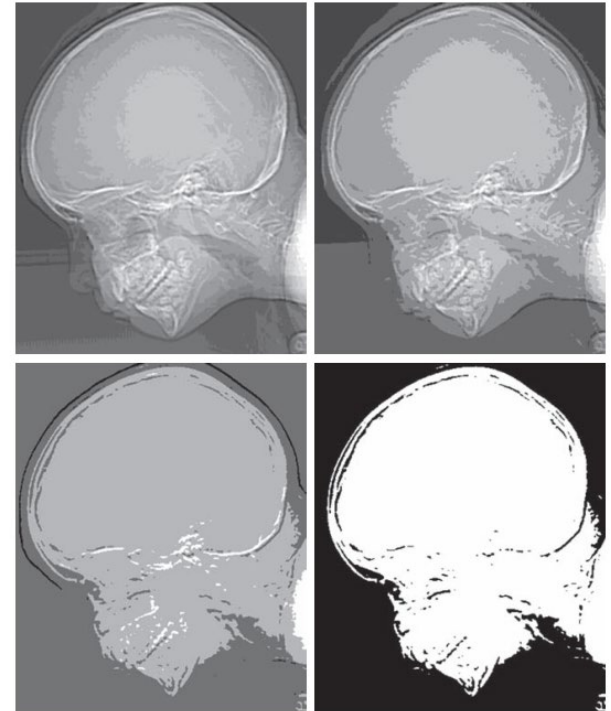
FIGURE 2.23
Effects of reducing spatial resolution. The images shown are at:
(a) 930 dpi,
(b) 300 dpi,
(c) 150 dpi, and
(d) 72 dpi.



픽셀 레벨(level)

e f
g h

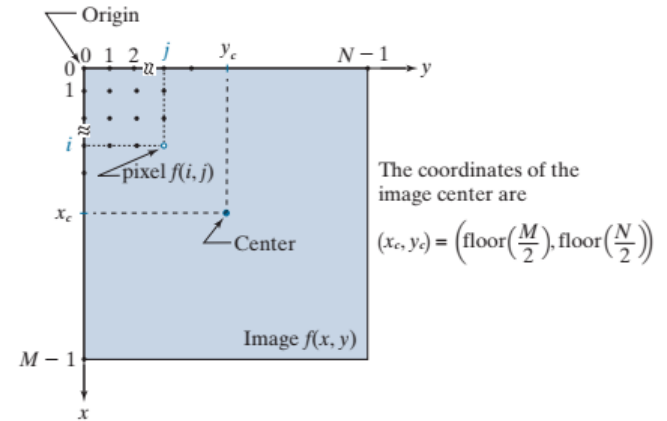
FIGURE 2.24
(Continued)
(e)-(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 intensity levels.



표기/표현(수학적관점)

- Numerical array or matrix form

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$



- Elementwise operation vs. matrix operation

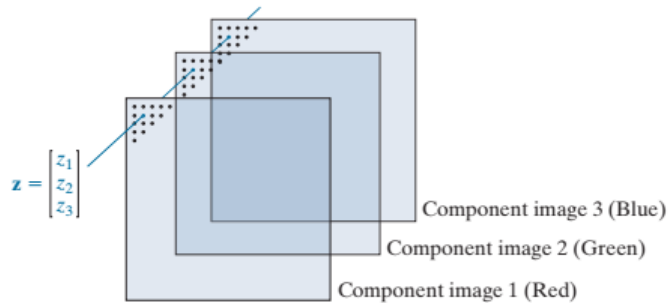
$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} & a_{12}b_{12} \\ a_{21}b_{21} & a_{22}b_{22} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} \end{bmatrix}$$

표기/표현(수학적관점)

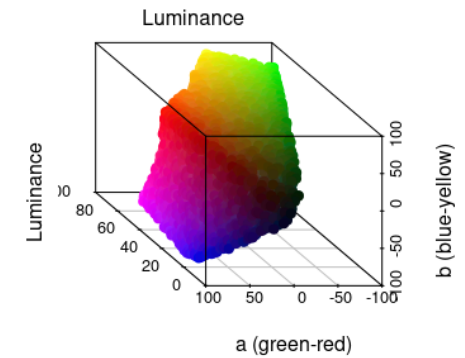
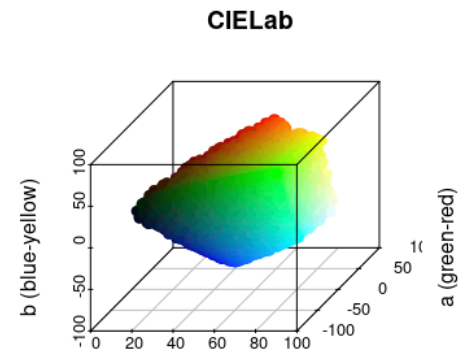
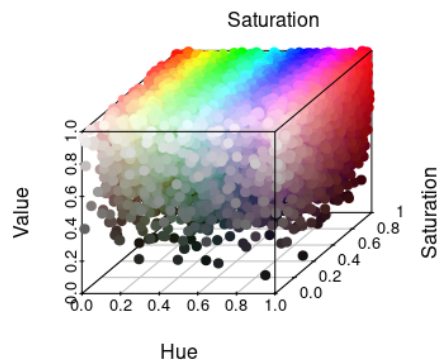
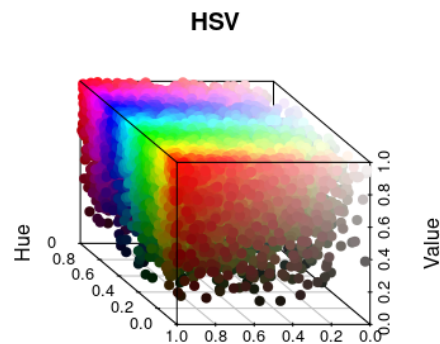
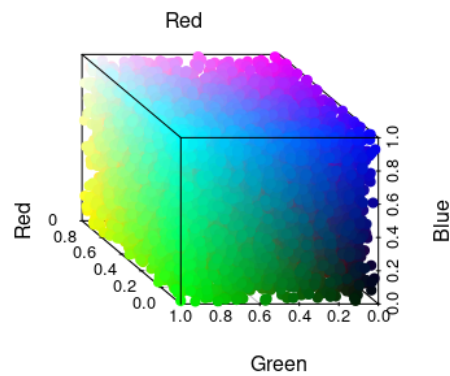
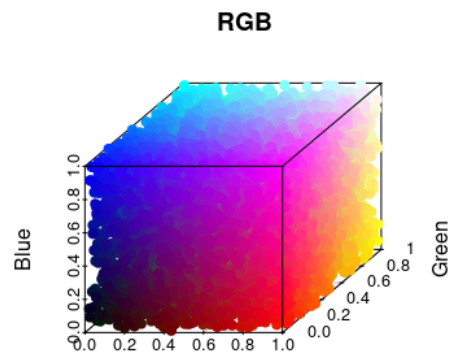
■)

- Vector (컬러 이미지)



컬러 공간

- RGB, HSV, Lab 등



3.1.1 영상 획득과 표현

■ 영상 좌표계

- 왼쪽 위 구석이 원점
- (y,x) 표기

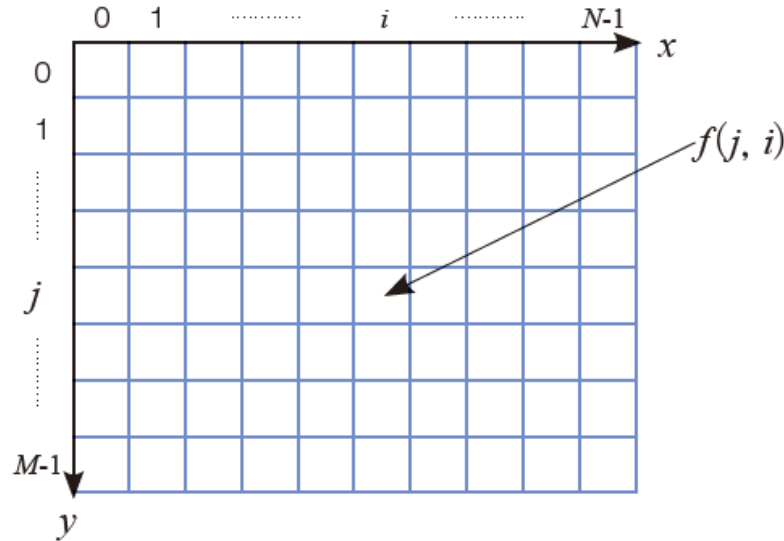


그림 3-4 디지털 영상의 좌표계

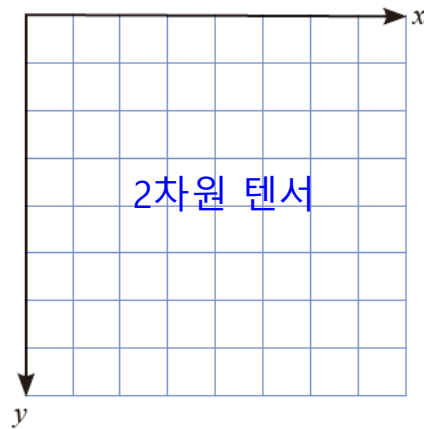
- 함수에 따라 (x,y) 표기 사용하니 주의할 필요. 예) cv.line 함수

```
cv.line(img, (10,20), (100,20), ...)
```

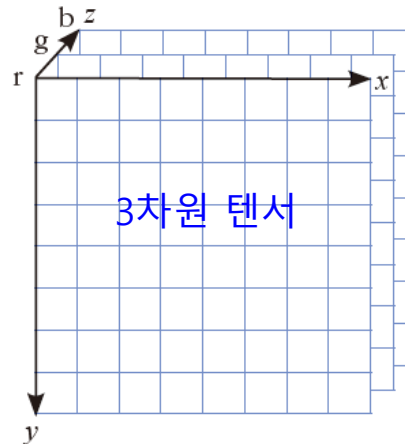
■ OpenCV는 numpy.ndarray로 영상 표현

- numpy.ndarray가 지원하는 다양한 함수를 사용할 수 있다는 큰 장점
- 예) min, max, argmin, argmax, mean, sort, reshape, transpose,

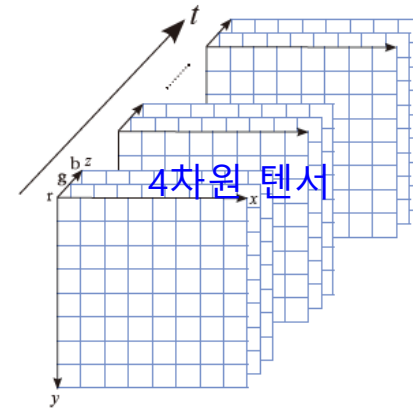
3.1.2 다양한 종류의 영상



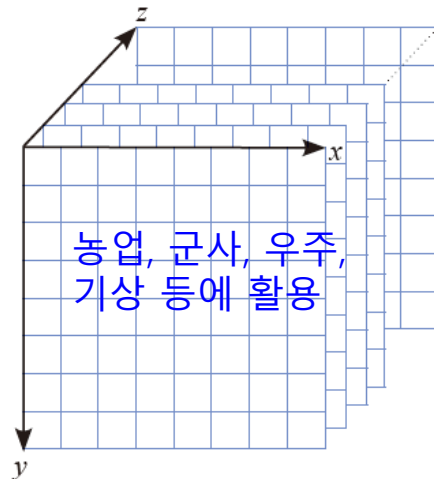
(a) 명암 영상



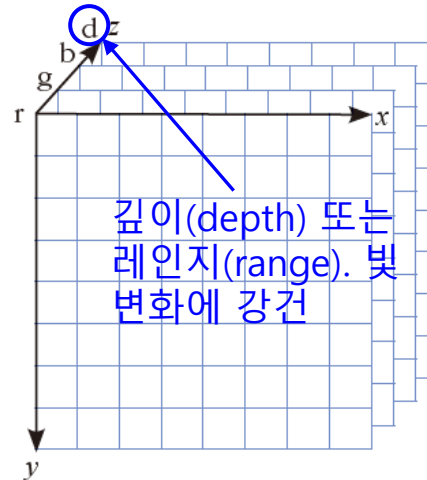
(b) 컬러 영상



(c) 컬러 동영상



(d) 다분광/초분광/MR/CT 영상



(e) RGB-D 영상

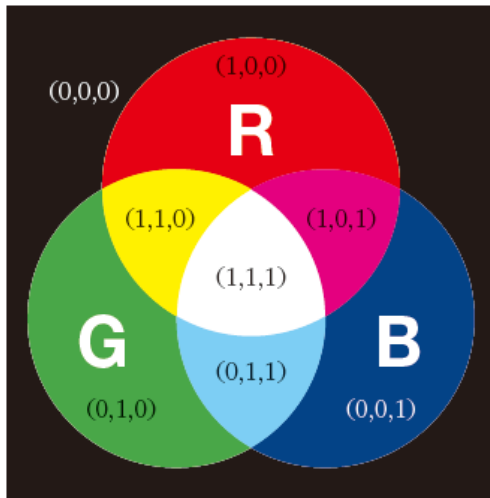


(f) 점 구름 영상

그림 3-5 다양한 형태의 디지털 영상

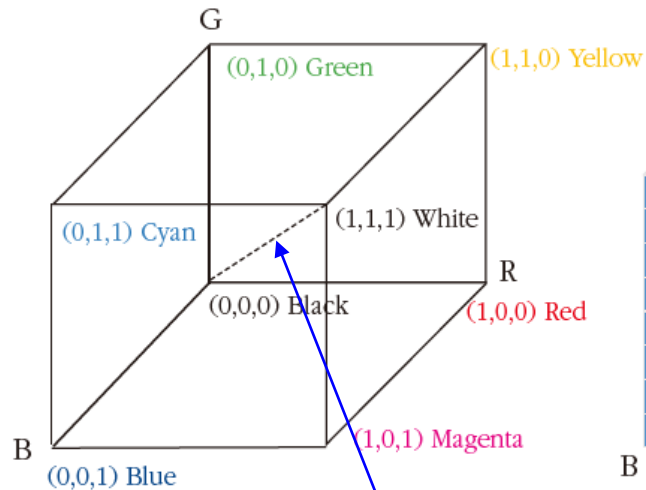
3.1.3 컬러 모델

■ RGB 컬러 모델



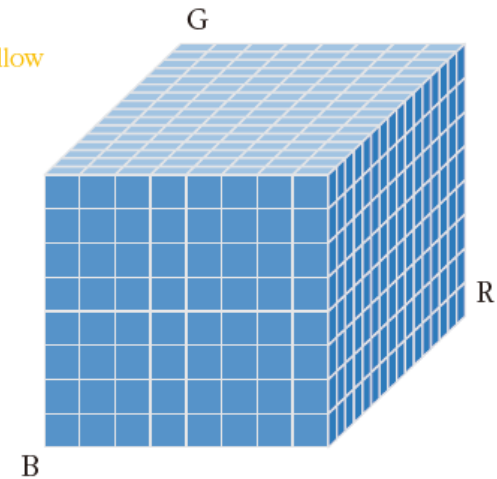
(a) RGB 삼원색의 혼합

그림 3-6 RGB 컬러 공간



(b) RGB 큐브

명암(gray scale)



(c) 양자화된 RGB 큐브

3.1.3 컬러 모델

■ HSV 컬러 모델

- 빛의 밝기가 V 요소에 집중
- RGB보다 빛 변환에 강건

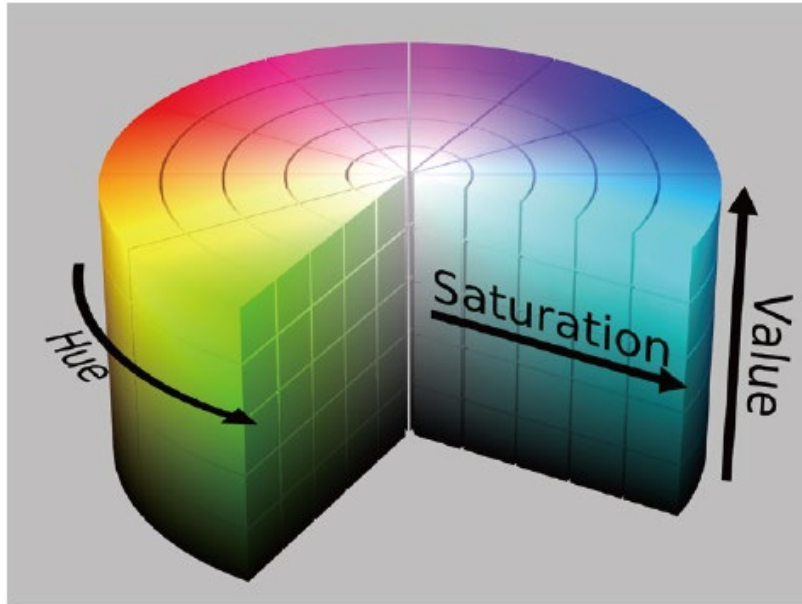
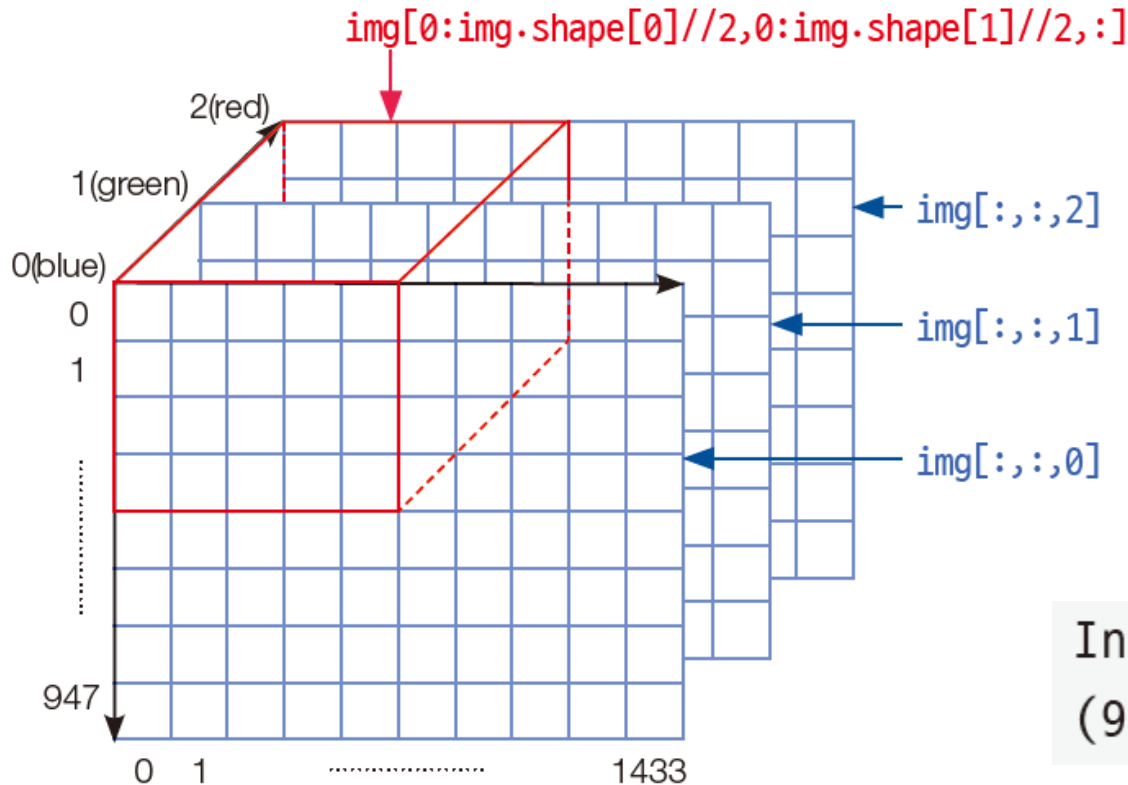


그림 3-7 HSV 컬러 모델

3.1.4 RGB 채널별로 디스플레이

■ numpy의 슬라이싱 기능을 이용하여 RGB 채널별로 디스플레이



```
In [0]: img.shape  
(948, 1434, 3)
```

그림 3-8 numpy.ndarray의 슬라이싱을 이용한 영상 일부분 자르기([프로그램 3-1]의 10행)

3.1.4 프로그래밍 실습: RGB 채널별로 디스플레이

프로그램 3-1

RGB 컬러 영상을 채널별로 구분해 디스플레이하기

```
01 import cv2 as cv
02 import sys
03
04 img=cv.imread('soccer.jpg')
05
06 if img is None:
07     sys.exit('파일을 찾을 수 없습니다.')
08
09 cv.imshow('original_RGB',img)
10 cv.imshow('Upper left half',img[0:img.shape[0]//2,0:img.shape[1]//2,:])
11 cv.imshow('Center half',img[img.shape[0]//4:3*img.shape[0]//4,img.
    shape[1]//4:3*img.shape[1]//4,:])
12
13 cv.imshow('R channel',img[:, :,2])
14 cv.imshow('G channel',img[:, :,1])
15 cv.imshow('B channel',img[:, :,0])
16
17 cv.waitKey()
18 cv.destroyAllWindows()
```

3.1.4 프로그래밍 실습: RGB 채널별로 디스플레이



3.2 이진 영상

■ 이진 영상(Binary Image)

- 화소가 0(흑) 또는 1(백)인 영상
- 1bit로 저장할 수 있는데, 편의상 1byte로 사용하는 경우 많음
- 에지 검출 결과를 표시하거나 물체와 배경을 구분하여 표시하는 응용 등에 사용
 - edge 검출 후, edge만 1로 표현
 - object 검출 후, object는 1, background는 0으로 표현

3.2.1 이진화

■ 알고리즘

- 임계값 T 보다 큰 화소는 1, 그렇지 않은 화소는 0으로 바꿈. 임계값 결정이 중요

$$b(j,i) = \begin{cases} 1, f(j,i) \geq T \\ 0, f(j,i) < T \end{cases} \quad (3.1)$$

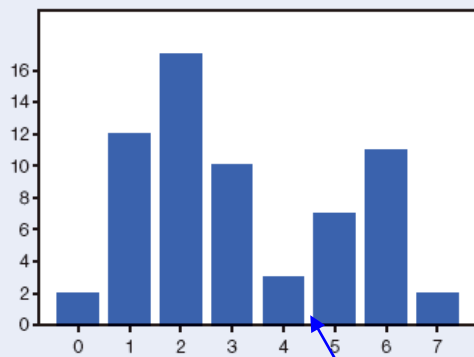
- 히스토그램에서 계곡 부근으로 결정하는 방법([예시 3-1]), ≥ 4 값은 1로 처리

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

(a) 입력 영상

$h =$

2	12	17	10	3	7	11	2
---	----	----	----	---	---	----	---



(b) 히스토그램

계곡

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

(c) 이진 영상

그림 3-9 히스토그램을 이용한 이진화

3.2.1 이진화

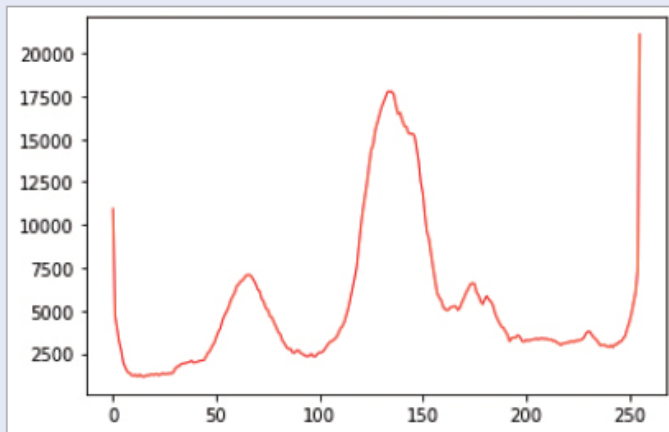
■ 알고리즘 (계속.....)

- 실제 영상에서는 계곡이 아주 많이 나타나서 구현이 쉽지 않음

프로그램 3-2

실제 영상에서 히스토그램 구하기

```
01 import cv2 as cv
02 import matplotlib.pyplot as plt
03
04 img=cv.imread('soccer.jpg')
05 h=cv.calcHist([img],[2],None,[256],[0,256]) # 2번 채널인 R 채널에서 히스토그램 구함
06 plt.plot(h,color='r',linewidth=1)
```



3.2.2 오츠크(Otsu) 알고리즘

■ 오츠크 알고리즘

- 이진화를 최적화 문제로 바라봄. 최적값 \hat{t} 을 임계값 T 로 이용

$$\hat{t} = \operatorname{argmin}_{t \in \{0,1,2,\dots,L-1\}} J(t) \quad (3.2)$$

- 목적 함수 $J(t)$ 는 임계값 t 의 좋은 정도를 측정함(작을수록 좋음)
 - t 로 이진화했을 때 0이 되는 화소들의 분산($v_0(t)$)과 1이 되는 화소들의 분산($v_1(t)$)의 가중치($n_0(t)$ 와 $n_1(t)$) 합을 J 로 사용

$$J(t) = n_0(t)v_0(t) + n_1(t)v_1(t) \quad (3.3)$$

3.2.2 오츠크 알고리즘

■ 프로그래밍 실습

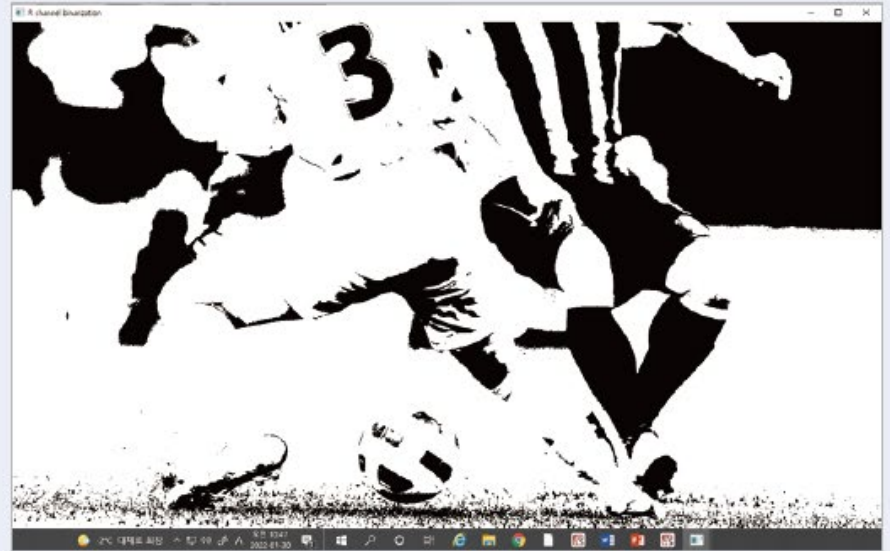
프로그램 3-3

오츠크 알고리즘으로 이진화하기

```
01  import cv2 as cv
02  import sys
03
04  img=cv.imread('soccer.jpg')
05
06  t,bin_img=cv.threshold(img[:,:,:2],0,255,cv.THRESH_BINARY+cv.THRESH_OTSU)
07  print('오츠크 알고리즘이 찾은 최적 임계값=',t) ①
08
09  cv.imshow('R channel',img[:,:,:2])                # R 채널 영상
10  cv.imshow('R channel binarization',bin_img)        # R 채널 이진화 영상
11
12  cv.waitKey()
13  cv.destroyAllWindows()
```

3.2.2 오츠크 알고리즘

오츠크 알고리즘이 찾은 최적 임계값= 113.0 ①



3.2.2 오췌 알고리즘

■ 최적화 문제를 푸는 알고리즘

- 오췌는 최적화를 구현하는데 낱낱 탐색_{exhaustive search} 알고리즘 사용
 - 매개변수 t 가 해공간을 구성하는데, 해공간이 작아 낱낱 탐색 가능
 - L 이 256이라면 해공간은 $\{0,1,2,3,\dots,255\}$
- 컴퓨터 비전은 문제를 최적화로 푸는 경우가 많음. 해공간이 커서 낱낱 탐색 불가능하여 부최적해_{sub-optimal solution}를 찾는 효율적인 알고리즘 사용
 - 스네이크 (물체 외곽선을 찾는 알고리즘. 4.5.1절)는 탐욕 알고리즘 사용
 - 역전파 알고리즘(기계 학습을 위해 미분하는 알고리즘. 7.6절)은 미분 사용
 - “역전파(Back propagation)”란 오차(에러)가 본래 진행방향과 반대방향으로 전파 된다 하여 붙여진 이름이다

3.2.3 연결 요소

■ 4-연결성과 8-연결성

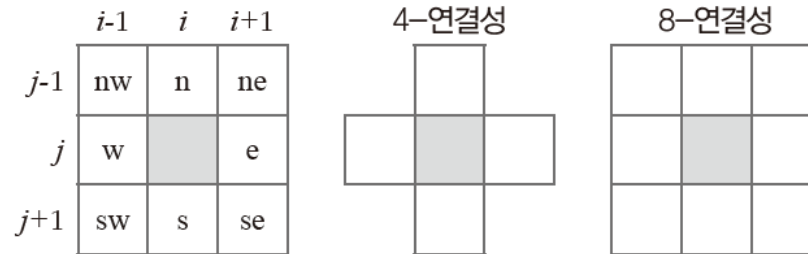


그림 3-10 화소의 연결성

■ 연결 요소

[예시 3-2] 연결 요소

[그림 3-11]에서 (a)는 입력 이진 영상이고, (b)와 (c)는 각각 4-연결성과 8-연결성으로 찾은 연결 요소다. 연결 요소는 고유한 정수 번호로 구분한다.

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

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

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

(a) 입력 이진 영상

(b) 4-연결성으로 찾은 연결 요소

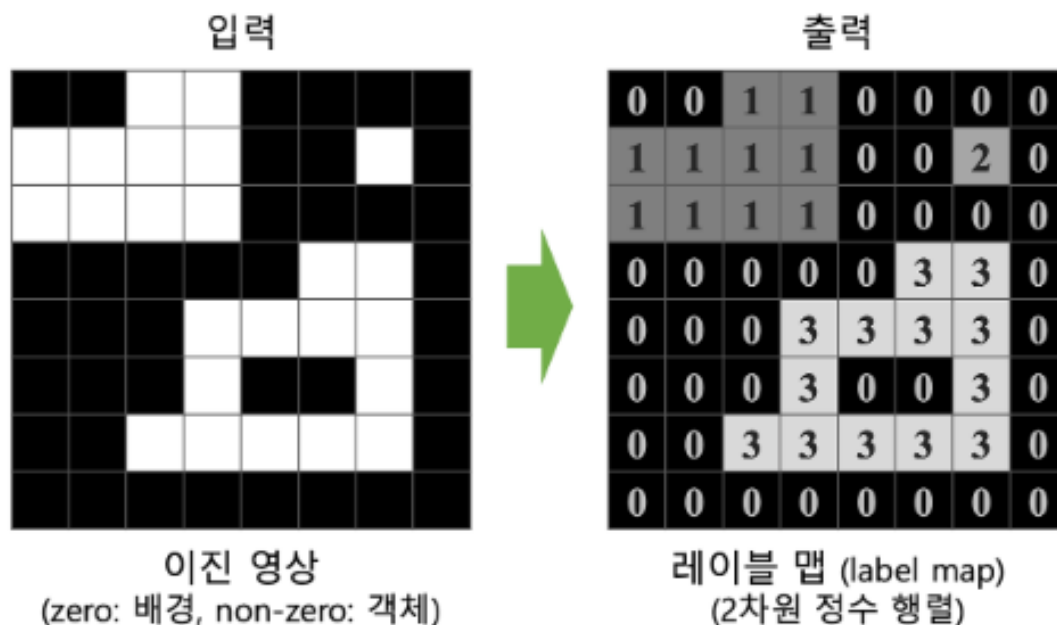
(c) 8-연결성으로 찾은 연결 요소

그림 3-11 연결 요소 찾기

3.2.3 연결 요소

레이블링 알고리즘의 입력과 출력

0은 배경 1이상은 객체로 판단한다. 객체들이 서로 연결되어 있으면 같은 번호를 지정한다.
같은 객체에 번호가 지정된 것을 레이블 맵이라고 한다. 레이블 맵은 정수형 행렬이다.



3.2.4 모폴로지(Morphology)

■ 모폴로지는 구조 요소(structuring element)를 이용하여 영역의 모양을 조작

- 하나의 물체가 여러 영역으로 분리되거나 다른 물체가 한 영역으로 붙는 경우를 방지하기 위해서

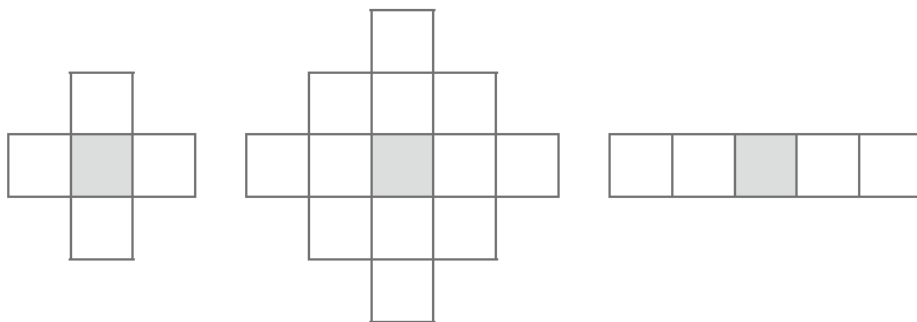


그림 3-12 모폴로지가 사용하는 구조 요소

■ 팽창(dilation) 침식(erosion) 열림(opening) 닫힘(closing)

- 팽창은 작은 홈을 메우거나 끊어진 영역을 연결하는 효과. 영역을 키움
- 침식은 경계에 솟은 돌출 부분을 깎는 효과. 영역을 작게 만듦
- 열림은 침식한 결과에 팽창 적용. 원래 영역 크기 유지
- 닫힘은 팽창한 결과에 침식을 적용. 원래 영역 크기 유지

3.2.4 모폴로지

■ [예시 3-3] 팽창과 침식 연산

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



구조 요소

(a) 입력 영상과 구조 요소

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	P	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	0

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

(b) 팽창

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	P	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	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	1	0	0

(c) 침식

그림 3-13 팽창과 침식

3.2.4 모폴로지

프로그램 3-4

모폴로지 연산 적용하기

```
01 import cv2 as cv
02 import numpy as np
03 import matplotlib.pyplot as plt
04
05 img=cv.imread('JohnHancocksSignature.png',cv.IMREAD_UNCHANGED)
06
07 t,bin_img=cv.threshold(img[:, :, 3],0,255,cv.THRESH_BINARY+cv.THRESH_OTSU)
08 plt.imshow(bin_img,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]) ①
09 plt.show()
```

3.2.4 모폴로지

```
10
11 b=bin_img[bin_img.shape[0]//2:bin_img.shape[0],0:bin_img.shape[0]//2+1]
12 plt.imshow(b,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]) ②
13 plt.show()
14
15 se=np.uint8([[0,0,1,0,0],                                     # 구조 요소
16              [0,1,1,1,0],
17              [1,1,1,1,1],
18              [0,1,1,1,0],
19              [0,0,1,0,0]])
20
21 b_dilation=cv.dilate(b,se,iterations=1)                        # 팽창
22 plt.imshow(b_dilation,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]) ③
23 plt.show()
24
25 b_erosion=cv.erode(b,se,iterations=1)                         # 침식
26 plt.imshow(b_erosion,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]) ④
27 plt.show()
28
29 b_closing=cv.erode(cv.dilate(b,se,iterations=1),se,iterations=1) # 닫기
30 plt.imshow(b_closing,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]) ⑤
31 plt.show()
```

3.2.4 모폴로지

①



②



잘라낸 영상

③



팽창

④



침식

⑤

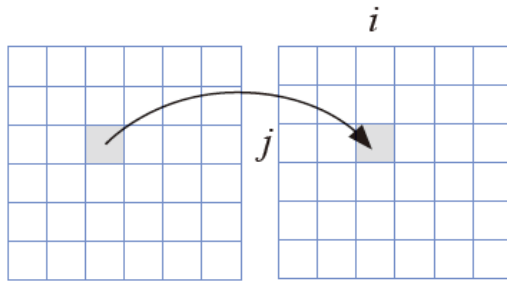


닫힘

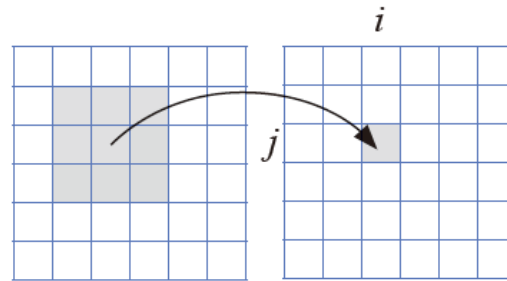
3.3 점 연산

■ 세 종류의 영상 처리 연산

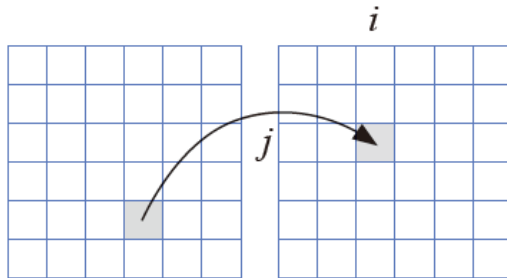
- 화소가 새로운 값을 어디서 받느냐에 따라 세 가지로 구분
- **점 연산** point operation: 자기 자신에게서 받음(3.3절)
- **영역 연산** area operation: 이웃 화소들에서 받음(3.4절)
- **기하 연산** geometric operation: 기하학적 변환이 정해주는 곳에서 받음(3.5절)



(a) 점 연산



(b) 영역 연산



(c) 기하 연산

그림 3-14 세 종류의 영상 처리 연산

3.3.1 명암 조절

■ 영상을 밝거나 어둡게 조정

■ 선형 연산

$$f'(j,i) = \begin{cases} \min(f(j,i) + a, L-1) & \text{밝게} \\ \max(f(j,i) - a, 0) & \text{어둡게} \\ (L-1) - f(j,i) & \text{반전} \end{cases} \quad (3.4)$$

■ 비선형 연산: 예) 감마(gamma) 연산

$$f'(j,i) = (L-1) \times \dot{f}(j,i)^{\gamma} \quad (3.5)$$

- γ : 사용자가 조정하는 값, $=1$: 유지, <1 : 밝아짐, >1 어두워짐

- f : $[0, L-1]$ 범위의 화소값을 $(L-1)$ 로 나누어 $[0,1]$ 범위로 정규화된 영상

3.3.1 명암 조절

■ 프로그래밍 실습: 감마 보정

프로그램 3-5

감마 보정 실험하기

```
01 import cv2 as cv
02 import numpy as np
03
04 img=cv.imread('soccer.jpg')
05 img=cv.resize(img,dsize=(0,0),fx=0.25,fy=0.25)
06
07 def gamma(f,gamma=1.0):
08     f1=f/255.0
09     return np.uint8(255*(f1**gamma))
10
11 gc=np.hstack((gamma(img,0.5),gamma(img,0.75),gamma(img,1.0),gamma(img,2.0),gamma
12               (img,3.0)))
13 cv.imshow('gamma',gc)
14 cv.waitKey()
15 cv.destroyAllWindows()
```

numpy.float64 형

numpy.uint8 형으로 변환

L=256이라고 가정

numpy.hstack 함수로 이어붙이기



3.3.2 히스토그램 평활화

■ 히스토그램 평활화 histogram equalization

- 히스토그램이 평평하게 되도록 영상을 조작해 영상의 명암 대비를 높이는 기법
- 명암대비가 높아지면 영상의 물체를 식별하기 쉬움

$$l' = \text{round} (\ddot{h}(l) \times (L-1)) \quad (3.6)$$

h : 히스토그램

h' : 정규화된 히스토그램 (0~1 사이)

h'' : 누적된 정규화 히스토그램

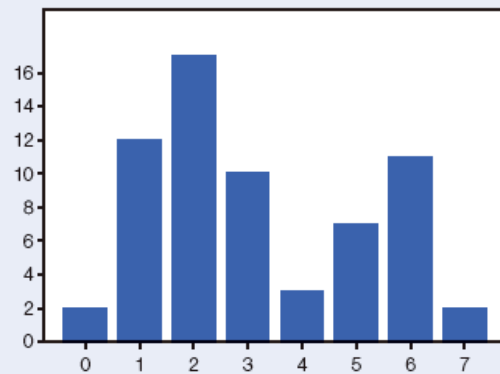
l : 명암값

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

(a) 입력 영상

$h =$

2	12	17	10	3	7	11	2
---	----	----	----	---	---	----	---



(b) 히스토그램

[그림 3-9]

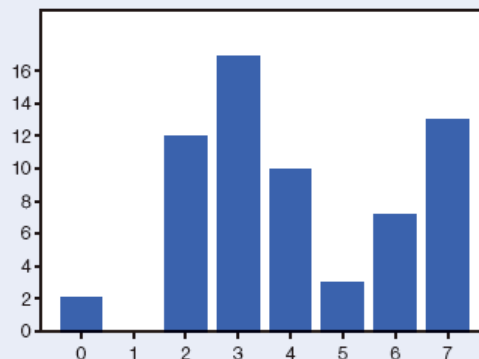
3.3.2 히스토그램 평활화

l	h	\dot{h}	\ddot{h}	$\ddot{h} \times 7$	l'
0	2	0.03125	0.03125	0.21875	0
1	12	0.1875	0.21875	1.53125	2
2	17	0.265625	0.484375	3.390625	3
3	10	0.15625	0.640625	4.484375	4
4	3	0.046875	0.6875	4.8125	5
5	7	0.109375	0.796875	5.578125	6
6	11	0.171875	0.96875	6.78125	7
7	2	0.03125	1.0	7.0	7

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

$h =$

2	0	12	17	10	3	7	13
---	---	----	----	----	---	---	----



$l=1$ 일 때

- $h=12$, $h'=12/64=0.1875$
- $h''=0.03125+0.1875=0.21875$

그림 3-15 히스토그램 평활화된 영상

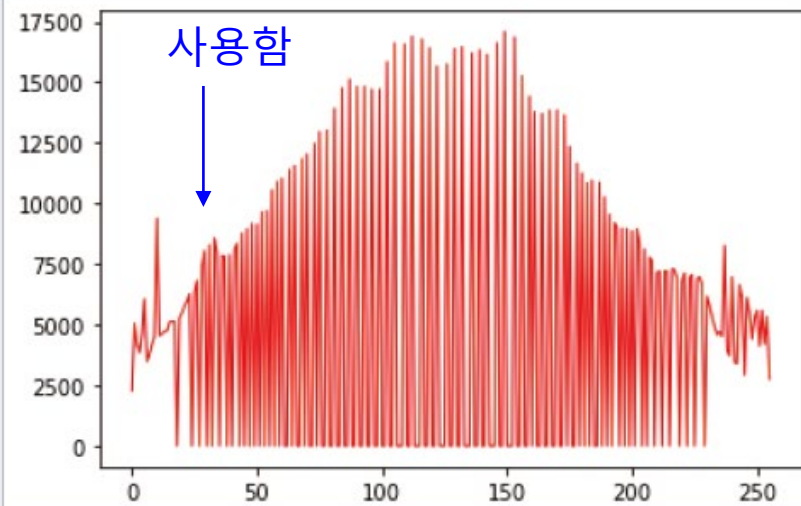
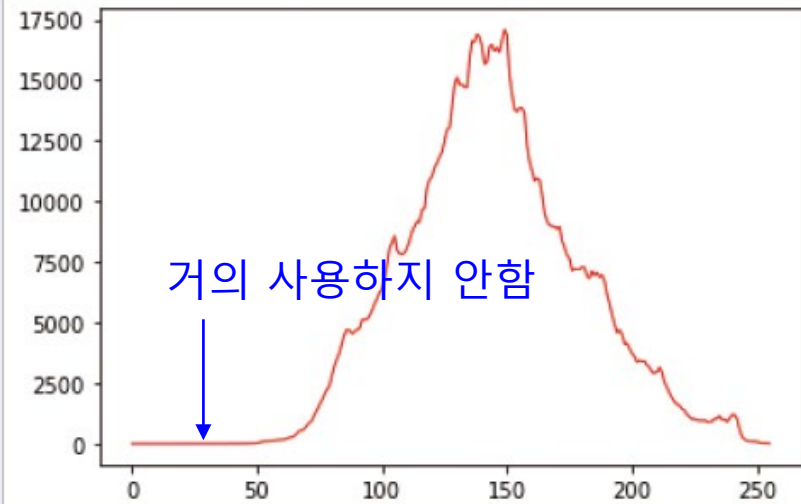
3.3.2 히스토그램 평활화

프로그램 3-6

히스토그램 평활화하기

```
01 import cv2 as cv
02 import matplotlib.pyplot as plt
03
04 img=cv.imread('mistyroad.jpg')
05
06 gray=cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2GRAY)      # 명암 영상으로 변환하고 출력
07 plt.imshow(gray,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]), plt.show()
08
09 h=cv.calcHist([gray],[0],None,[256],[0,256])  # 히스토그램을 구해 출력
10 plt.plot(h,color='r',linewidth=1), plt.show()
11
12 equal=cv.equalizeHist(gray)                  # 히스토그램을 평활화하고 출력
13 plt.imshow(equal,cmap='gray'), plt.xticks([]), plt.yticks([]), plt.show()
14
15 h=cv.calcHist([equal],[0],None,[256],[0,256]) # 히스토그램을 구해 출력
16 plt.plot(h,color='r',linewidth=1), plt.show()
```

3.3.2 히스토그램 평활화



3.4 영역 연산

- 영역 연산은 이웃 화소를 고려해서 새로운 값을 결정
- 주로 컨볼루션(convolution) 연산을 통해 이루어짐

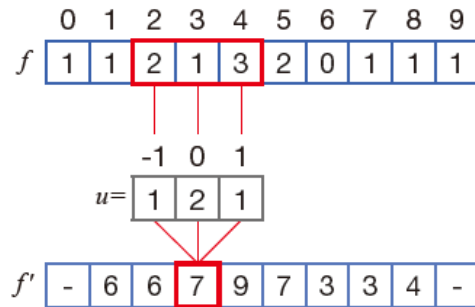
3.4.1 컨볼루션

■ 컨볼루션은 각 화소에 필터 u 를 적용해 곱의 합을 구하는 연산

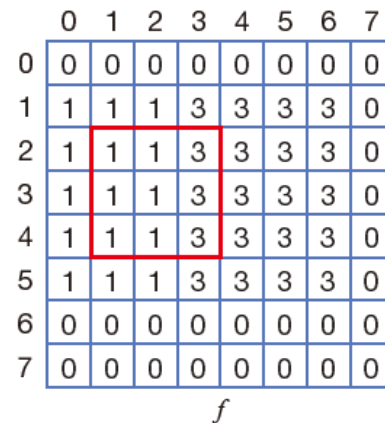
$$f'(x) = \sum_{i=-(w-1)/2}^{(w-1)/2} u(i) f(x+i) \quad (3.7)$$

$$f'(y,x) = \sum_{j=-(h-1)/2}^{(h-1)/2} \sum_{i=-(w-1)/2}^{(w-1)/2} u(j,i) f(y+j, x+i) \quad (3.8)$$

■ 예시



(a) 1차원 영상에 컨볼루션 적용



(b) 2차원 영상에 컨볼루션 적용

수직 에지를 검출하는 필터

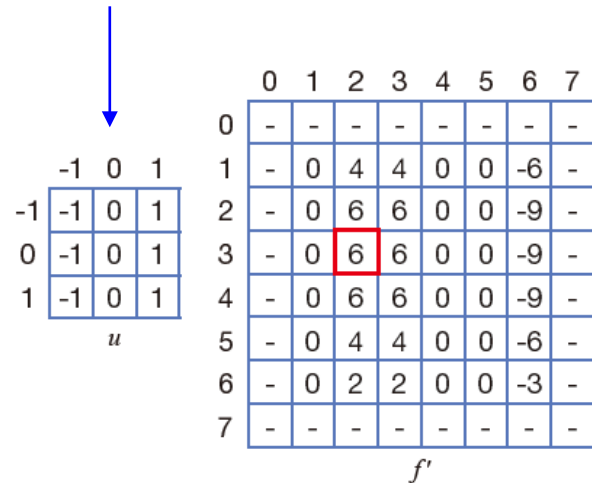


그림 3-16 컨볼루션의 원리

3.4.2 다양한 필터

■ 목적에 따라 다양한 필터 사용

1/9	1/9	1/9	0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030
1/9	1/9	1/9	0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
1/9	1/9	1/9	0.0219	0.0983	0.1621	0.0983	0.0219
			0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
			0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030

(a) 스무딩 필터

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

(b) 샤프닝 필터

-1	0	0	-1	-1	0
0	0	0	-1	0	1
0	0	1	0	1	1

(c) 엠보싱 필터

그림 3-17 잡음 제거와 대비 향상을 위한 필터

- Smoothing filter : 화소의 평균을 적용하여 잡음의 크기를 줄여주는 효과
 - 잡음제거 효과는 있지만 물체 경계를 흐릿하게 만드는 부작용 있음.

3.4.2 다양한 필터

■ 가우시안(Gaussian) 필터

- 델타가 크면, 봉우리가 낮아지고 멀리 퍼짐
- 예) 델타가 0.7이면 값은 4.2, 같거나 큰 다음 홀수 정수는 5, 필터의 크기는 5x5 적용
- 적용할 필터 크기를 정하는데 유용하게 사용됨

$$\begin{aligned} \text{1차원 가우시안: } g(x) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \\ \text{2차원 가우시안: } g(y, x) &= \frac{1}{\sigma^2 2\pi} e^{-\frac{y^2+x^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (3.9)$$

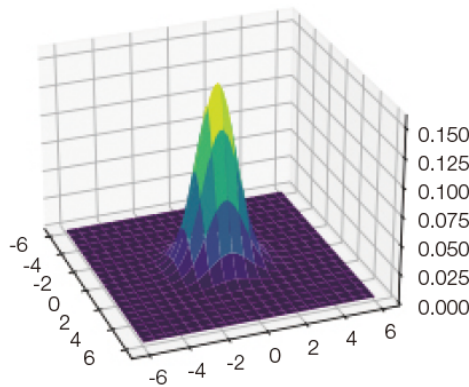
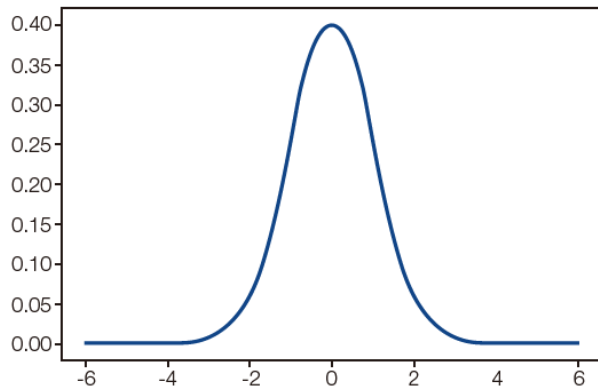


그림 3-18 1차원과 2차원 가우시안 함수

3.4.3 데이터 형과 컨볼루션

■ 연산 결과를 저장하는 변수의 유효 값 범위

- OpenCV는 주의를 기울여 작성되어 있음
- 때로 프로그래머가 직접 신경 써야 하는 경우 있음. 예) filter2D 함수

■ 데이터 형

- Opencv는 영상 화소를 주로 numpy.uint8 형으로 표현 ([0,255] 범위)

```
In [1]: print(type(img[0,0,0]))  
numpy.uint8
```

- [0,255] 범위를 벗어나는 경우 문제 발생

```
In [2]: a=np.array([-3,-2,-1,0,1,254,255,256,257,258],dtype=np.uint8)  
In [3]: print(a)  
[253 254 255   0   1 254 255   0   1   2]
```

- 예) 엠보싱의 경우 [-255~255] 발생하는데 어떻게 해결하나? 0~255범위로 변환
`np.clip(a+128,0,255)`

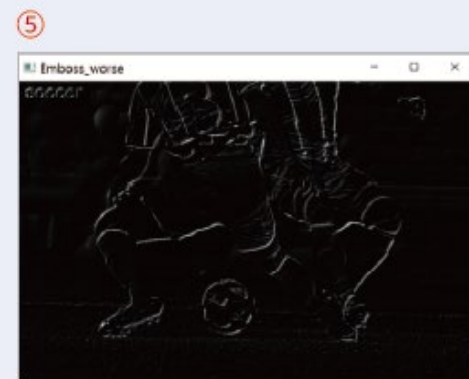
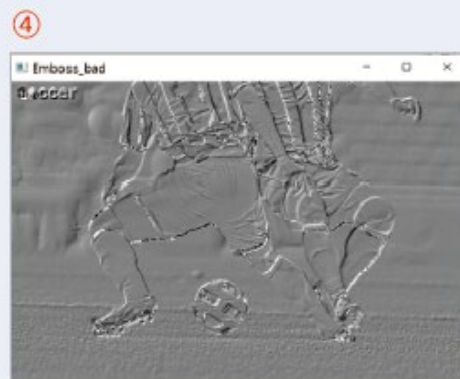
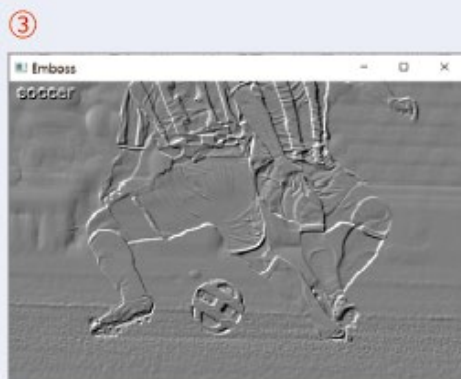
3.4.3 데이터 형과 컨볼루션

프로그램 3-7

컨볼루션 적용(가우시안 스무딩과 엠보싱)하기

```
01 import cv2 as cv
02 import numpy as np
03
04 img=cv.imread('soccer.jpg')
05 img=cv.resize(img,dsize=(0,0),fx=0.4,fy=0.4)
06 gray=cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2GRAY)
07 cv.putText(gray,'soccer',(10,20),cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.7,(255,255,255),2)
08 cv.imshow('Original',gray) ①
09
10 smooth=np.hstack((cv.GaussianBlur(gray,(5,5),0.0),cv.
                    GaussianBlur(gray,(9,9),0.0),cv.GaussianBlur(gray,(15,15),0.0)))
11 cv.imshow('Smooth',smooth) ②
12
13 femboss=np.array([[ -1.0,  0.0,  0.0],
14                  [  0.0,  0.0,  0.0],
15                  [  0.0,  0.0,  1.0]])
16
17 gray16=np.int16(gray)
18 emboss=np.uint8(np.clip(cv.filter2D(gray16,-1,femboss)+128,0,255))
19 emboss_bad=np.uint8(cv.filter2D(gray16,-1,femboss)+128)
20 emboss_worse=cv.filter2D(gray,-1,femboss)
21
22 cv.imshow('Emboss',emboss) ③
23 cv.imshow('Emboss_bad',emboss_bad) ④
24 cv.imshow('Emboss_worse',emboss_worse) ⑤
25
26 cv.waitKey()
27 cv.destroyAllWindows()
```

3.4.3 데이터 형과 컨볼루션



3.5 기하 연산

- 기하 연산이 정해진 위치의 화소에서 값을 가져옴
 - 주로 물체의 이동, 크기, 회전에 따른 기하 변환

3.5.1 동차 좌표와 동차 행렬

■ 동차 좌표_{homogeneous coordinate}

- 2차원 좌표에 1을 추가해 3차원 벡터로 표현
- 3개 요소에 같은 값을 곱하면 같은 좌표. 예) $(-2,4,1)$ 과 $(-4,8,2)$ 는 $(-2,4)$ 에 해당

$$\bar{p} = (x, y, 1) \quad (3.10)$$

■ 여러 가지 기하 변환



그림 3-19 여러 가지 기하 변환

3.5.1 동차 좌표와 동차 행렬

■ 기하 연산을 동차 행렬 homogeneous matrix로 표현

- [표 3-1] 변환은 모두 어파인 변환 affine transform: 평행을 평행으로 유지

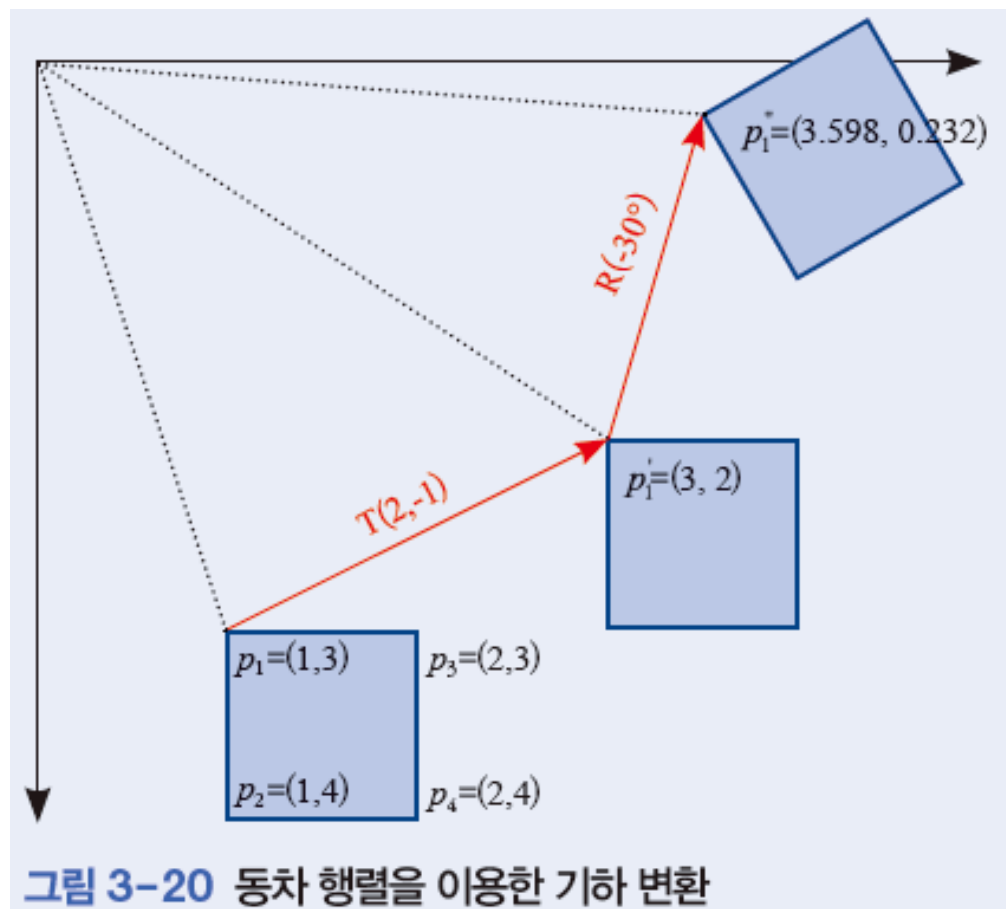
표 3-1 3가지 기하 변환

기하 변환	동차 행렬	설명
이동	$T(t_x, t_y) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	x 방향으로 t_x , y 방향으로 t_y 만큼 이동
회전	$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	원점을 중심으로 반시계 방향으로 θ 만큼 회전
크기	$S(s_x, s_y) = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	x 방향으로 s_x , y 방향으로 s_y 만큼 크기 조정(1보다 크면 확대, 1보다 작으면 축소)

3.5.1 동차 좌표와 동차 행렬

■ [예시 3-5] 동차 행렬을 이용한 기하 변환

- 정사각형을 x 방향으로 2, y 방향으로 -1만큼 이동한 다음 반시계 방향으로 30도 회전



3.5.1 동차 좌표와 동차 행렬

■ 변환을 위한 동차 행렬

$$T(2, -1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad R(30^\circ) = \begin{pmatrix} 0.8660 & 0.5000 & 0 \\ -0.5000 & 0.8660 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

■ 이동 적용

$$\bar{p}_1'^T = T(2, -1) \bar{p}_1^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

■ 회전 적용

$$\bar{p}_1''^T = R(30^\circ) \bar{p}_1'^T = \begin{pmatrix} 0.8660 & 0.5000 & 0 \\ -0.5000 & 0.8660 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.598 \\ 0.232 \\ 1 \end{pmatrix}$$

3.5.1 동차 좌표와 동차 행렬

■ 동차 행렬을 이용하면 계산이 효율적임

- 복합 변환을 위한 행렬을 미리 곱해 놓으면, 모든 점에 대해 한번의 행렬 곱셈으로 기하 변환 가능(행렬 곱셈은 결합 법칙 성립)

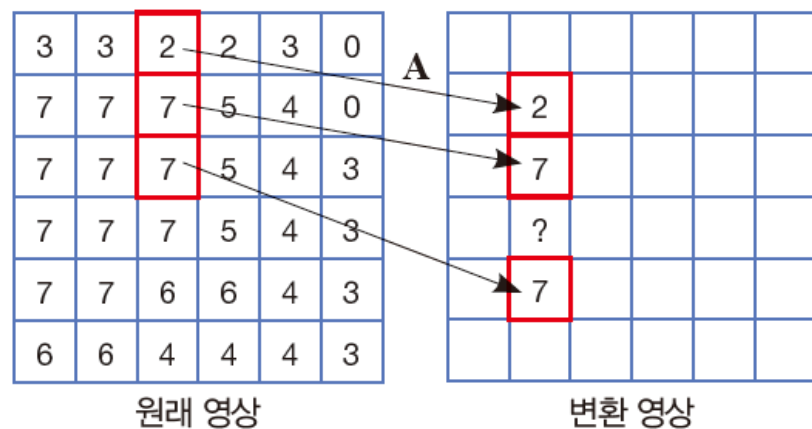
$$\mathbf{A} = \mathbf{R}(30^\circ)\mathbf{T}(2, -1) = \begin{pmatrix} 0.8660 & 0.5000 & 0 \\ -0.5000 & 0.8660 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8660 & 0.5000 & 1.232 \\ -0.5000 & 0.8660 & -1.866 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{A}\bar{\mathbf{p}}_1^T = \begin{pmatrix} 0.8660 & 0.5000 & 1.232 \\ -0.5000 & 0.8660 & -1.866 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.598 \\ 0.232 \\ 1 \end{pmatrix}$$

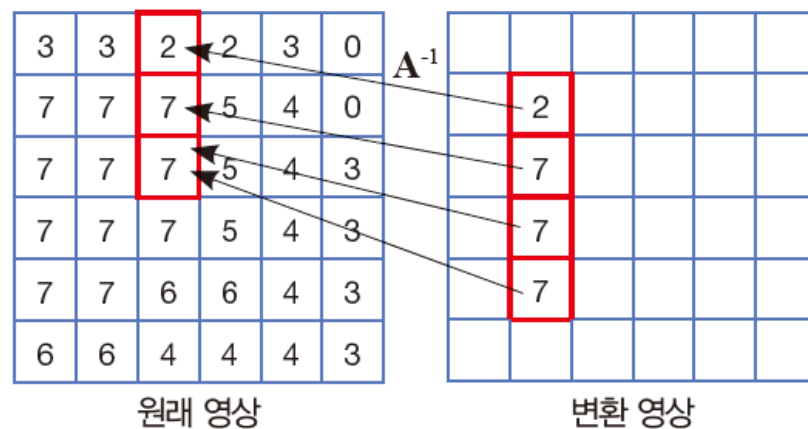
3.5.2 영상의 기하 변환

■ 화소 좌표에 동차 행렬 적용하여 기하 변환

- 값을 받지 못하는 화소가 생기는 에일리어싱_{aliasing} 현상 가능성
- 후방 연산을 통한 안티 에일리어싱



(a) 전방 변환



(b) 후방 변환

그림 3-21 영상의 기하 변환

3.5.3 영상 보간

■ 실수 좌표를 정수로 변환하는 방법

- 최근접 이웃 방법: 반올림 사용(에일리어싱 발생)
- 양선형 보간법: 걸치는 비율에 따라 선형 곱을 함으로써 안티 에일리어싱

$$f(j', i') = \alpha\beta f(j, i) + (1-\alpha)\beta f(j, i+1) + \alpha(1-\beta)f(j+1, i) + (1-\alpha)(1-\beta)f(j+1, i+1) \quad (3.11)$$

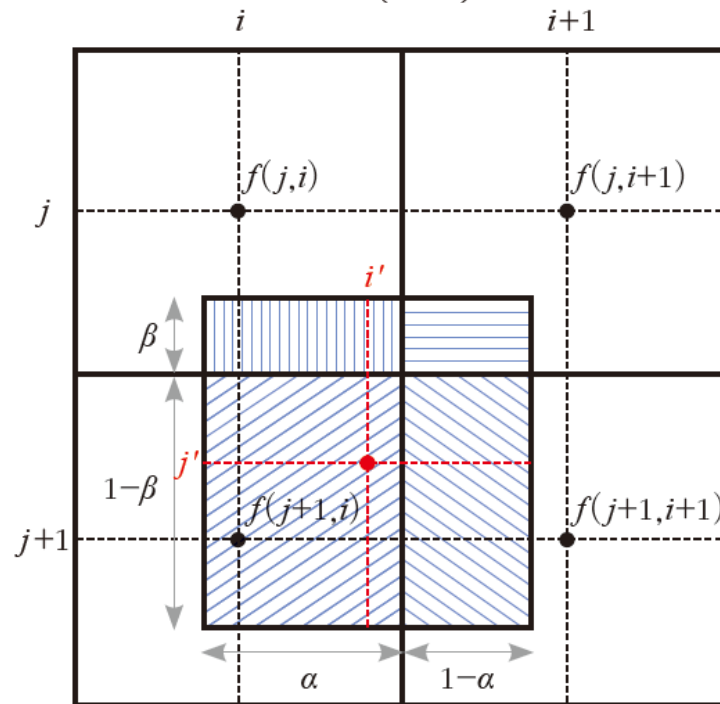


그림 3-22 실수 좌표의 화소값을 보간하는 과정

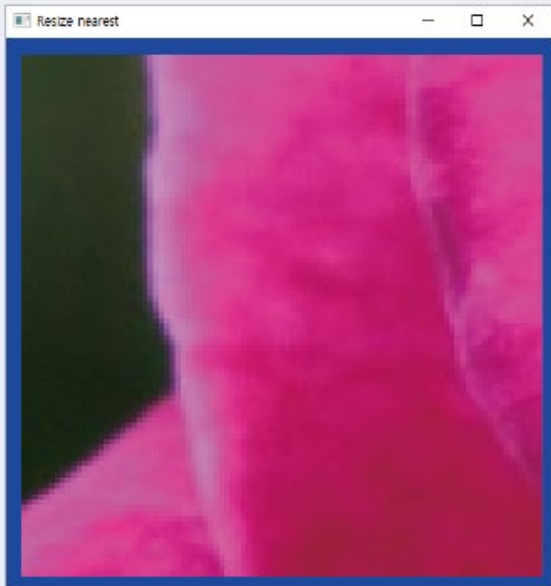
3.5.3 영상 보간

프로그램 3-8

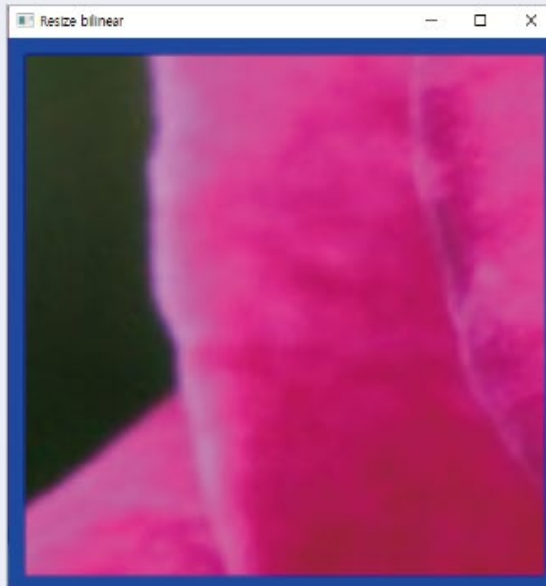
보간을 이용해 영상의 기하 변환하기

```
01  import cv2 as cv
02
03  img=cv.imread('rose.png')
04  patch=img[250:350,170:270,:]
05
06  img=cv.rectangle(img,(170,250),(270,350),(255,0,0),3)
07  patch1=cv.resize(patch,dsize=(0,0),fx=5,fy=5,interpolation=cv.INTER_NEAREST)
08  patch2=cv.resize(patch,dsize=(0,0),fx=5,fy=5,interpolation=cv.INTER_LINEAR)
09  patch3=cv.resize(patch,dsize=(0,0),fx=5,fy=5,interpolation=cv.INTER_CUBIC)
10
11  cv.imshow('Original',img)
12  cv.imshow('Resize nearest',patch1)
13  cv.imshow('Resize bilinear',patch2)
14  cv.imshow('Resize bicubic',patch3)
15
16  cv.waitKey()
17  cv.destroyAllWindows()
```

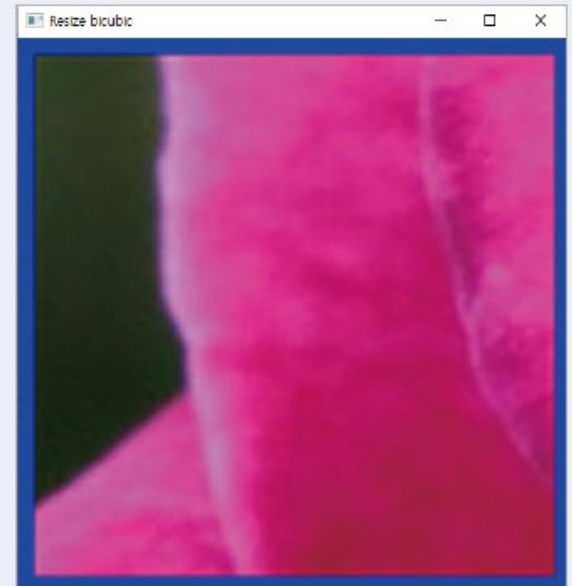
3.5.3 영상 보간



최근접 이웃



양선형 보간



양3차 보간

3.6 OpenCV의 시간 효율

- 컴퓨터 비전은 인식 정확률 뿐 아니라 시간 효율도 중요
 - 특히 실시간 처리가 요구되는 응용
- OpenCV는 효율적으로 구현되었기 때문에 OpenCV 함수를 사용하는 것이 유리
 - C/C++로 구현하고 인텔 마이크로프로세서에 최적화
- 직접 구현하는 경우 파이썬의 배열 연산 사용하는 것이 유리

3.6 OpenCV의 시간 효율

프로그램 3-9

직접 작성한 함수와 OpenCV가 제공하는 함수의 시간 비교하기

```
01  import cv2 as cv
02  import numpy as np
03  import time
04
05  def my_cvtGray1(bgr_img):
06      g=np.zeros([bgr_img.shape[0],bgr_img.shape[1]])
07      for r in range(bgr_img.shape[0]):
08          for c in range(bgr_img.shape[1]):
09              g[r,c]=0.114*bgr_img[r,c,0]+0.587*bgr_img[r,c,1]+0.299*bgr_img[r,c,2]
10      return np.uint8(g)
11
12  def my_cvtGray2(bgr_img):
13      g=np.zeros([bgr_img.shape[0],bgr_img.shape[1]])
14      g=0.114*bgr_img[:, :, 0]+0.587*bgr_img[:, :, 1]+0.299*bgr_img[:, :, 2]
15      return np.uint8(g)
16
```

3.6 OpenCV의 시간 효율

```
17  img=cv.imread('girl_laughing.png')
18
19  start=time.time()
20  my_cvtGray1(img)
21  print('My time1:',time.time()-start) ①
22
23  start=time.time()
24  my_cvtGray2(img)
25  print('My time2:',time.time()-start) ②
26
27  start=time.time()
28  cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2GRAY)
29  print('OpenCV time:',time.time()-start) ③
```

```
My time1: 4.798288106918335 ①
My time2: 0.015836000442504883 ②
OpenCV time: 0.013601541519165039 ③
```

감사합니다.