# Basic image processing techniques

Byeongjoon Noh

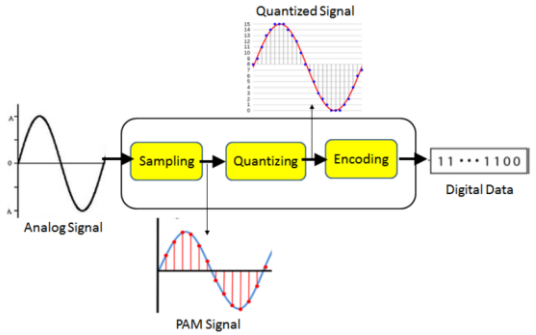
Dept. of AI and Bigdata, SCH Univ.

powernoh@sch.ac.kr

# Contents

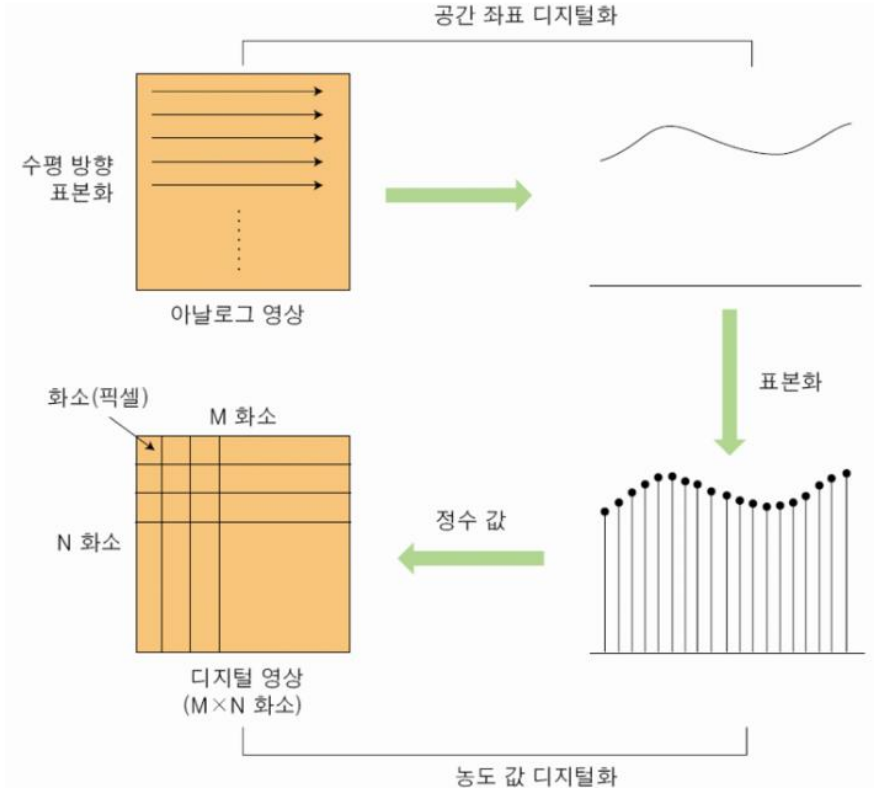
# 1. Sampling, Quantization, Encoding

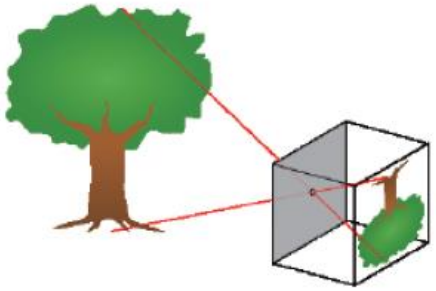
# 디지털 영상의 변환



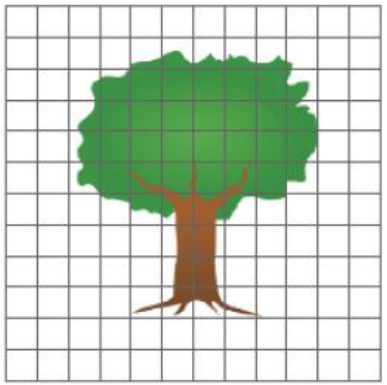

표본화 (Sampling), 양자화 (Quantization), 부호화 (Encoding)

- 2차원 영상 공간은 *M*N*차원으로 샘플링
  - *M*N* = resolution(해상도)
- 명암을 *L* 단계로 양자화
  - *L* = 명암 단계 (0~L-1 사이에 분포)
- Example) *M=12, N=12, L=10*



(a) 핀홀 카메라 모델

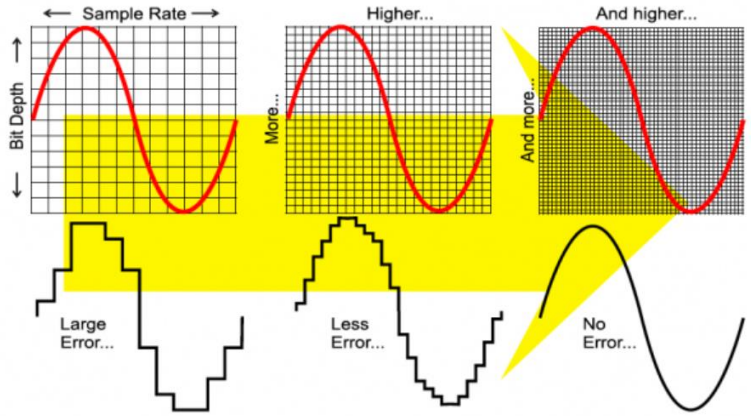


(b) 샘플링과 양자화

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

(c) 디지털 영상

# 디지털 영상의 변환




Sampling

- 아날로그 신호를 일정 간격으로 표본화 하여

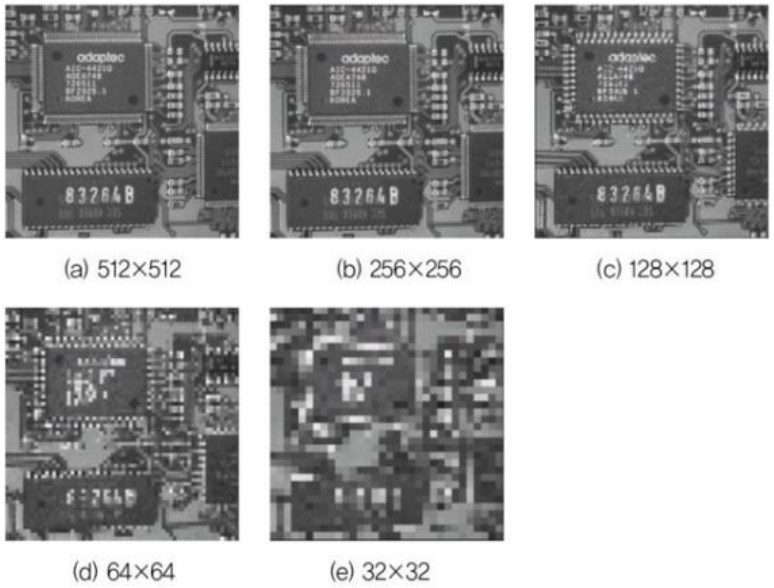
  PAM (Puls Amplitude Modulation) 신호를 획득함. (데이터의 크기 결정)
- Sampling rate ↑ ➔ Data size ↑
- 일반적인 sampling rate = 44.1 KHz
- Nyquist Theorem:아날로그 신호의 최고 주파수 2배 크기로 sampling 진행

  ➔ 디지털 신호를 원래의 아날로그 신호의 손실 없이 복원 할 수 있음

# 디지털 영상의 변환

Sampling in Digital image

- 아날로그 영상에서 공간적, 시간적으로 연속되는 밝기 강도 (Intensity)에 따라 이산적인 점 (Pixel) 을 추출하는 과정
- Sampling rate ↑ ➔ High resolution (Huge size…)



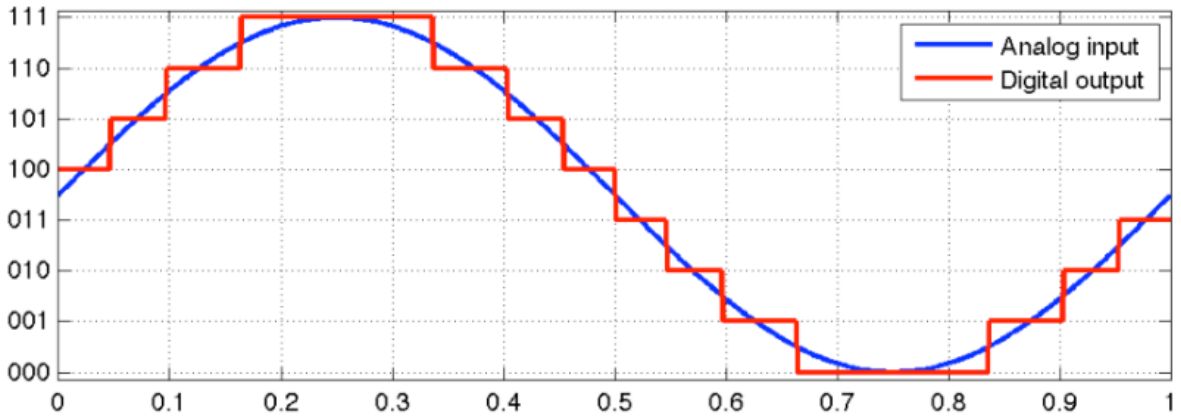
# 디지털 영상의 변환

Quantization

- Sampling된 값도 결국 아날로그의 형태

  ➔ 디지털 신호로 완전한 변환이 필요함

- 각 아날로그 값들을 맵핑 (Mapping)하여 변환
  - Quantization noise 발생



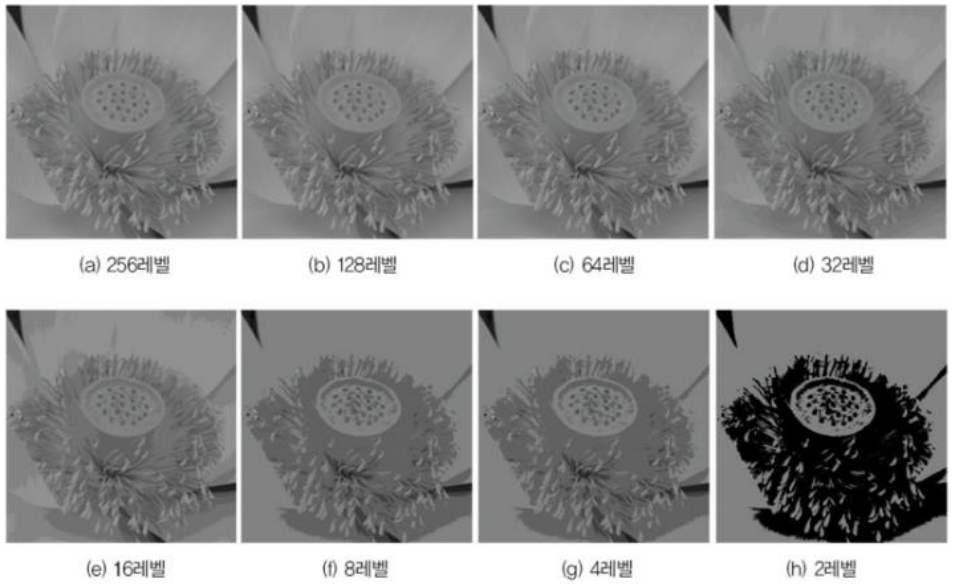
# 디지털 영상의 변환

Quantization in Digital image

- Sampling된 영상의 각 화소의 밝기나 색을 정해진 몇 단계의 값으로 근사화
- ➔ 각 화소의 밝기나 색이 숫자로 표현
- ➔ 각 화소에 양자화된 표본 값을 획득

- Gray level 해상도(진폭)를 결정

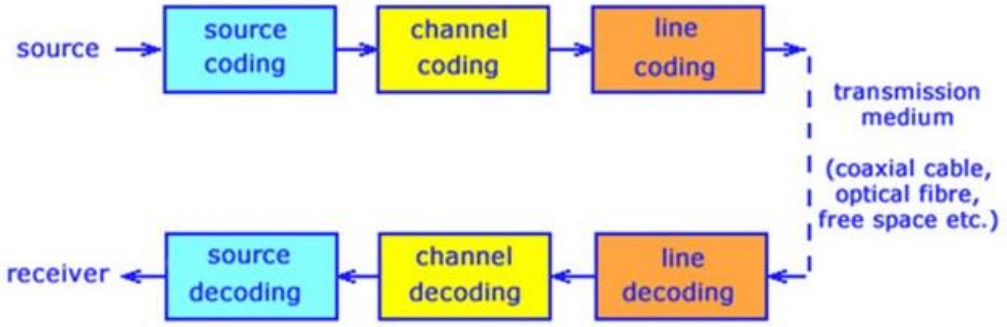
  Quantization ↑ ➔ 표현할 수 있는 색상 ↑



# 디지털 영상의 변환

Encoding

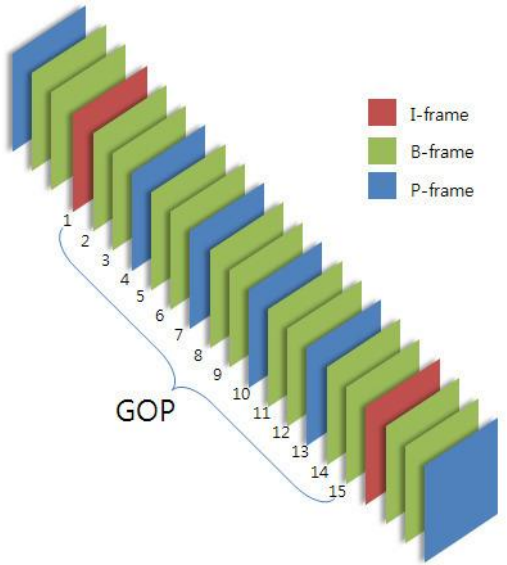
- 양자화된 값을 이진 데이터로 변환하는 과정
  - 단위 시간당 가능한 많은 데이터를 처리할 수 있는 방법을 찾고자 고안됨
- 신호처리: 소스 부호화, 채널 부호화, 라인 부호화 등
- 복호화 (Decoding) 함께 수행됨

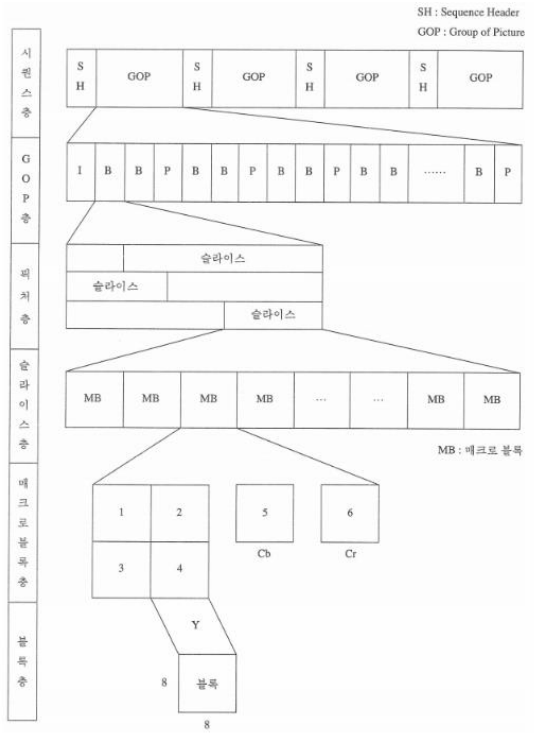


# 디지털 영상의 변환

Encoding in Digital image

- 양자화된 화소의 밝기나 색 데이터를 2진수로 표현하는 과정
- 압축 부호화를 수행함
  - MPEG, JPEG, …



# 영상 좌표계

화소 위치 표현

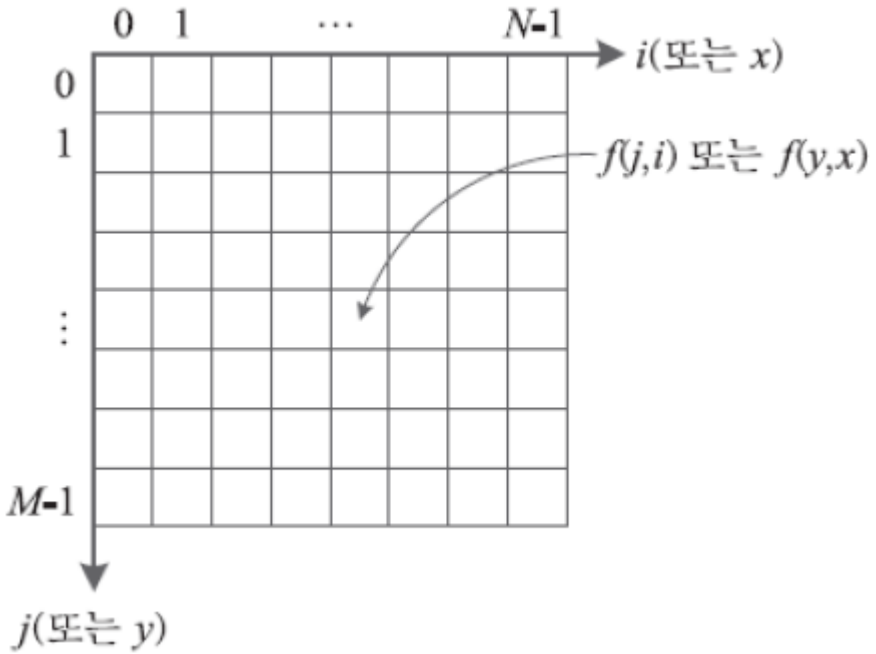
- $X(i,j)$ 또는 $X(y,x)$

영상 표현

- $f(X)$
- $f(j,i), 0 \leq j \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1$

컬러 영상의 표현

- $f_c(x,y) = f_r(x,y), f_g(x,y), f_b(x,y)$



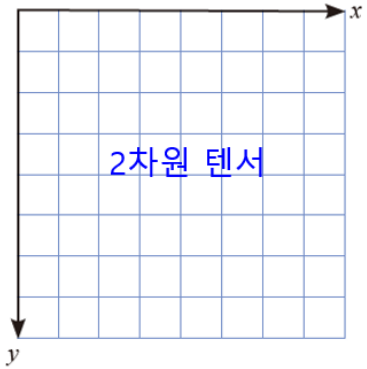
# 영상 좌표계

영상 표시 방법

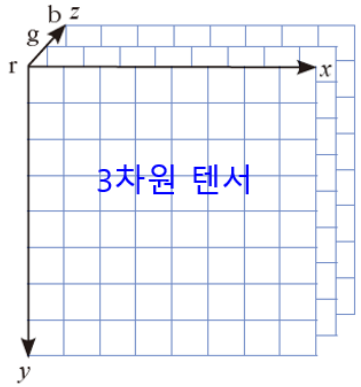

명암(그레이) 영상
명암 단계 $L$ = 256 (0~255)
흑 백

# 영상 좌표계

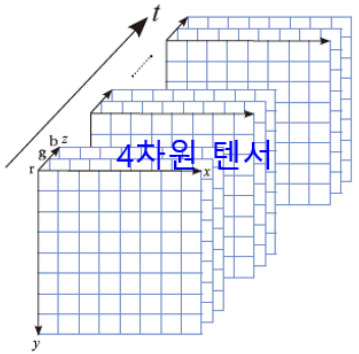
## 영상 표시 방법



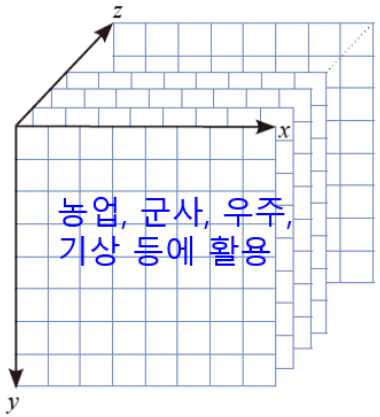

(a) 명암 영상



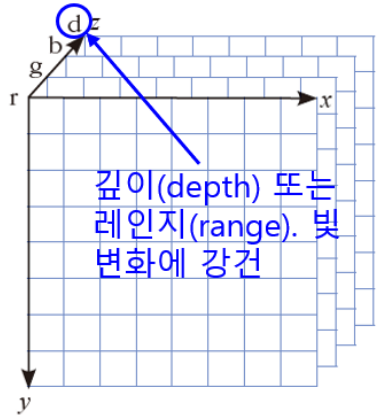

(b) 컬러 영상



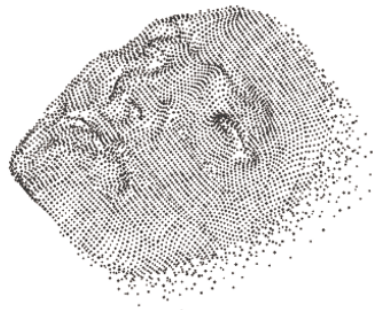

(c) 컬러 동영상




(d) 다분광/초분광/MR/CT 영상




(e) RGB-D 영상

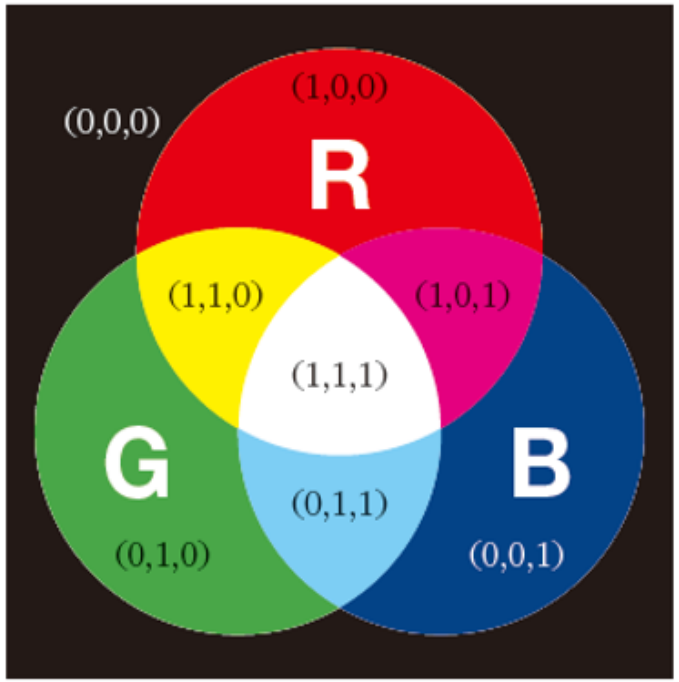


LiDAR로부터 획득

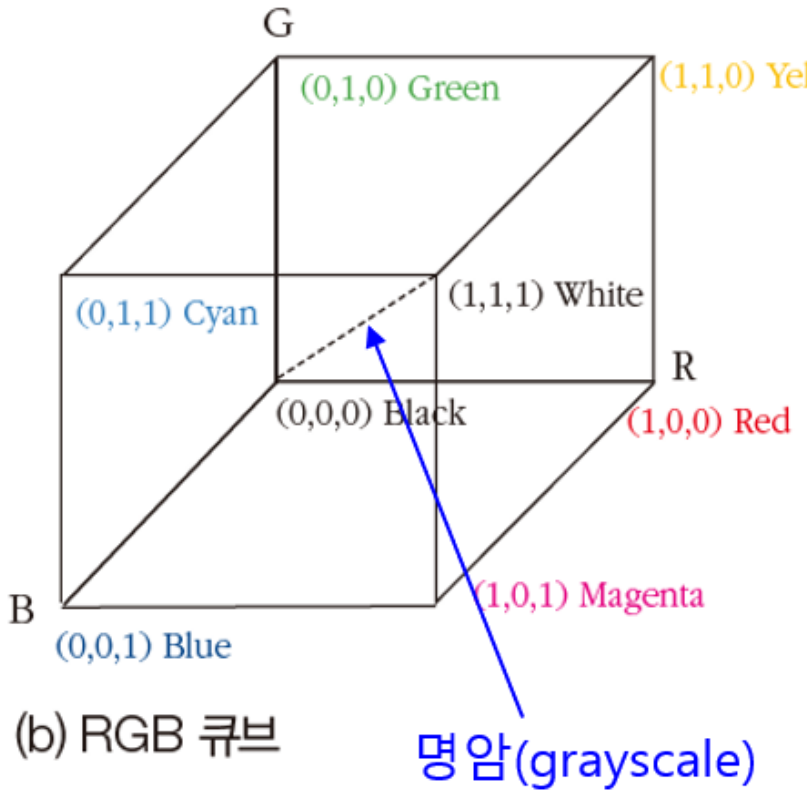
(f) 점 구름 영상

# 영상 좌표계

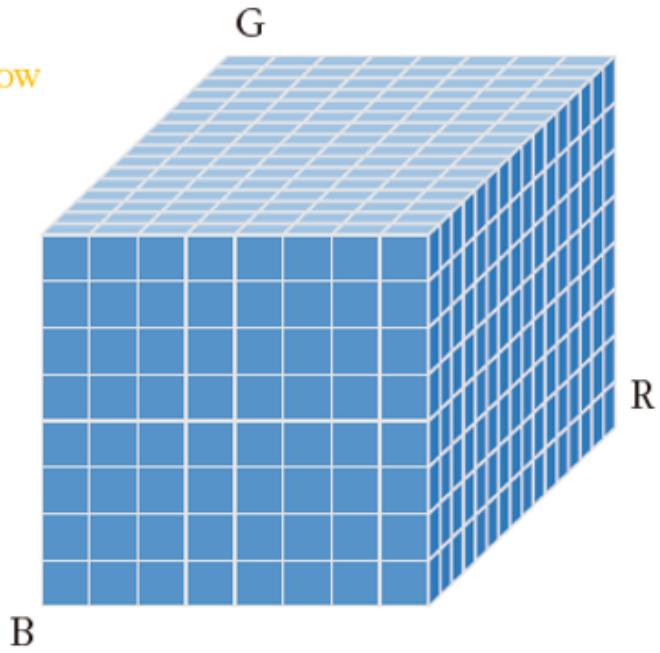
영상 표시 방법 – RGB 컬러 모델




(a) RGB 삼원색의 혼합




(b) RGB 큐브




(c) 양자화된 RGB 큐브

# 2. Histogram

# 히스토그램 (Histogram)

[0, L-1] 사이의 명암값 각각이 영상에 몇 번 나타나는지 표시하는 방법

- 히스토그램 $h$ 와  정규화 히스토그램

$$h(l) = |\{j, i\}|(f(j, i) = l|$$

$$\hat{h}(l) = \frac{h(l)}{M * N}$$

**알고리즘 2-1** 명암 영상에서 히스토그램 계산

**입력** : 명암 영상 $f(j, i), 0 \le j \le M-1, 0 \le i \le N-1$

**출력** : 히스토그램 $h(l)$과 정규 히스토그램 $\hat{h}(l), 0 \le l \le L-1$

```
1  for (l=0 to L-1)     h(l)=0; // 초기화
2  for (j=0 to M-1)
3    for (i=0 to N-1)  // f의 화소 (j,i) 각각에 대해
4      h(f(j,i))++; // 그곳 명암값에 해당하는 히스토그램 칸을 1만큼 증가
5  for (l=0 to L-1)
6    ĥ(l)=h(l)/(M×N); // 정규화한다.
```

# 히스토그램 (Histogram)

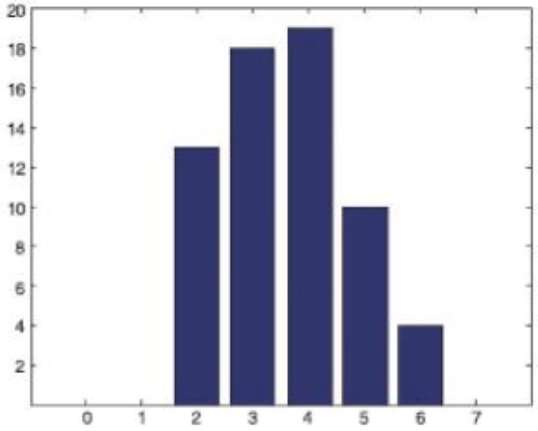
히스토그램 계산

**예제 2-1** **명암 영상에서 히스토그램 계산**

[그림 2-7(a)]는 $M$과 $N$이 8이고 $L$=8인 아주 작은 영상이다. 이 영상에서 명암값이 2인 화소는 13개이므로 $h(2)$=13이다. 다른 명암값에 대해서도 화소의 개수를 세어보면 $h$=(0, 0, 13, 18, 19, 10, 4, 0)이고, $\hat{h}(l)$=(0, 0, 0.203, 0.281, 0.297, 0.156, 0.063, 0)이다. 이것을 그래프로 그리면 [그림 2-7(b)]와 같다.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |

(a) 8×8 영상 (8 명암 단계)

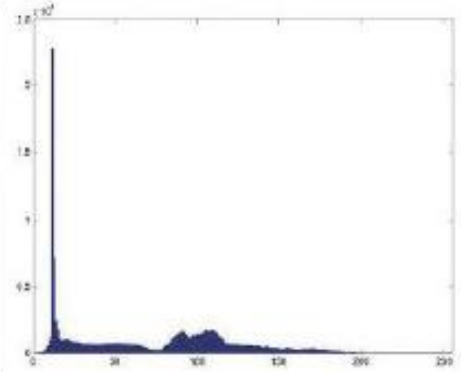


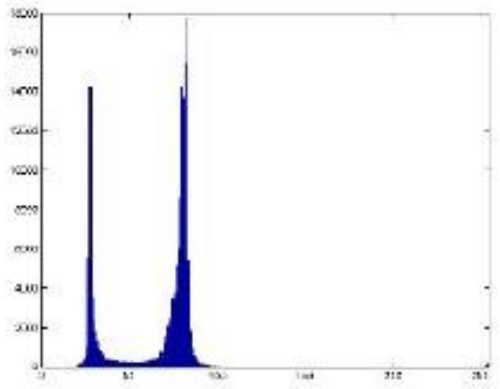

(b) 히스토그램

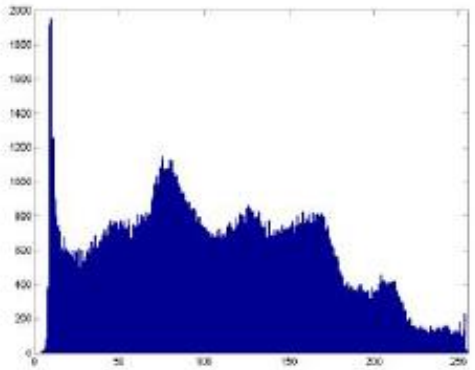
그림 2-7 히스토그램 예

# 히스토그램 용도

영상의 특성 파악







# 히스토그램 평활화 (Equalized)

히스토그램을 평평하게 만들어주는 연산

명암의 동적 범위를 확장하여 영상의 품질 향상에 기여

누적 히스토그램 $c(.)$를 맵핑 함수로 사용 함

$$l_{out} = T(l_{in}) = round\big(c(l_{in}) \times (L-1)\big);$$

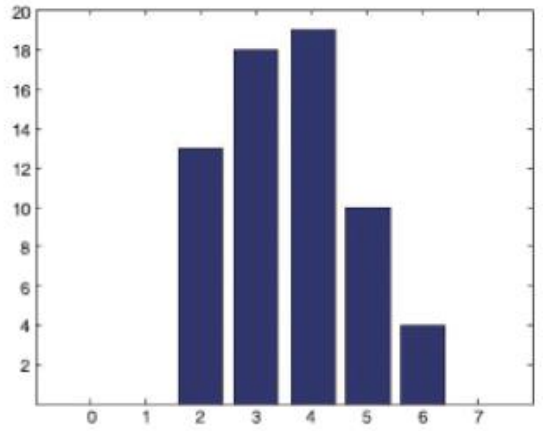
$$c(l_{in}) = \sum_{l=0}^{l_{in}} \hat{h}(l)$$

# 히스토그램 평활화 (Equalized)

평활화 예시

| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |

(a) 8×8 영상 (8 명암 단계)




(b) 히스토그램

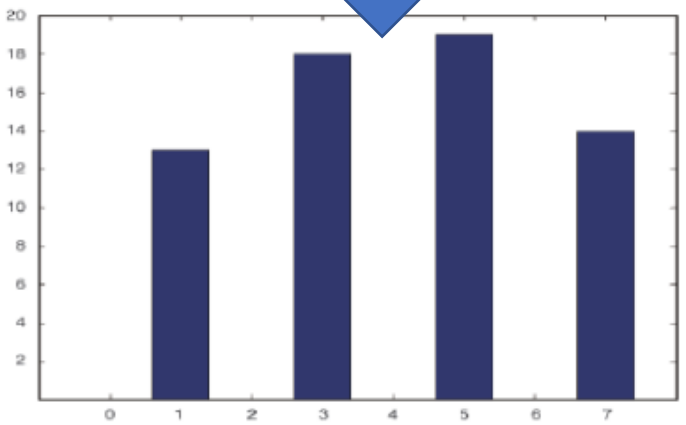
Equalized

| $l_{in}$ | $\hat{h}(l_{in})$ | $c(l_{in})$ | $c(l_{in}) \times 7$ | $l_{out}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 |
| 2 | 0.203 | 0.203 | 1.421 | 1 |
| 3 | 0.281 | 0.484 | 3.388 | 3 |
| 4 | 0.297 | 0.781 | 5.467 | 5 |
| 5 | 0.156 | 0.937 | 6.559 | 7 |
| 6 | 0.063 | 1.0 | 7.0 | 7 |
| 7 | 0.0 | 1.0 | 7.0 | 7 |

(a) 매핑 표 $T(.)$

| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 3 | 3 |
| 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 |
| 7 | 5 | 5 | 5 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| 7 | 5 | 3 | 5 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| 7 | 7 | 5 | 5 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 |
| 7 | 7 | 5 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 |

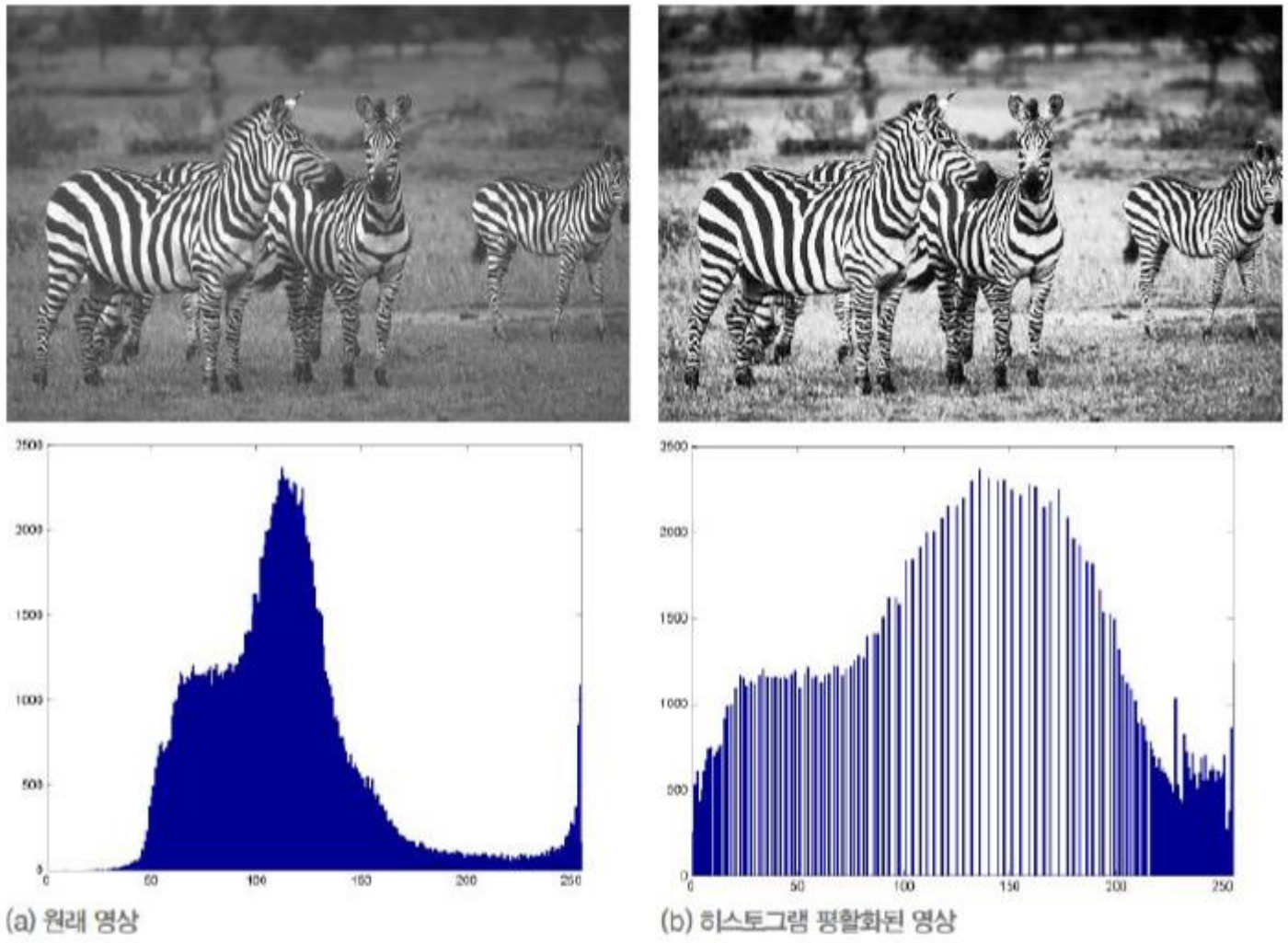
(b) 평활화된 영상




(c) 평활화된 영상의 히스토그램

# 히스토그램 평활화 (Equalized)

평활화를 통한 품질 향상 예시



# 히스토그램 평활화 (Equalized)

평활화를 통한 품질 저하(시각적 피로도 상승) 예시

(a) 원래 영상

(b) 히스토그램 평활화된 영상

➔ 영상처리 연산은 분별력을 가지고 활용 여부를 결정해야 함!

# 히스토그램 역투영

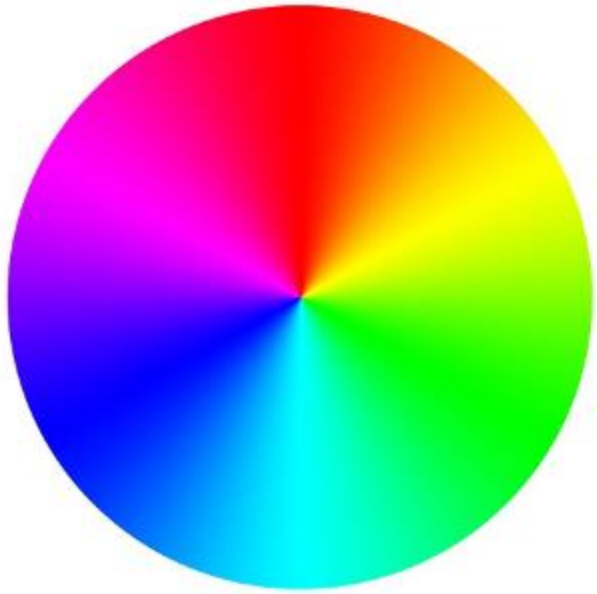
히스토그램 역투영 (Back projection)

- 히스토그램을 맵핑 함수로 사용하여, 화소 값을 신뢰도 값으로 변환
- 관심 영역 (RoI, Region of Interest)의 히스토그램과 유사한 히스토그램을 갖는 영역을 찾아내는 기법
  - 임의의 색상 영역을 검출할 때 효과적

- 이미지 내에서 특정 물체나 배경을 분리할 수 있음

# 히스토그램 역투영

히스토그램 역투영 예제



# 히스토그램 역투영

Color space (이미지 색상 표현 방식)

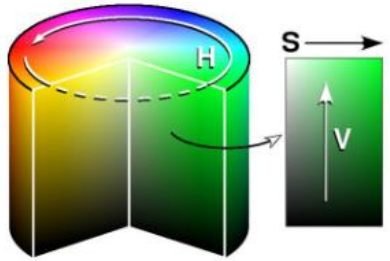
- RGB / BGR / RGBA
  - Red, Green, Blue, Alpha (투명도)
  - 0-255 사이의 값으로 표현
  - 값이 커질수록 해당 값이 두드러짐
  - (255, 0, 0) 빨간색
  - (255, 255, 255) 흰색
  - (0, 0, 0) 검은색

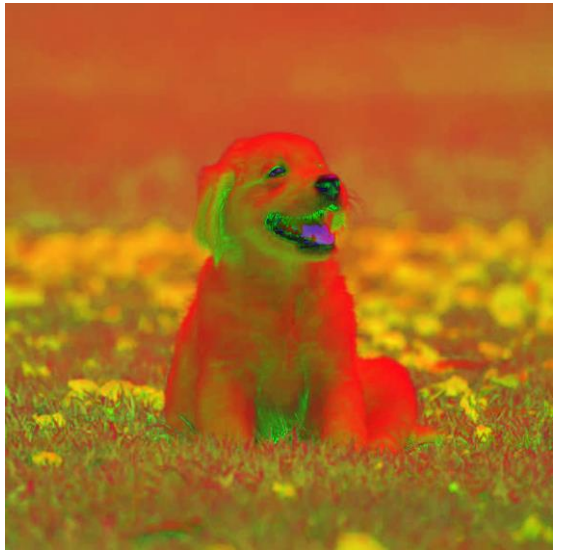
# 히스토그램 역투영

Color space (이미지 색상 표현 방식)

- Gray scale
  - 회색조 이미지
  - 0~255 사이의 값

- HSV
  - Hue (색조), Saturation (채도), Value (명도)



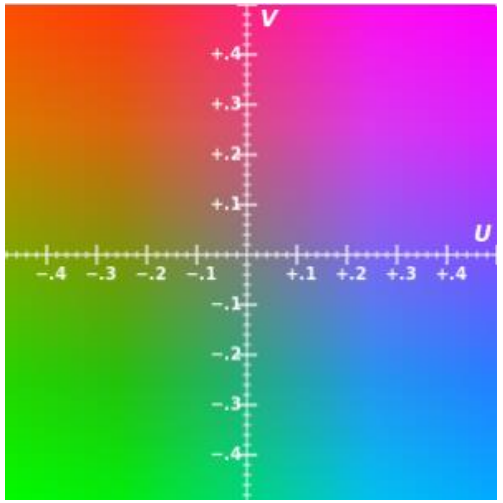



# 히스토그램 역투영

Color space (이미지 색상 표현 방식)

- YUV, YCbCr 방식
  - Y: 밝기 (Luma)
  - U: 밝기와 파란색 색상 차 (Chroma blue, Cb)
  - V: 밝기와 빨간색 색상 차 (Chroma red, Cr)

  - Y에 많은 비트 수를 할당, U, V에 적은 비트 수 할당
  - ➔ 데이터 압축 효과




Y=0.5

# 히스토그램 역투영

Color space 예제

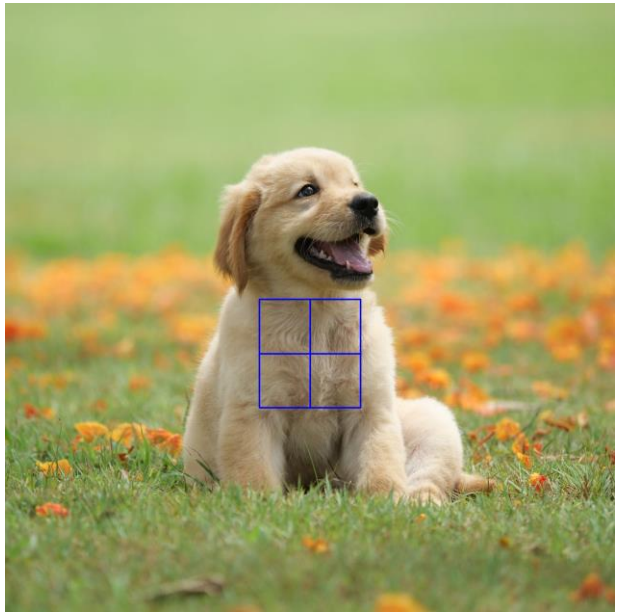
- 1_1_colorSpace.py

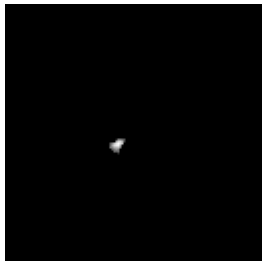
```
src = cv2.imread(path, cv2.IMREAD_COLOR)

src = cv2.imread(path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

gray2 = cv2.cvtColor(src, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

src = src.astype(np.uint16)
b,g,r = cv2.split(src)
gray3 = ((b + g + r)/3).astype(np.uint8)

ycbcr1 = cv2.cvtColor(src, cv2.COLOR_BGR2YUV)
```

# 히스토그램 역투영

히스토그램 역투영 예제 (OpenCV)

- 1_2_Backprojection.py





# 히스토그램 역투영

히스토그램 역투영 예제 (OpenCV)

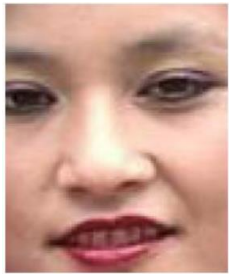
- 1_2_BackProjection.py

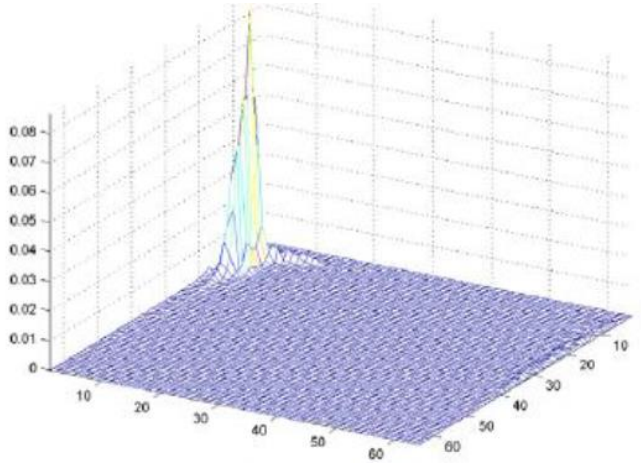
```
# Histogram calculation
hist = cv2.calcHist([crop], channels, None, histSize, ranges)
hist_norm = cv2.normalize(cv2.log(hist + 1), None, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX, cv2.CV_8U)

# Histogram back-projection
backproj = cv2.calcBackProject([src_ycrcb], channels, hist, ranges, 1)

# Masking
dst = cv2.copyTo(src, backproj)
```

# 히스토그램 역투영

얼굴 검출 예

- 모델 얼굴과 2차원 히스토그램
- 조명 변화를 고려하여 I (Intensity)를 제외한 HS (Hue-Saturation) 공간에서 처리






2차원 히스토그램 (HS공간)

# 히스토그램 역투영

2차원 히스토그램

**알고리즘 2-2 2차원 히스토그램 계산(HS 공간)**

**입력** : $H$와 $S$채널 영상 $f_H(j,i), f_S(j,i), 0 \le j \le M-1, 0 \le i \le N-1$

**출력** : 히스토그램 $h(j,i)$와 정규 히스토그램 $\hat{h}(j,i), 0 \le j,i \le q-1$ // $L$단계를 $q$단계로 양자화

64

```
1  h(j,i), 0≤j,i≤q−1 을 0으로 초기화한다.
2  for(j=0 to M−1)
3    for(i=0 to N−0)  // 화소 (j,i) 각각에 대해
4      h(quantize(f_H(j,i)), quantize(f_S(j,i)))++;  // 해당 칸을 1 증가시킴
5  for(j=0 to q−1)
6    for(i=0 to q−1)
7      ĥ(j,i)=h(j,i)/(M×N);  // 정규화
```

# 히스토그램 역투영

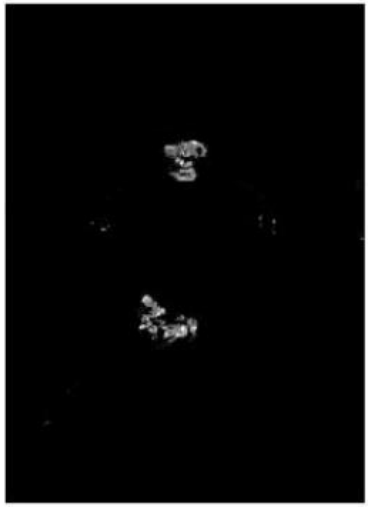
2차원 히스토그램

- 양자화(Quantization)란?
  - 표본화된 각 화소의 밝기나 색을 정해진 몇 단계의 값으로 근사화하는 과정
  - 각 화소의 밝기나 색이 숫자로 표현되어 양자화된 표본 값이 생성됨

# 히스토그램 역투영

히스토그램 역투영 결과

- 얼굴 영역, 손 영역에서 높은 신뢰도 값
- 장점: 배경을 조정할 수 있는 상황에 적합
  - 이동과 회전에 불변, 가림 (Occlusion)에 강인
- 한계: 비슷한 색 분포를 갖는 다른 물체 구별 어려움
  - 검출 대상이 여러 색 분포를 갖는 경우 오류 확률 상승

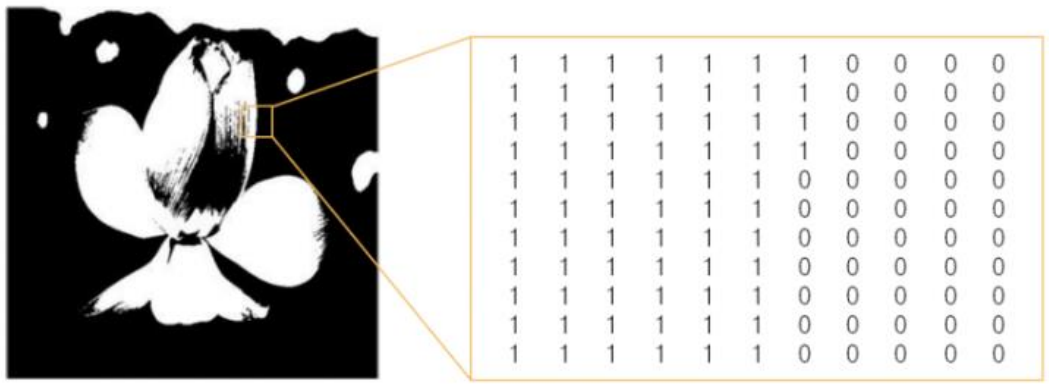


# 3. Binary Image

# Binary Image

디지털 영상의 종류

- Binary image
  - 화소값이 흑/백으로만 구성된 영상 ➔ 처리 속도 빠름
  - Quantization 진행 시 양자화 bit 수를 1로 지정함
  - 경계 구분이 정확하지 않은 영상(이미지)에서는 영상 정보 손실됨
  - 지문, 팩스, 문자 영상 등



# Binary Image

디지털 영상의 종류

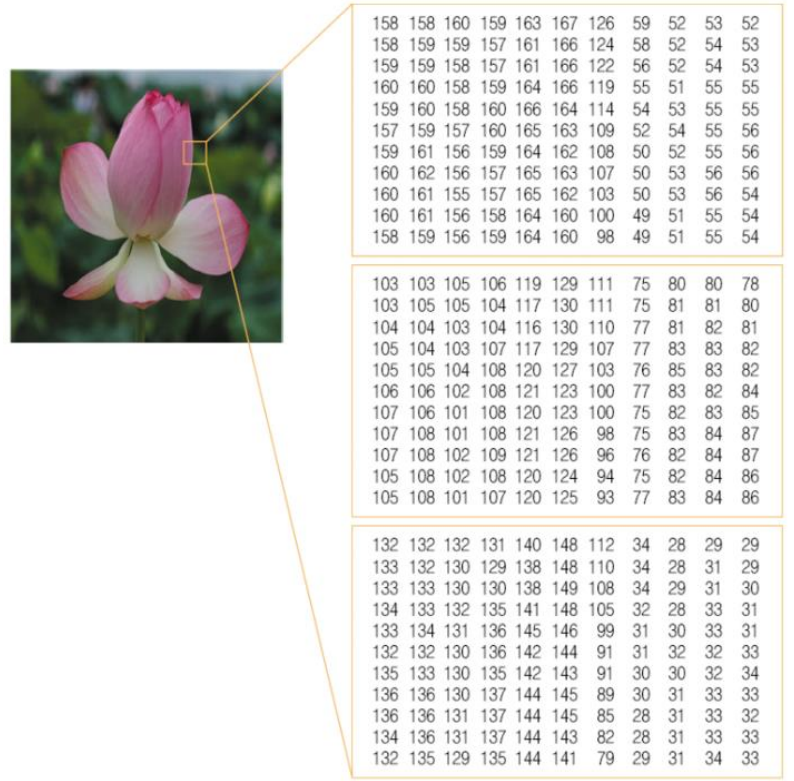
- Gray-level image
  - Binary image보다 조금 더 밝게 표현됨 (bit 수 ↑)
  - 화소의 밝기가 여러 단계 (흑백 사진)
  - 밝기의 단계: 검정색~회색~흰색 (단계 수는 quantization bit 수가 결정)

$$0 \leq f(x, y) \leq 2^n - 1$$

# Binary Image

디지털 영상의 종류

- Color image
  - 실제로 눈에 보이는 모습과 유사한 밝기와 색상을 가진 영상
  - **빛**의 3원색을 이용
  - 각 색을 독립적인 형태로 처리하고 합침
  - 각 색의 상호작용이 큼 ➔ 처리 어려움

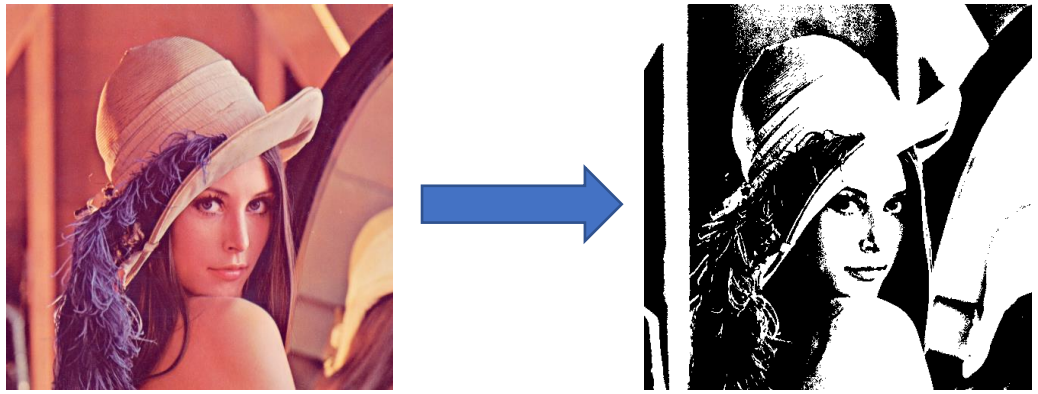


# Binary Image

이진화 (Binarization) $f(x, y) = 0, 1$

- “명암” 영상을 흑과 백만 가진 “이진” 영상으로 변환
- 다양한 이진화 방법이 존재
- 임계값 (Threshold) 방법

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



$$h(l) = |\{j, i\}|(f(j, i) = l|$$

$$\hat{h}(l) = \frac{h(l)}{M * N}$$

# Binary Image

Otsu algorithm

- Idea: 이진화 시 Black/White 그룹 각각이 균일할수록 좋다!
  - 균일성 ➔ 분산으로 측정 (분산이 작을수록 균일성 높음)
- 분산의 가중치 합 $v_{within}(.)$을 목적 함수로 이용한 최적화 알고리즘

$$T = \underset{t \in \{0,1,\ldots,L-1\}}{\operatorname{argmin}} \; v_{within}(t)$$

$$v_{within}(t) = w_0(t)v_0(t) + w_1(t)v_1(t)$$

# Binary Image

$$h(l) = |\{j, i\}|(f(j, i) = l|$$

$$\hat{h}(l) = \frac{h(l)}{M * N}$$

Otsu algorithm

$$T = \underset{t\in\{0,1,\ldots,L-1\}}{\operatorname{argmin}} v_{within}(t)$$

$$v_{within}(t) = w_0(t)v_0(t) + w_1(t)v_1(t)$$

$$w_0(t) = \sum_{i=0}^{t} \hat{h}(i), \qquad w_1(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} \hat{h}(i) \qquad v_0(t) = \frac{1}{w_0(t)} \sum_{i=0}^{t} \hat{h}(i)\big(i - \mu_0(t)\big)^2$$

$$\mu_0(t) = \frac{1}{w_0(t)} \sum_{i=0}^{t} i\hat{h}(i), \qquad \mu_1(t) = \frac{1}{w_1(t)} \sum_{i=0}^{L-1} i\hat{h}(i) \qquad v_1(t) = \frac{1}{w_1(t)} \sum_{i=t+1}^{L-1} \hat{h}(i)\big(i - \mu_1(t)\big)^2$$

# Binary Image

Otsu algorithm

- $t-1$번째 계산 결과를 $t$번째에 활용하여 빠르게 계산 (Dynamic programming)

$$T = \underset{t\in\{0,1,\dots,L-1\}}{\operatorname{argmin}} v_{between}(t)$$

$$v_{between}(t) = w_0(t)\big(1-w_0(t)\big)\big(\mu_0(t)-\mu_1(t)\big)^2$$

Initial value $(\mathrm{t}=0)$: $w_0(0)=\hat{h}(0), \mu_0(t)=0$

Recursive exp. $(\mathrm{t}>0)$:

$$w_0(t) = w_0(t-1)+\hat{h}(t)$$

$$\mu_0(t) = \frac{w_0(t-1)\mu_0(t-1)+t\hat{h}(t)}{w_0(t)}$$

$$\mu_1(t) = \frac{\mu - w_0(t)\mu_0(t)}{1-w_0(t)}$$

# Binary Image

| | |
|---|---|
| cv2.THRESH_BINARY | 임계값 이상 = 최댓값, 임계값 이하 = 0 |
| cv2.THRESH_BINARY_INV | 위의 반전, 임계값 이상 = 0, 임계값 이하 = 최댓값 |
| cv2.THRESH_TOZERO | 임계값 이상 = 원본값, 임계값 이하 = 0 |
| cv2.THRESH_TOZERO_INV | 위의 반전, 임계값 이상 = 0, 임계값 이하 = 원본값 |
| cv2.THRESH_TRUNC | 임계값 이상 = 임계값 임계값 이하 = 원본값 |
| cv2.THRESH_MASK | 흑색 이미지로 |
| cv2.THRESH_OTSU | otsu 알고리즘 |
| cv2.THRESH_TRIANGLE | triangle 알고리즘 |

Practice

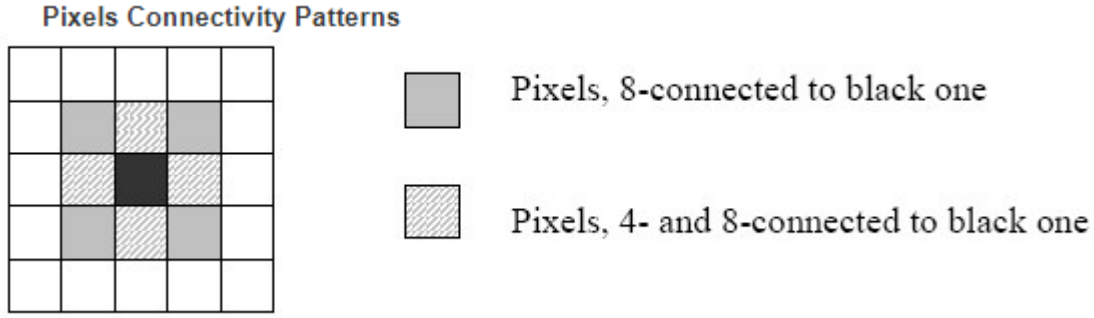
- 1_3_binaryImage.py

```
src = cv2.imread(path)
gray = cv2.cvtColor(src, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret, dst = cv2.threshold(gray, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)
```

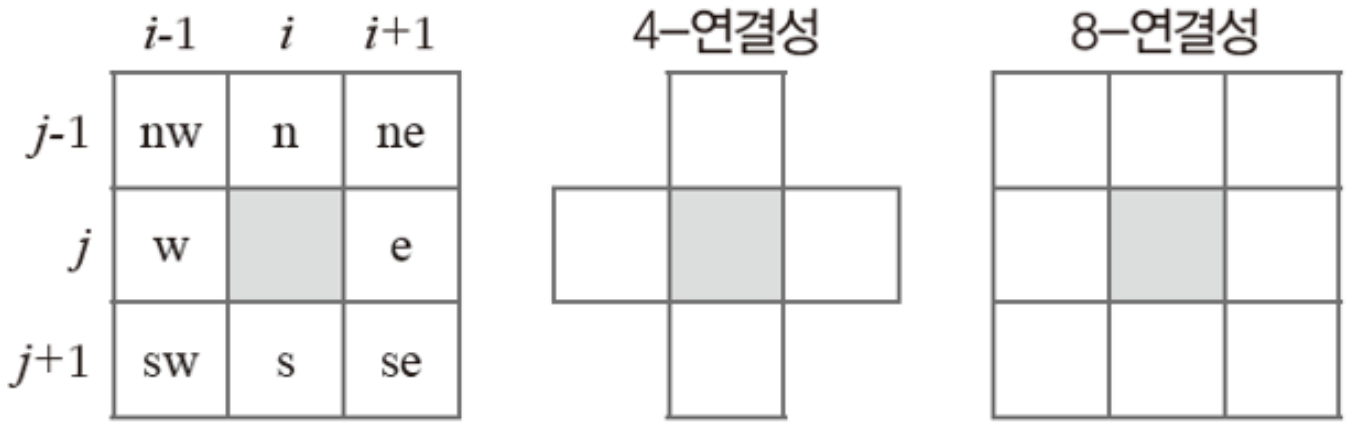
# Connected component

연결 요소

- 화소의 모양




- 화소의 연결성

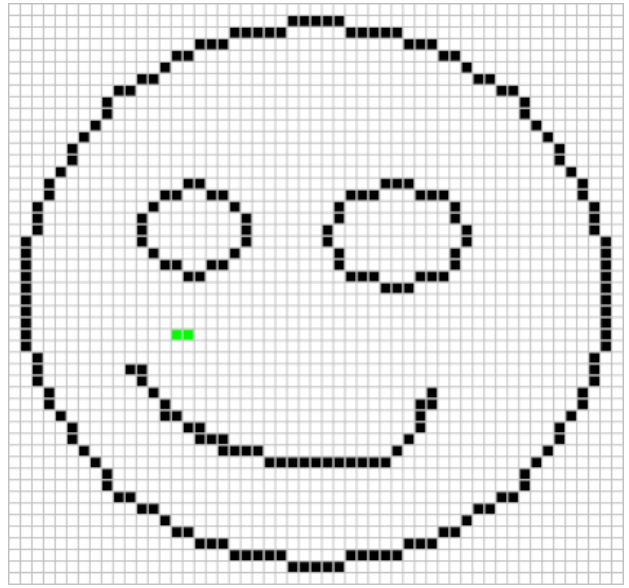


# Connected component

연결 요소 indexing

- 4-connectivity, 8-connectivity, …

# Connected component



Flood-fill (범람채움?) algorithm

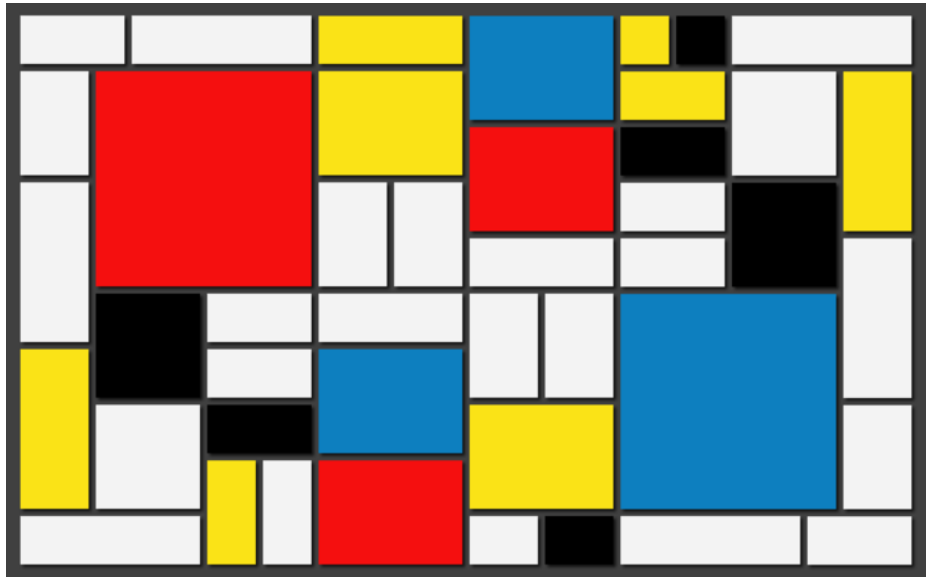
```
// b(j, i) - 이진 영상
// I(j, i) - 결과 값(Flood Fill)
// I의 경계를 0으로, 내부는 -1로 설정해준다.

label = 1;
for(i = 1 to M - 2) {
        for(i = 1 to N - 2) {
                if(I(j, i) = -1) { // 만약 I가 labeling 되지 않은 상태라면
                        flood_fill4(I, j, i, label); label++; // 다음으로 번호로 넘어가기
        }
}
function flood_fill4(I, j, i, label) {
        if(I(j, i) = -1) {
                I(j, i) = label; // labeling
                flood_fill4(I, j, i + 1, label); // 오른쪽
                flood_fill4(I, j - 1, i, label); // 위
                flood_fill4(I, j, i - 1, label); // 왼쪽
                flood_fill4(I, j + 1, i, label); // 아래
        }
}
```

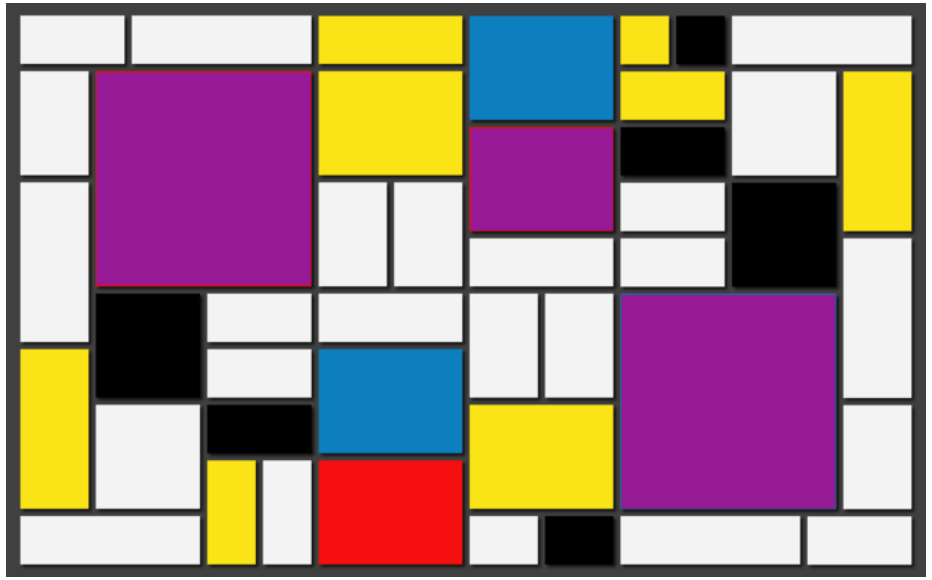
# Connected component

Flood-fill (범람채움?) algorithm

- 1_4_floodFill.py

```
retval = cv2.floodFill(src, mask, seed, newVal, loDiff, upDiff)
```





End of slide