

Temel Kavramlar

Dr. Meriç Çetin

versiyon19022019

Credit: P. Milanfar

Our brain is able to use an image as an input, and interpret it in terms of objects and scene structures.



Key stages in Digital Image Processing

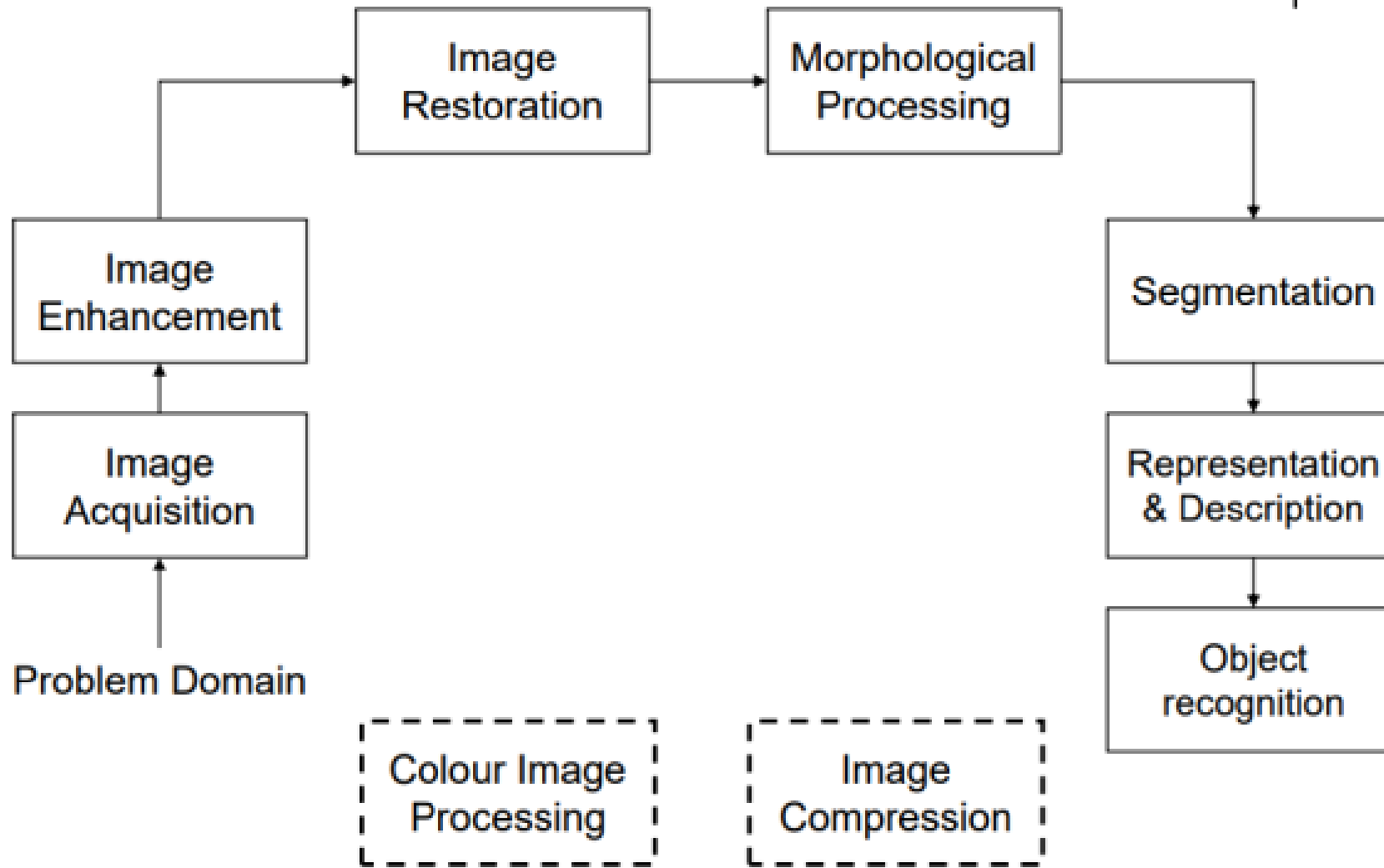


Image Acquisition

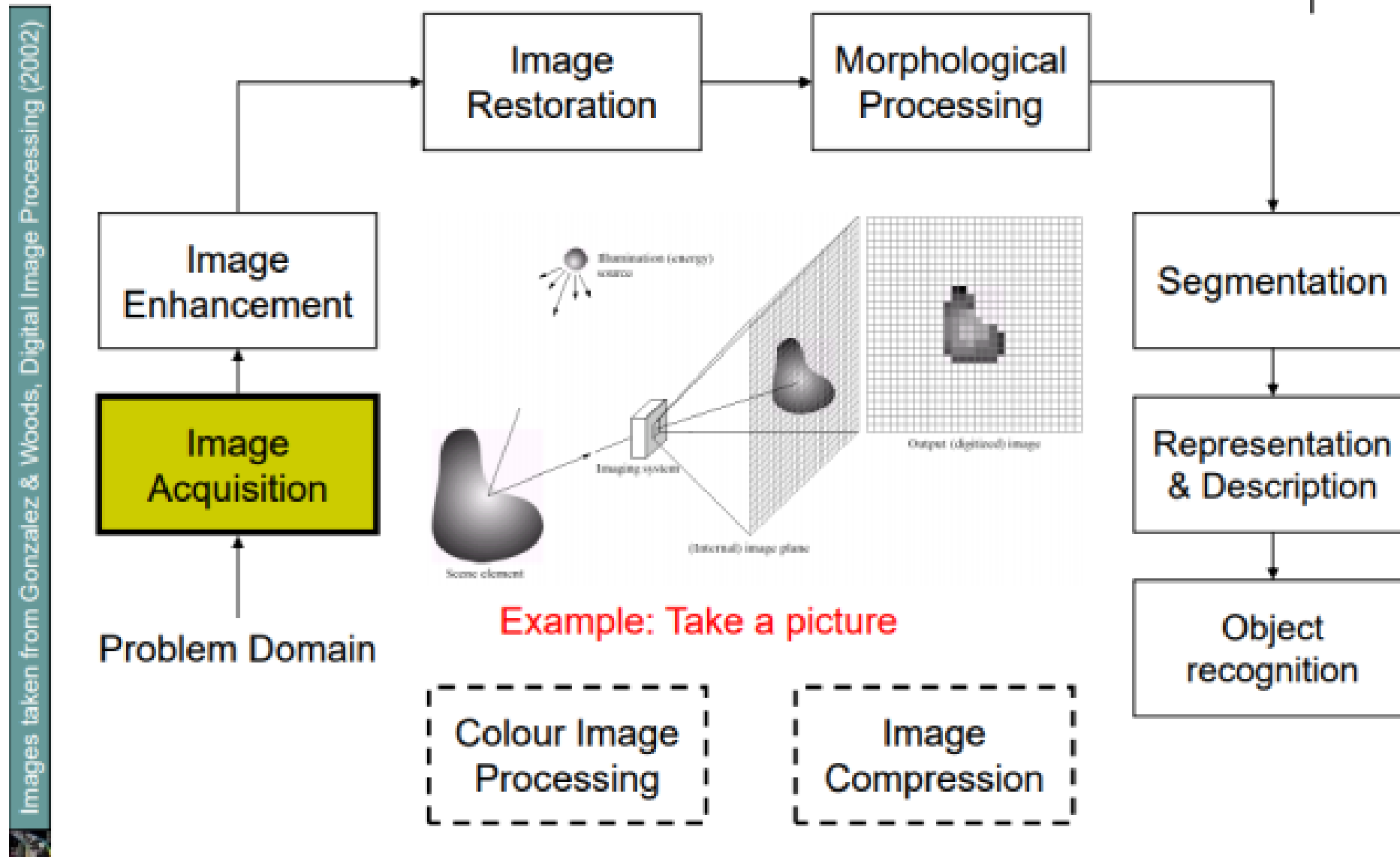


Image Enhancement

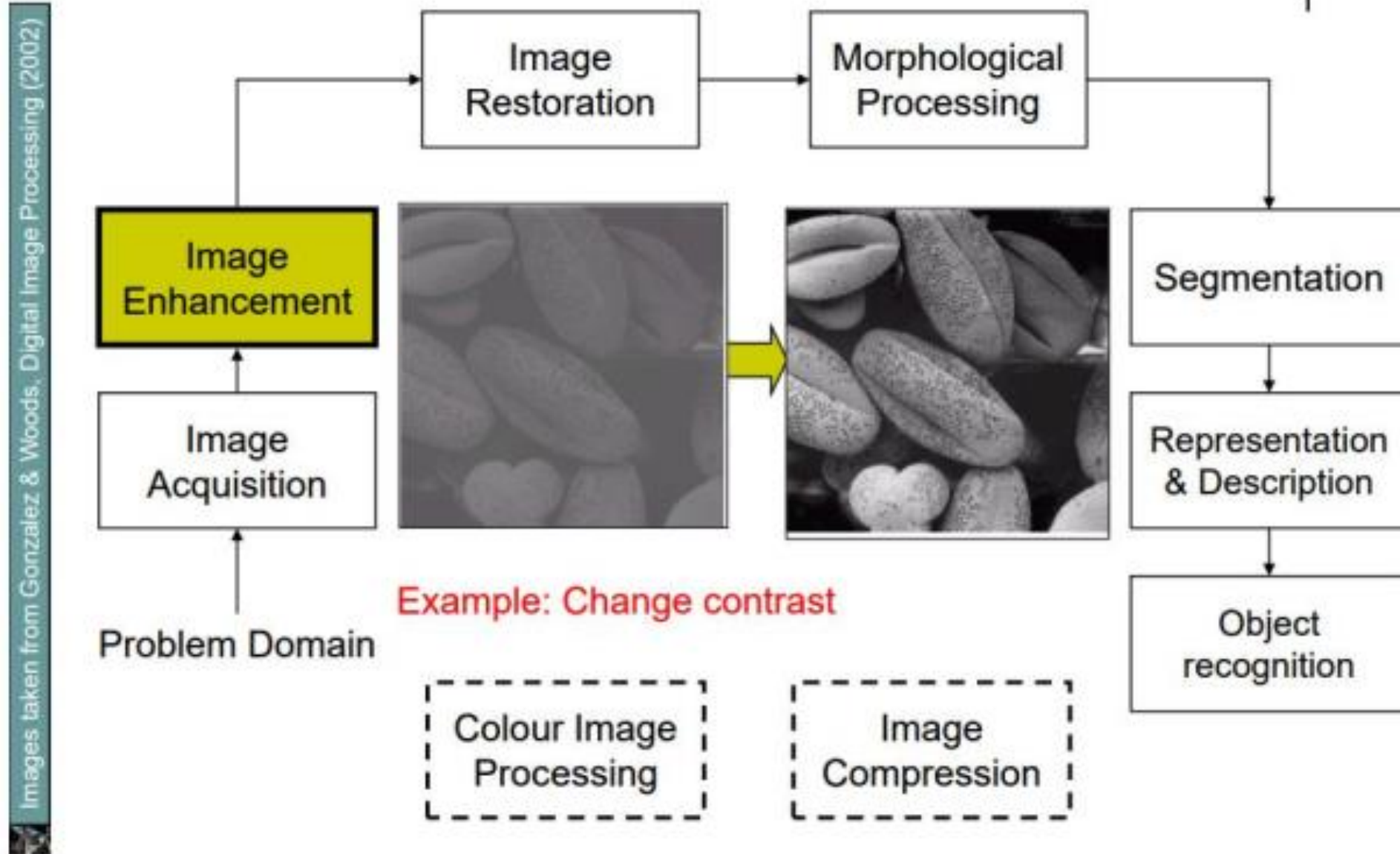
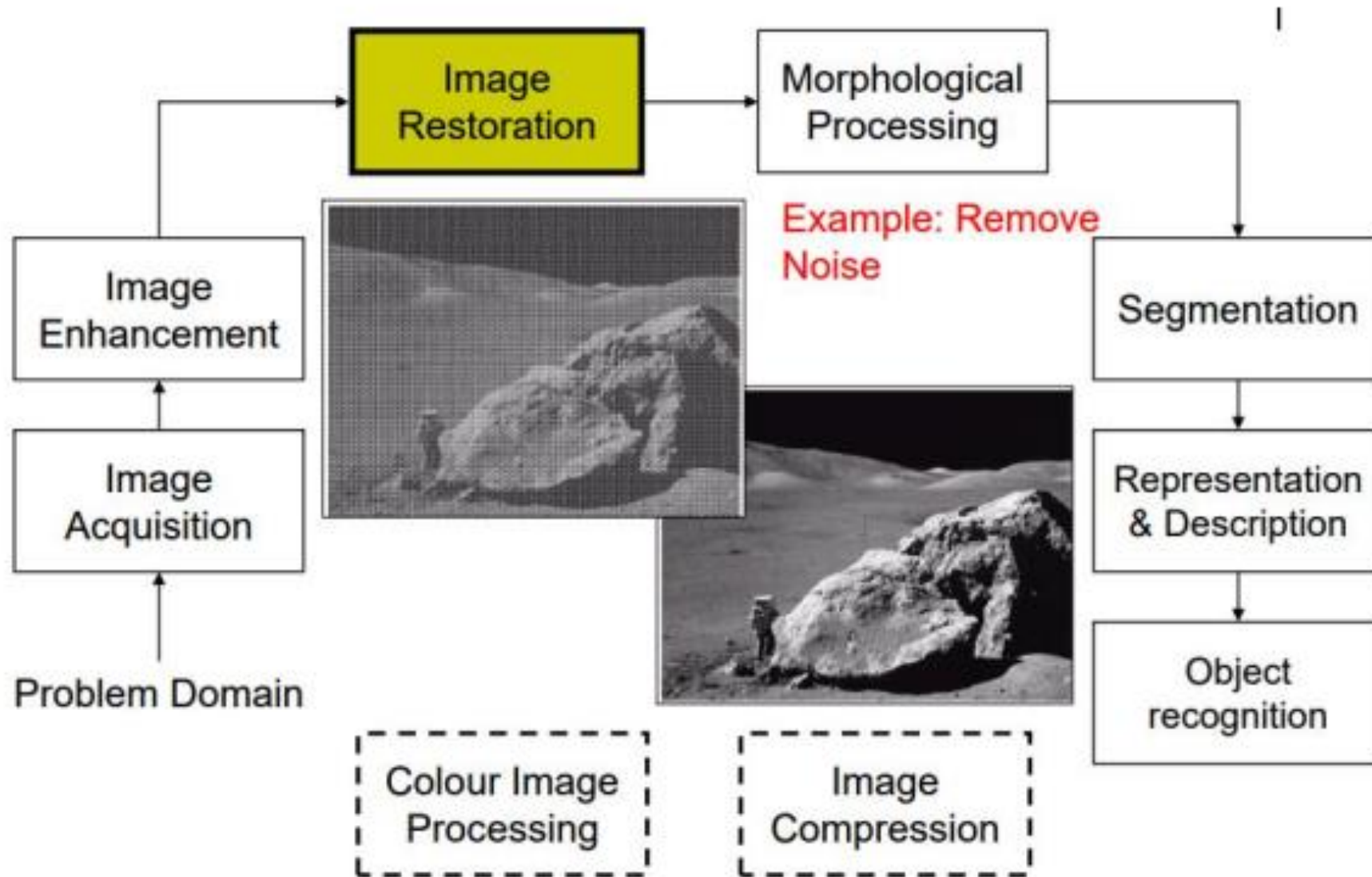
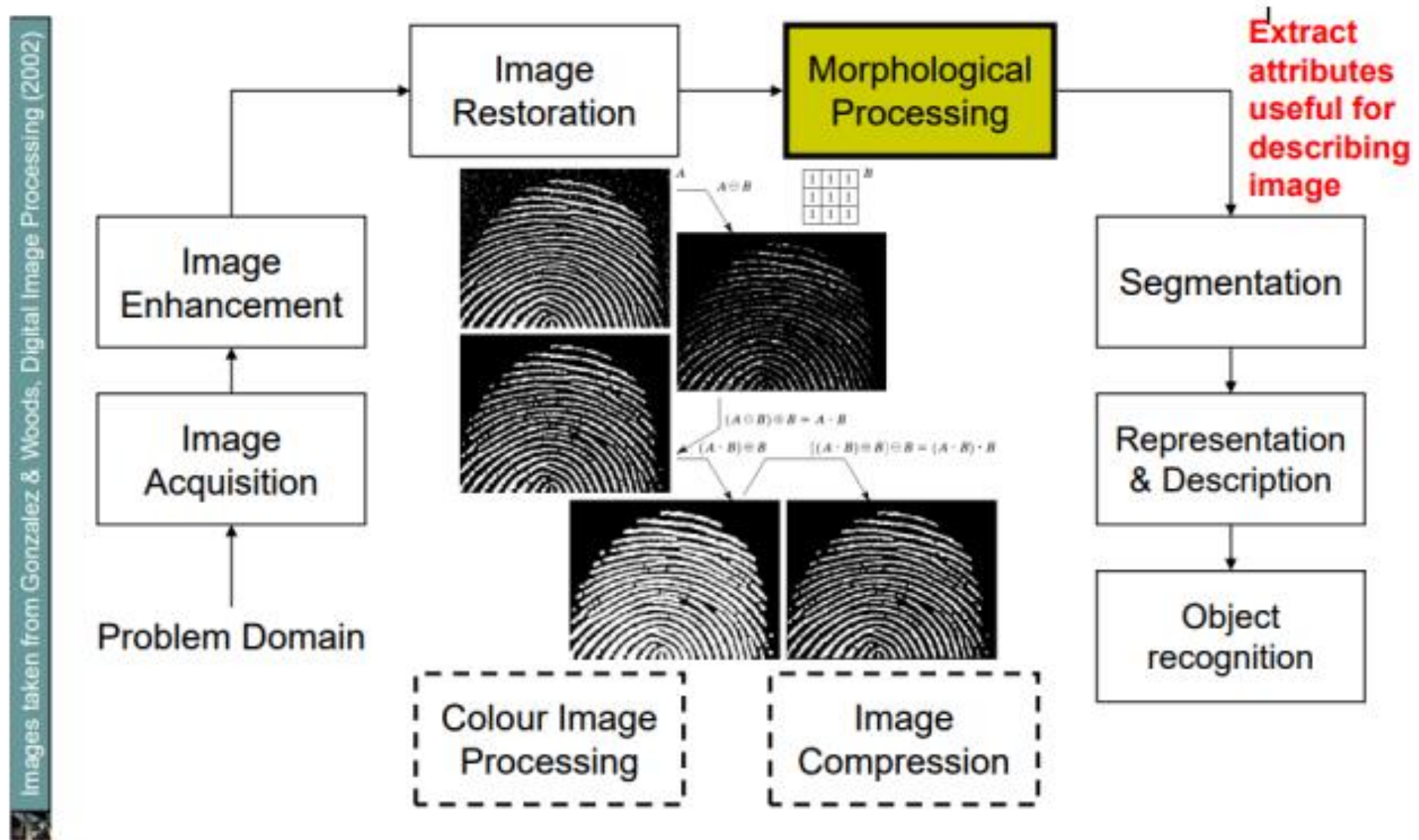


Image Restoration

Images taken from Gonzalez & Woods, Digital Image Processing (2002)



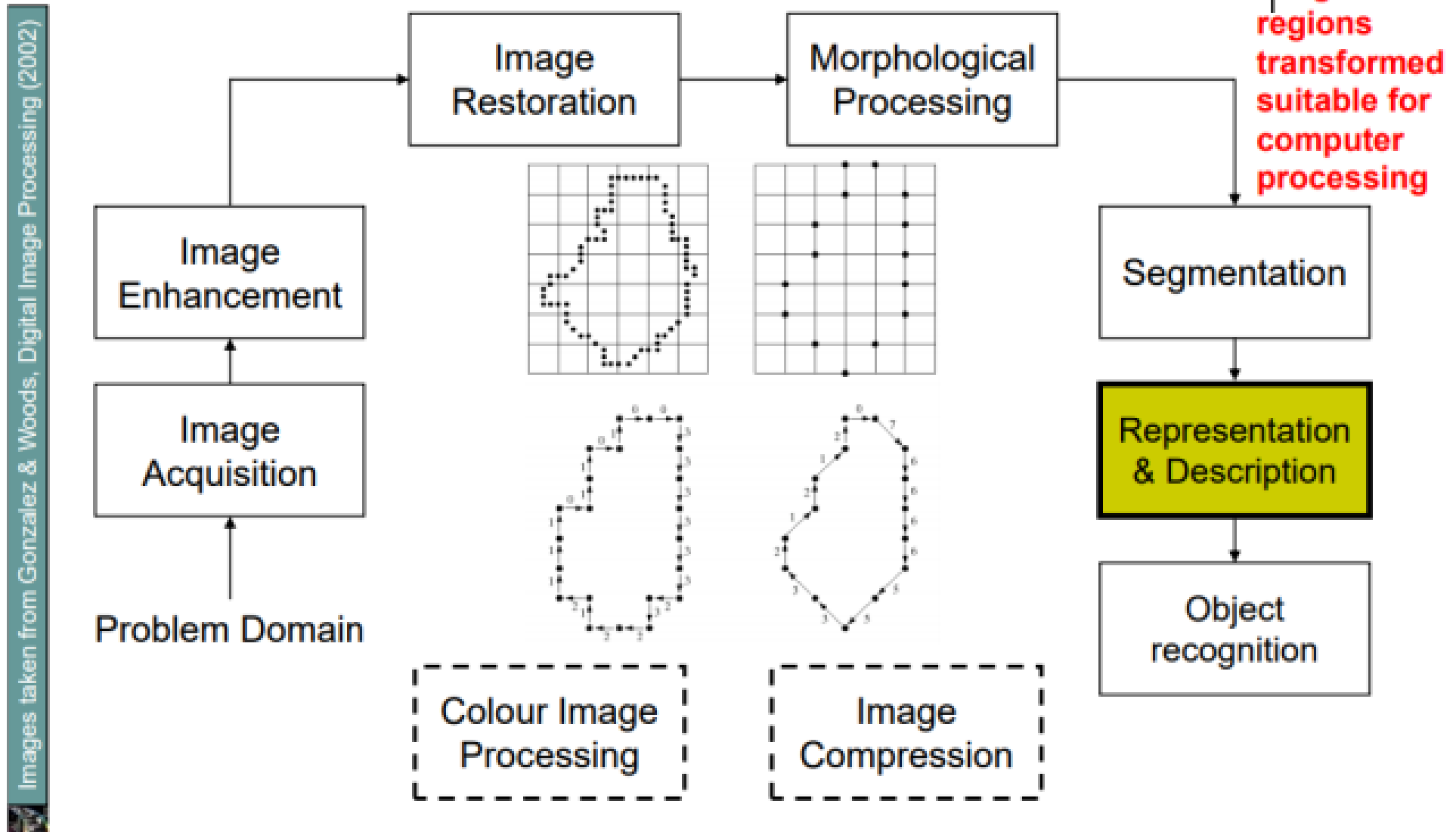
Morphological Processing



Images taken from Gonzalez & Woods, Digital Image Processing (2002)



Description



Recognition

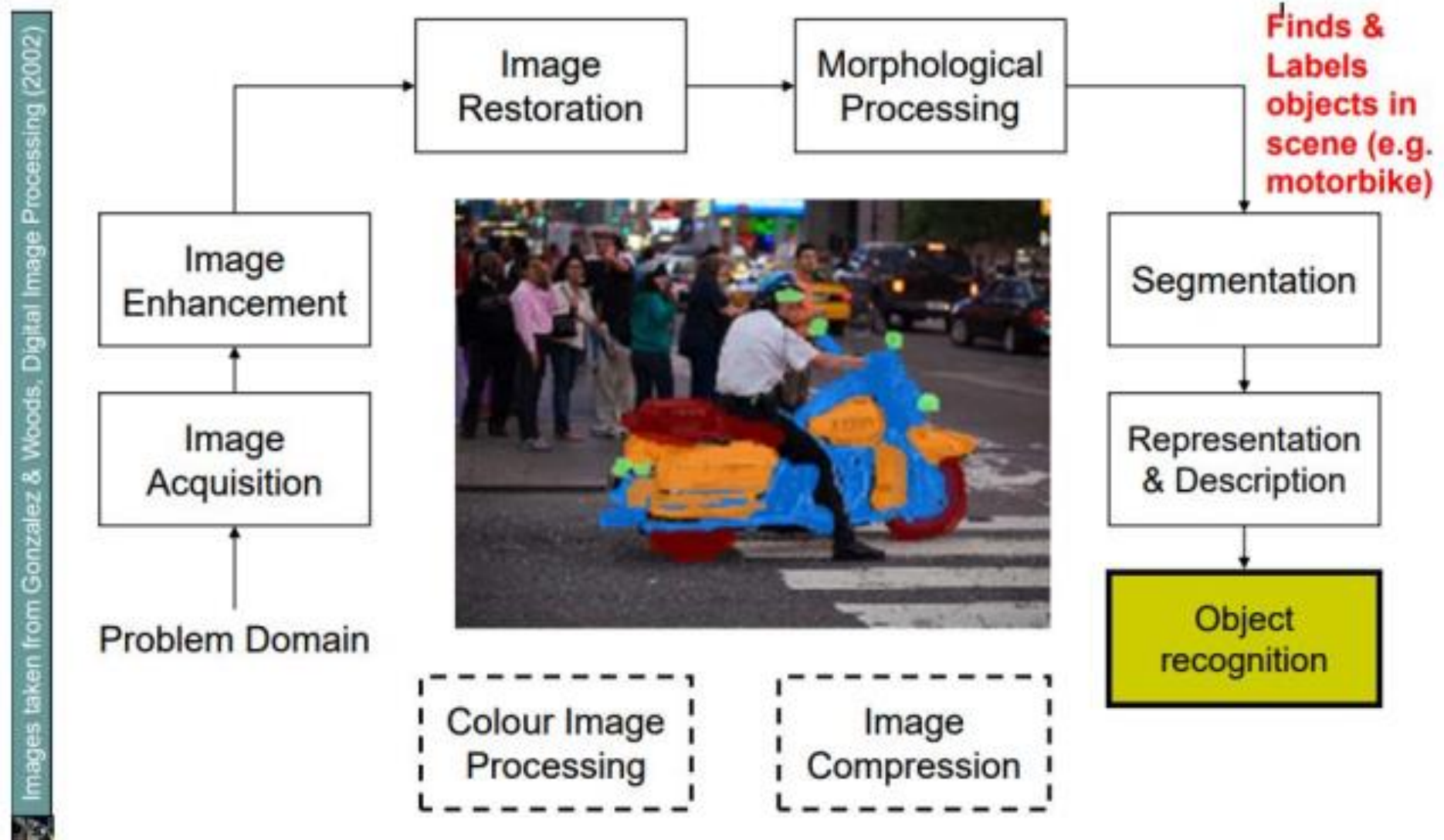
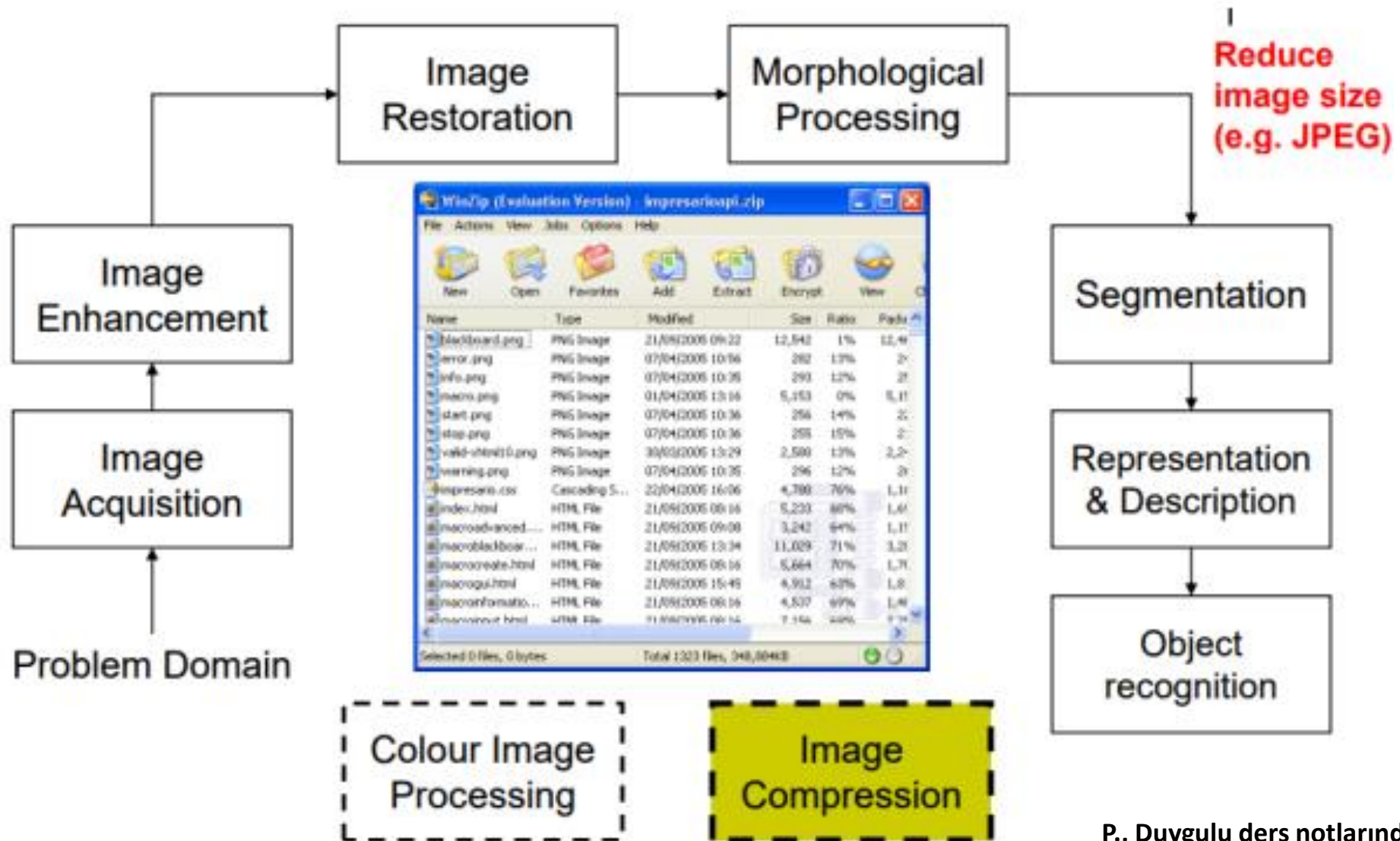
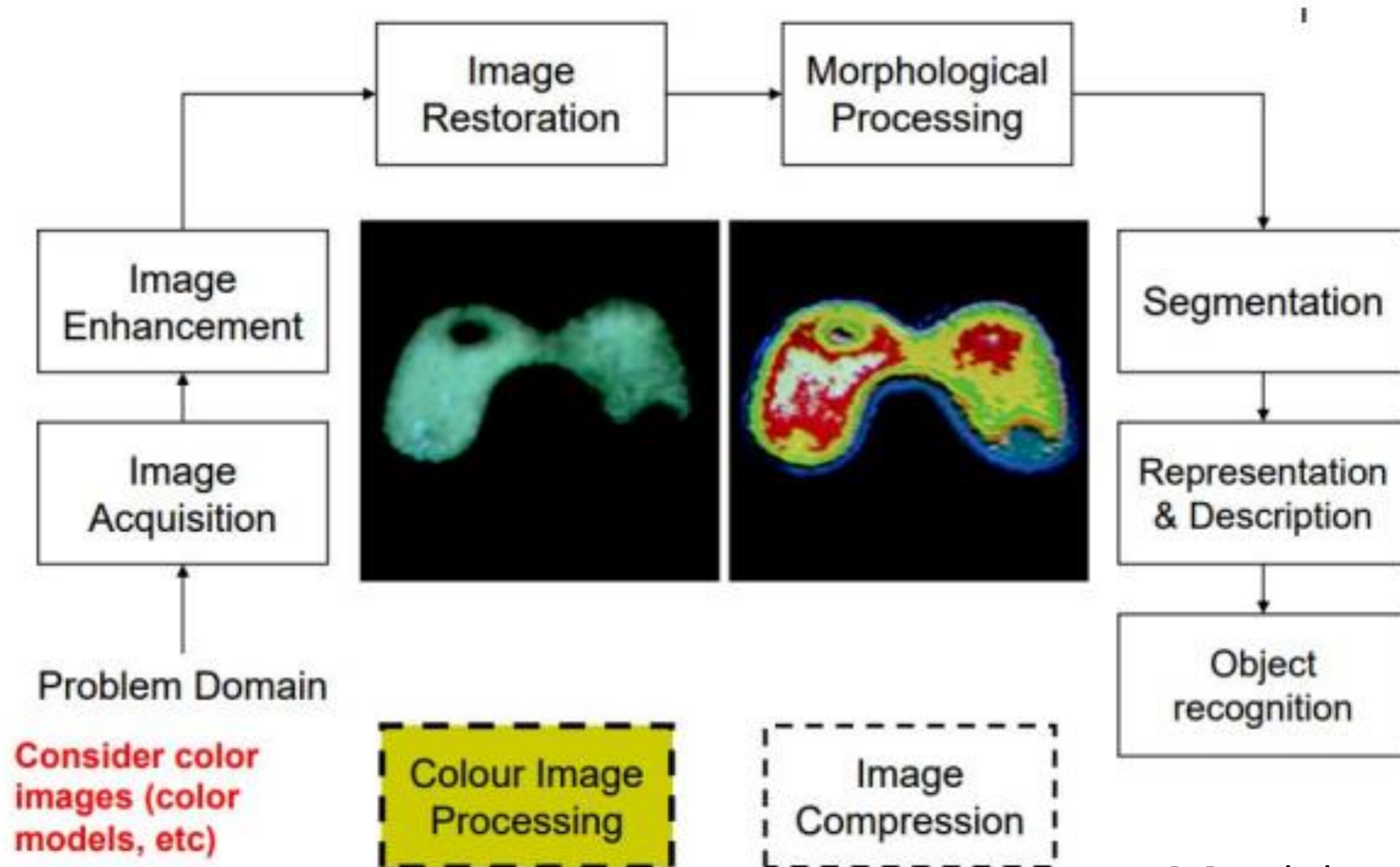


Image Compression



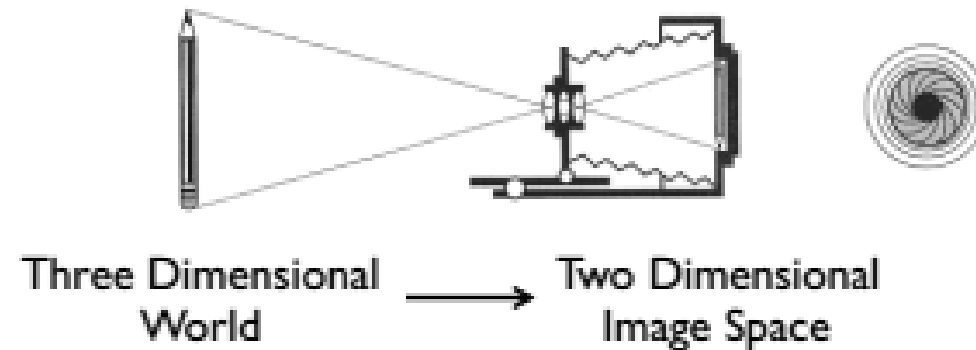
P., Duygulu ders notlarından alıntılanmıştır.

Colour image processing



P., Duygulu ders notlarından alıntılanmıştır.

Image Formation



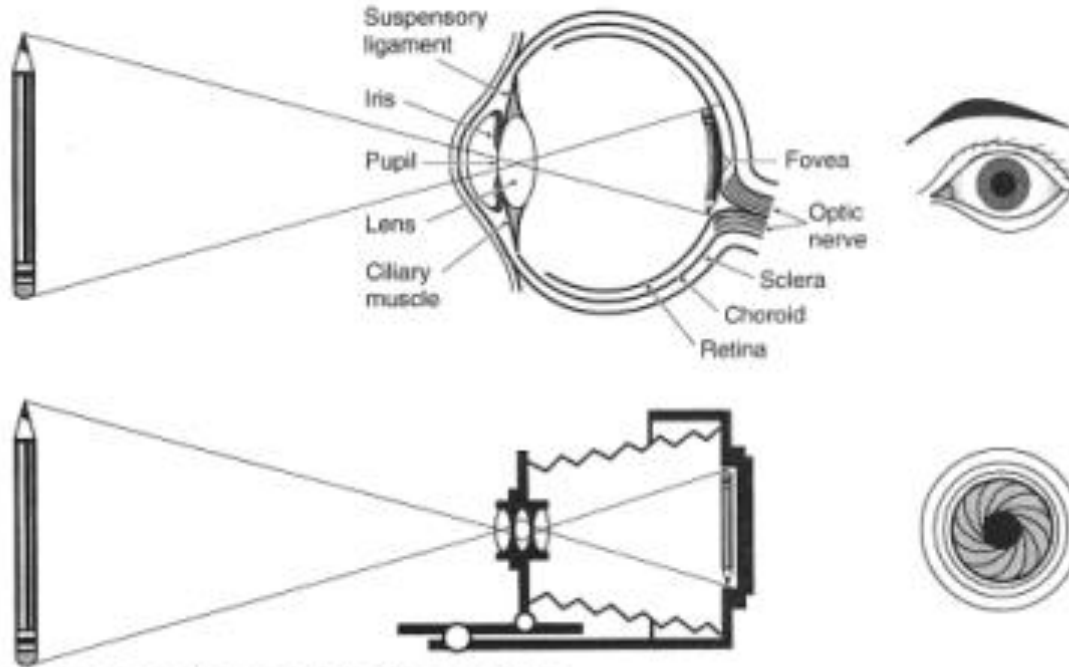
- What is measured in an image location?
 - brightness
 - color
- << viewpoint
illumination conditions
local geometry
local material properties

Human Eye

<https://tr.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/modal/v/vision-summary>



dinleyiniz



- Two types of receptor cells in retina:
 - Cone Receptor cells: 6-7 million → function in bright light, color sensitive, fine detail
 - Rod receptor cells: 75-150 million → function in dim light, color insensitive, coarse detail
- A recent discovery: Photosensitive retinal ganglion cells → sensitive to blue light

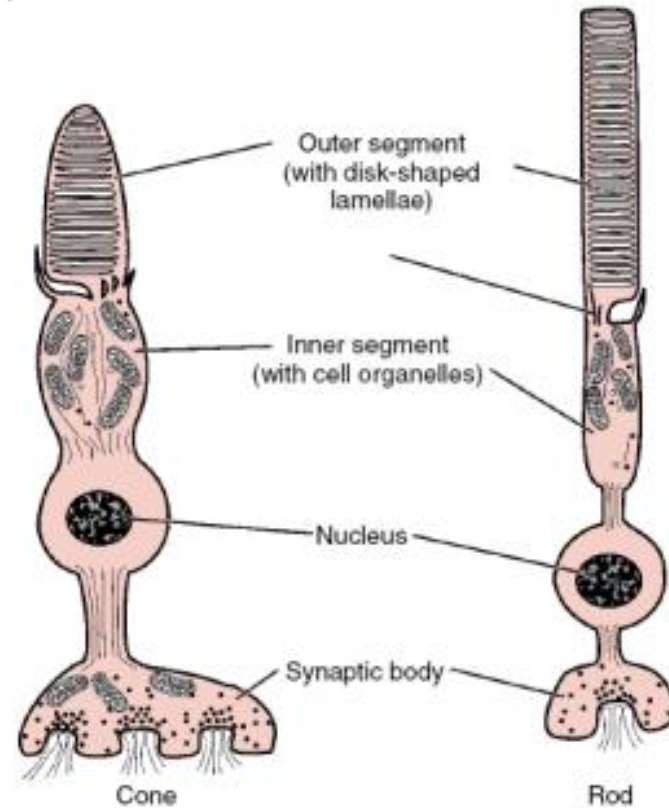
Two types of light-sensitive receptors

Cones

cone-shaped
less sensitive
operate in high light
color vision

Rods

rod-shaped
highly sensitive
operate at night
gray-scale vision

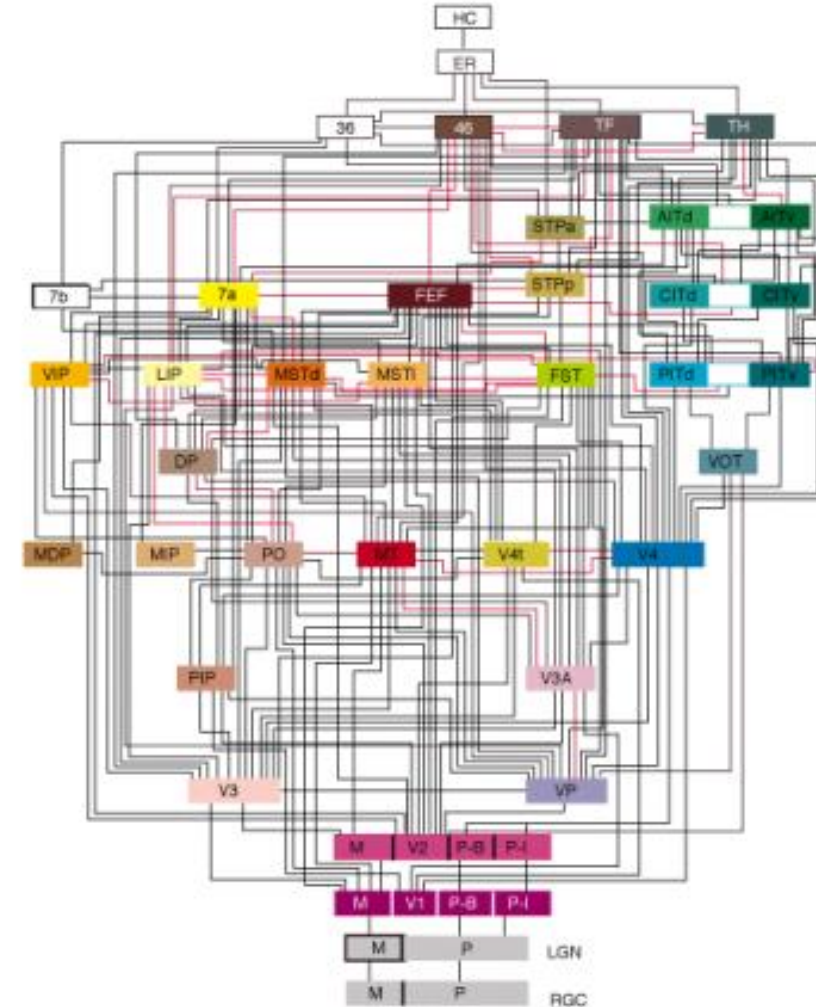
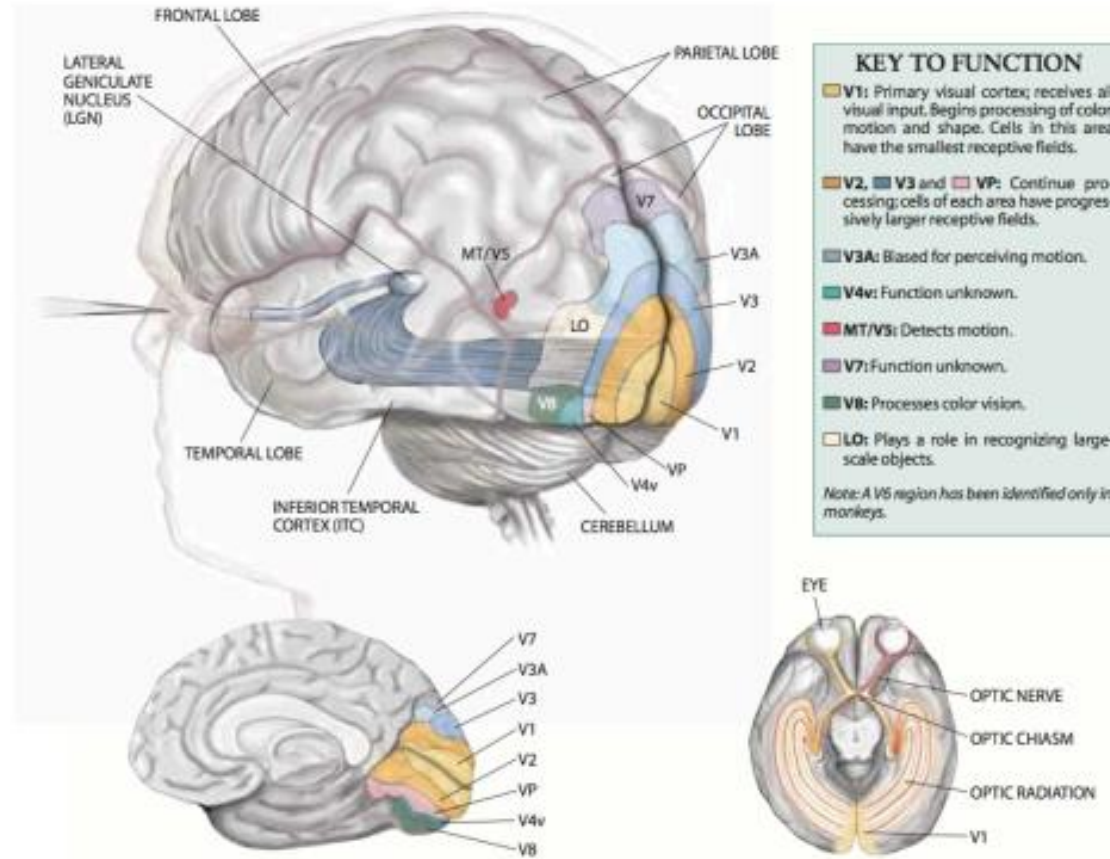


Images by Shimon Ullman

Slide credit: A. Efros

Hierarchy of Visual Areas

- There are many different neural connections between different visual areas.



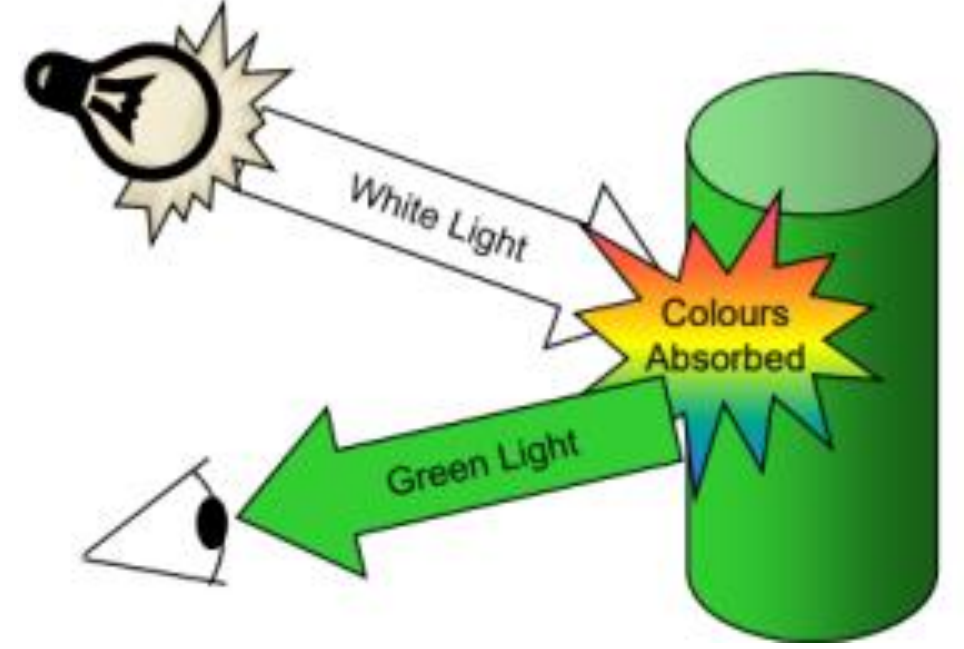
Figures: Nikos K. Logothetis, Vision: A Window on Consciousness, SciAm, Nov 1999F (on the left)
Felleman & van Essen, 1991 (on the right)

Görüntü ?

Görme ?

Görünüm ?

- Nesnelerin, yüzeylerine çarpan veya içlerinden geçen ışınları yansıtma yoluyla algılanmalarına **görme**;
- söz konusu nesnelerin bu yoldan algılanabilen içeriğine **görünüm**;
- görünümün herhangi bir biçimde sağlanmış iki-boyutlu (2B) çizgesi ise **görüntü** olarak adlandırılır.
- Görüntü, üç-boyutlu (3B) görünümün iki boyut üzerindeki haritası olarak da tanımlanabilir.



- Bir nesnenin x, y, z koordinatlarındaki bir noktasının herhangi bir t anındaki görünümünü temsil eden matematiksel ifade en genel anlamda:

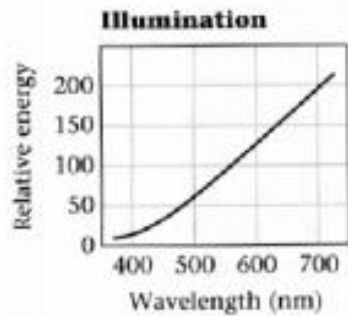
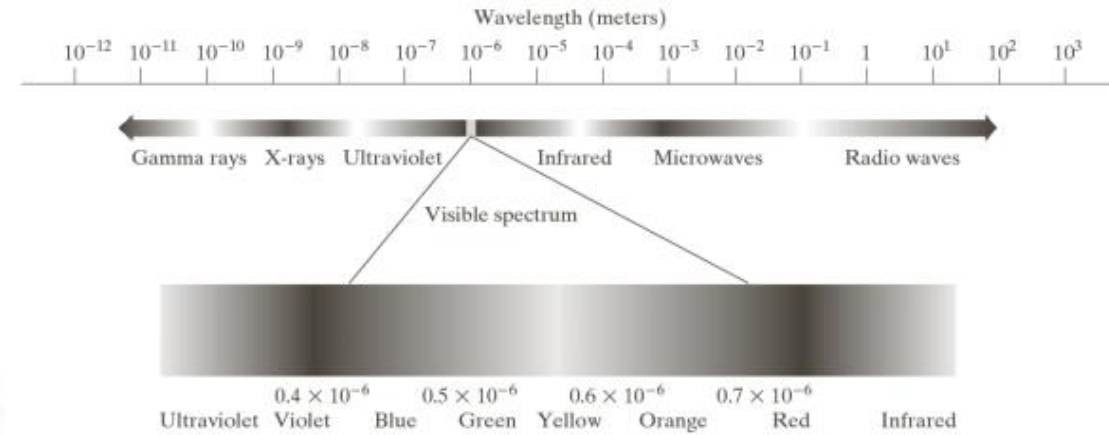
$$f(x, y, z, t, \lambda) = i(x, y, z, t, \lambda) r(x, y, z, t, \lambda)$$

- $i(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ **Aydınlatma (illumination)** fonksiyonu olup, bir nesnenin x, y, z uzaysal koordinatlarında herhangi bir noktasına herhangi bir t anında gelen λ dalga boyuna sahip ışığı temsil eder.
- $r(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ **Yansıtma (reflectance)** fonksiyonunu temsil eder.
- $f(x, y, z, t, \lambda) \rightarrow$ **Görüntü** fonksiyonu olup ışık yoğunluğu fonksiyonu olarak da adlandırılır.

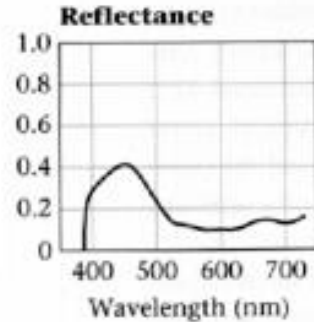
Interaction of light and surfaces



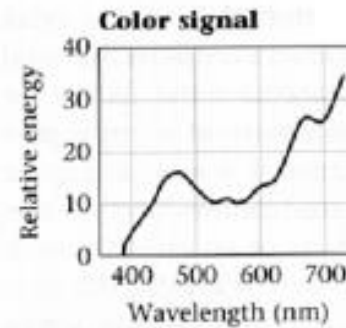
- Reflected color is the result of interaction of light source spectrum with surface reflectance



• *



=



Slide credit: A. Efros

- (x, y, z) uzaysal koordinatlarında f 'nin genliği veya değeri, o noktada görüntünün parlaklığını veya ışık yoğunluğunu tanımlar.
- Işık bir enerji biçimi olduğundan dolayı $f(x, y, z, t, \lambda)$ sıfırdan farklı ve sonlu bir değere sahip olmalıdır.

$$0 < f(x, y, z, t, \lambda) < \infty$$

$$0 < i(x, y, z, t, \lambda) < \infty$$

- Yansıtma fonksiyonu için $0 < r(x, y, z, t, \lambda) < 1$

$$r = 0 ?$$

$$r = 1 ?$$

Aydınlatma fonksiyonu için bazı tipik değerler:

Güneşli açık bir günde güneş, yeryüzünü 9000 fc[†]'den daha fazla bir ışık kuvvetiyle aydınlatır. Bu değer bulutlu havalarda 1000 fc'den daha aşağılara kadar düşebilir. Akşam açık bir günde ay yeryüzünü yaklaşık olarak 0.01 fc ışık kuvvetiyle aydınlatır. Ticari bir işyerindeki tipik aydınlatma seviyesi ise yaklaşık olarak 100 fc civarındadır.

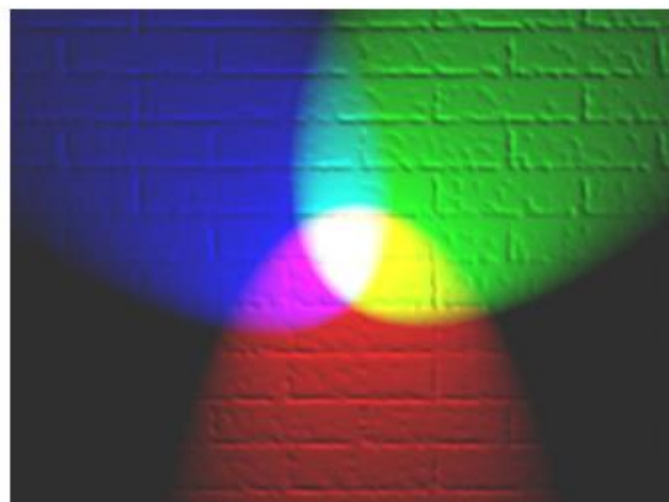
Yansıtma fonksiyonu için bazı tipik değerler:

• Siyah kadife kumaş	→	0.01	• Gümüş kaplamalı metal	→	0.90
• Paslanmaz çelik	→	0.65	• Kar	→	0.93
• Donuk beyaz duvar boyası	→	0.80			

[†] fc = foot-candle, aydınlık düzeyi olup 1 fc = 0.0929 lux'dür (Bakınız [2]).

Color and light

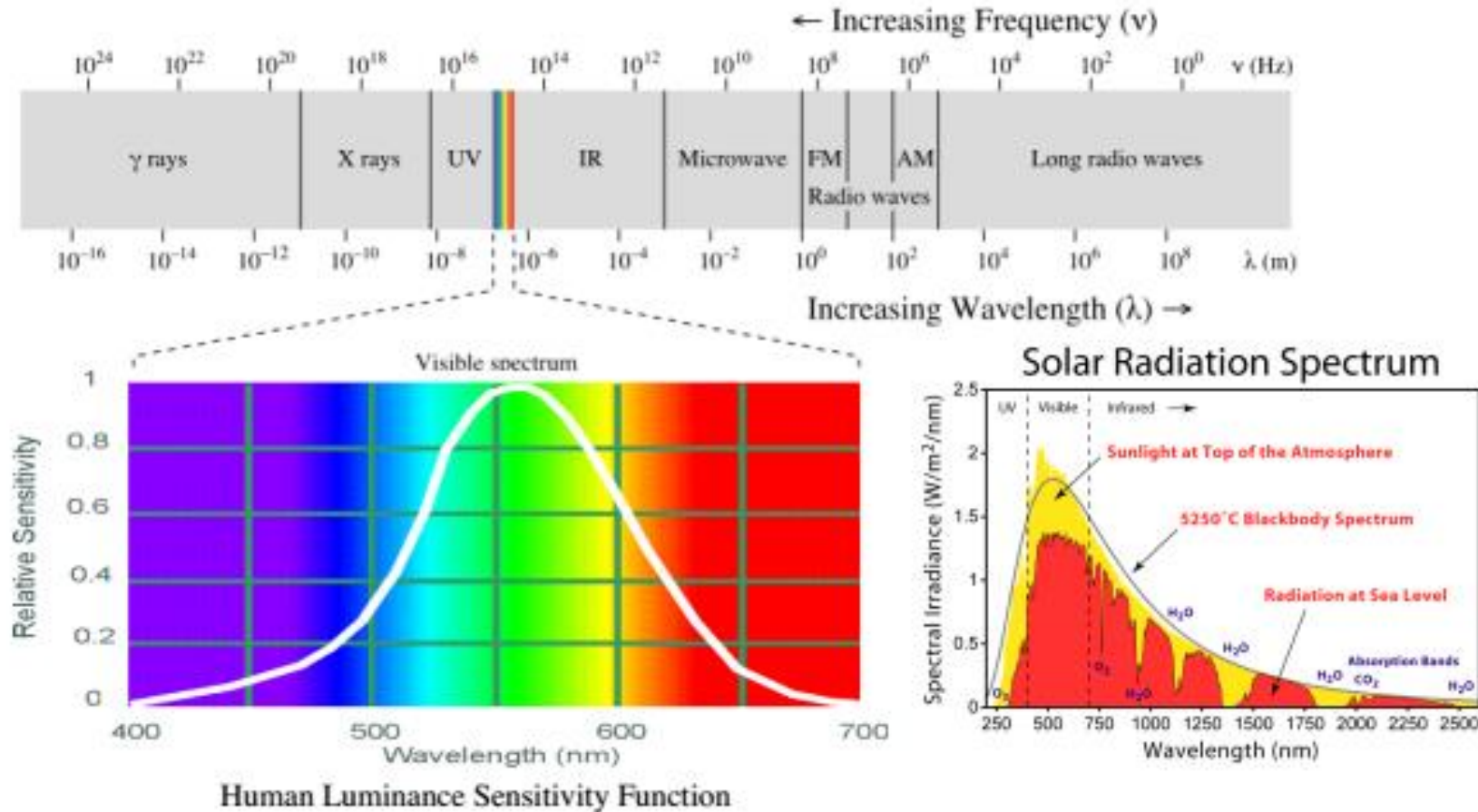
- **Color of light** arriving at camera depends on
 - Spectral reflectance of the surface light is leaving
 - Spectral radiance of light falling on that patch
- **Color perceived** depends on
 - Physics of light
 - Visual system receptors
 - Brain processing, environment
- Color is a phenomenon of human perception; it is **not** a universal property of light



Slide credit: K. Grauman, S. Marschner

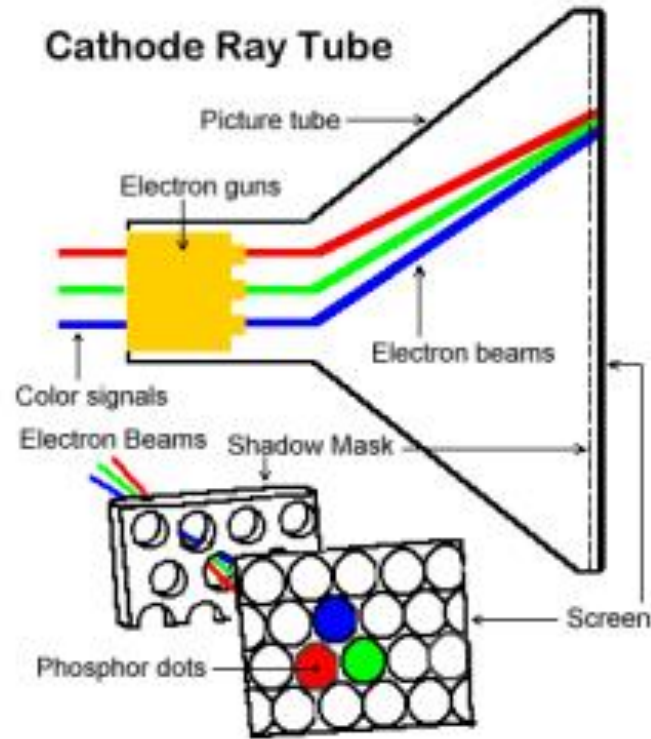
Electromagnetic spectrum

- Light is electromagnetic radiation
 - exists as oscillations of different frequency (or, wavelength)



Slide credit: A. Efros

Examples of additive color systems



CRT phosphors



multiple projectors

Digital color images

Color images, RGB
color space



R



G

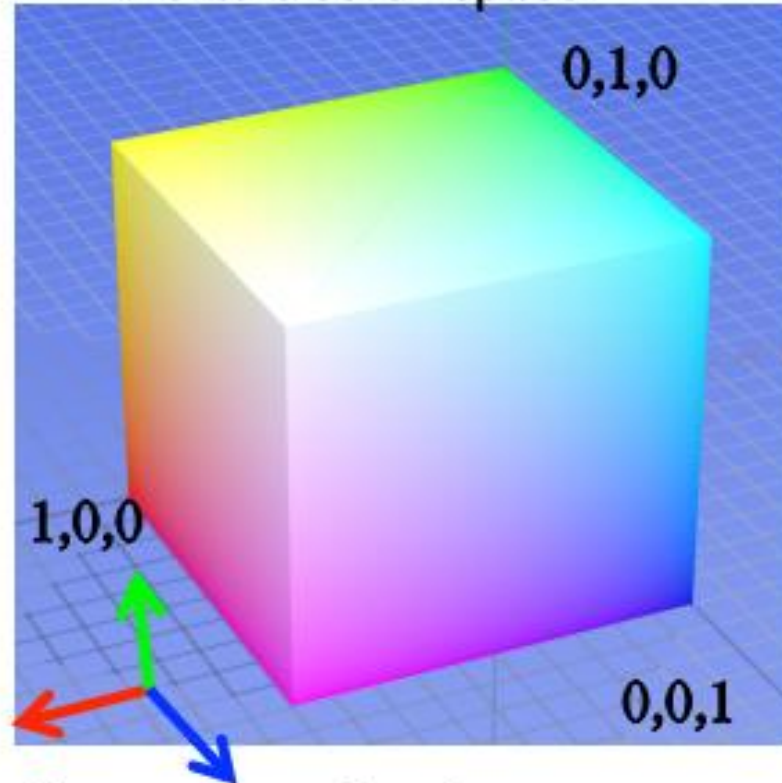


B

Slide credit: K. Grauman

Color spaces: RGB

Default color space



Some drawbacks

- Strongly correlated channels
- Non-perceptual



R

(G=0,B=0)



G

(R=0,B=0)



B

(R=0,G=0)

Sayısal Görüntü Oluşumu

- Görüntü fonksiyonu $f(x, y)$, belirli bir aralıkta sürekli olarak değişen $[xmin, xmax]$ ve $[ymin, ymax]$ değişkenlerinin bir fonksiyonudur.
- Görüntü fonksiyonu, $f(x, y)$, $[fmin, fmax]$ aralığında sürekli olarak değişen reel değerler alır. Başka bir ifadeyle, $f(x, y)$ sürekli bir fonksiyon olup **analog görüntüyü** temsil eder.
- Sayısal bilgisayarlar, **sürekli fonksiyonları/parametreleri işleyebilir mi?**

Sayısal Görüntü Oluşumu

- Sayısal bilgisayarlar, sürekli fonksiyonları/parametreleri **işleyemezler**.
- *Sayısallaştırma için ilk önce*
 - **örnekleme** daha sonra
 - **nicemleme (kuantalama)** yapılır.
- Sonuç olarak, $f(x, y)$ fonksiyonunun bilgisayar ortamında işlenebilmesi için hem **konumsal** (uzaysal) olarak hem de **genlikte** sayısallaştırılması gerekir.

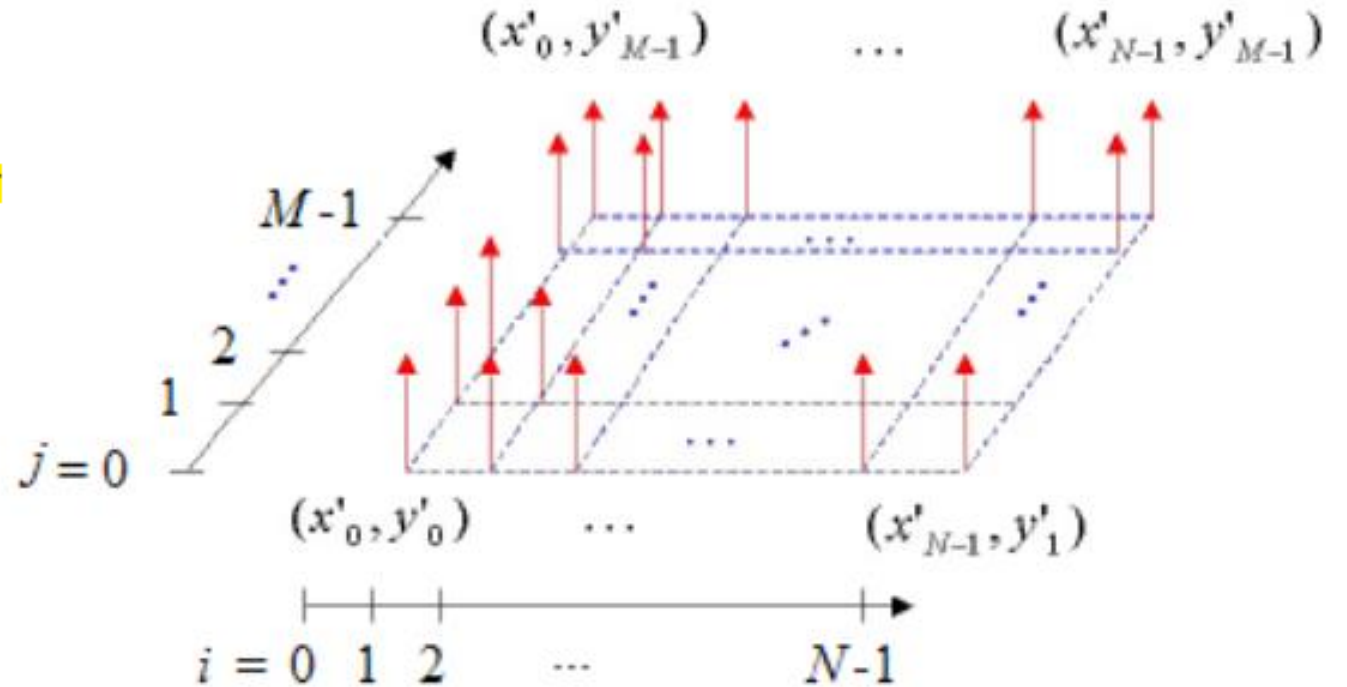
Görüntü Örnekleme (sampling)

- Düzgün örnekleme, analog görüntüden hem yatay hem de düşey yönde eşit aralıklarla örneklerin alınması ile gerçekleştirilir.
- Sürekli-zamanlı bir görüntü fonksiyonundan ayırık-zamanlı görüntü fonksiyonu matematiksel olarak

$$f_c(x'_i, y'_i) = f_c(x', y') \text{ comb}(x', y')$$

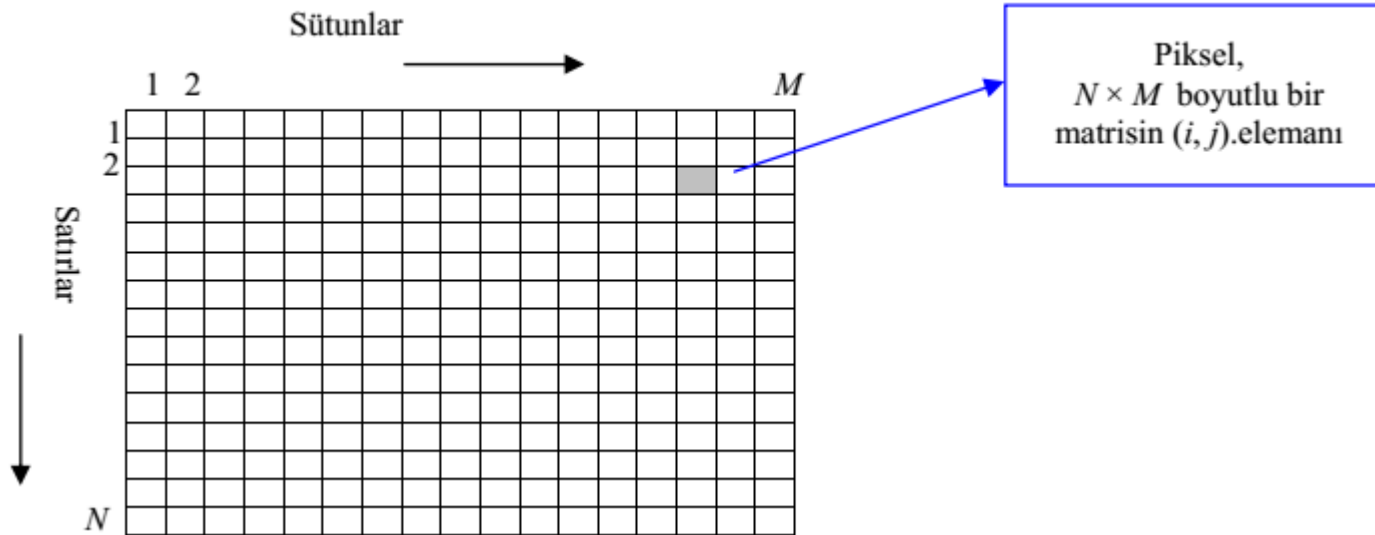
tarak fonksiyonu kaydırılmış impulsların toplamından oluşur

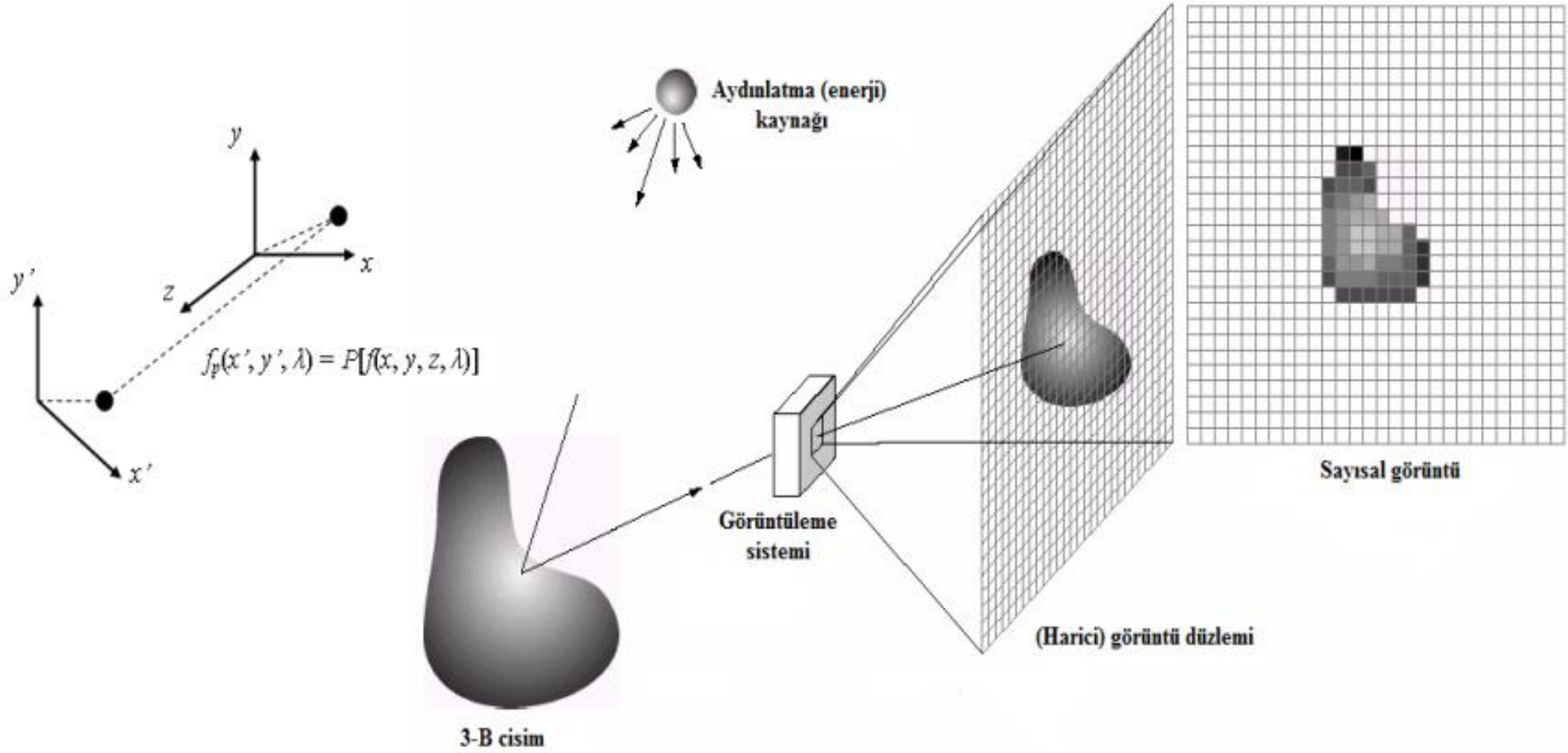
$$\text{comb}(x', y') = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \delta(x'-i, y'-j)$$



Görüntü Nicemleme (quantization)

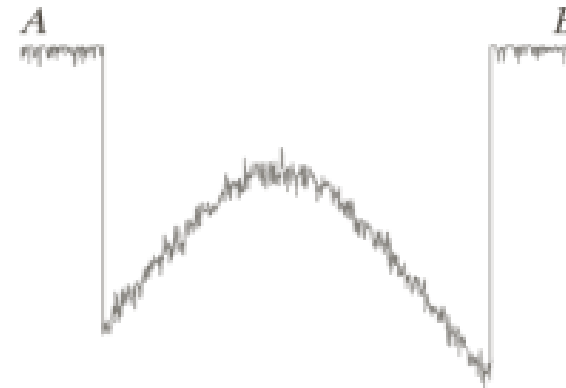
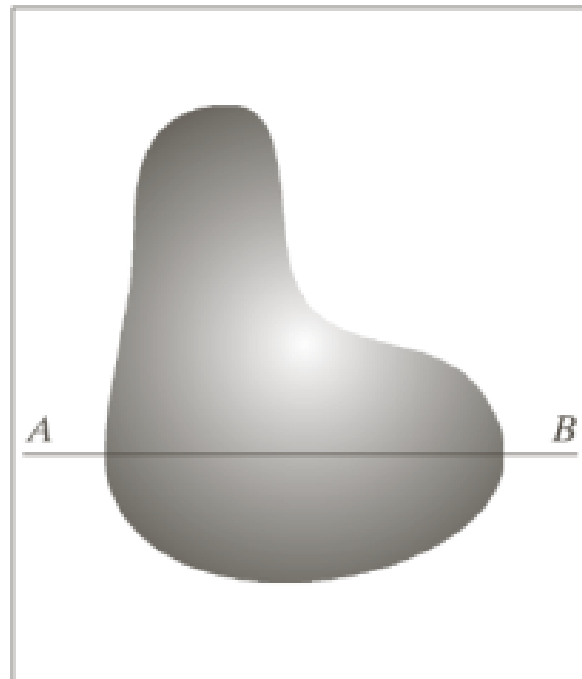
- Örnekleme işlemi sonucunda sürekli-zamanlı görüntü fonksiyonunun belirli anlardaki değerlerine karşı düşen ayırık görüntü fonksiyonu elde edilir. Ayırık görüntü fonksiyonunun bilgisayarın anladığı ikili sayılarla (0 ve 1) kodlanabilmesi için nicemleme işlemine tabi tutulması gerekir.
- Nicemleme işlemi, ayırık görüntü işaretinin en küçük ve en büyük genlik değerlerinin aralığını basamaklara ayırarak ilgili basamak değerine en yakın olan görüntü işareti değerlerini basamak değeri olarak tayin etme işlemidir.
- Örnekleme ve nicemleme işlemlerinden sonra elde edilen sayısal görüntü,



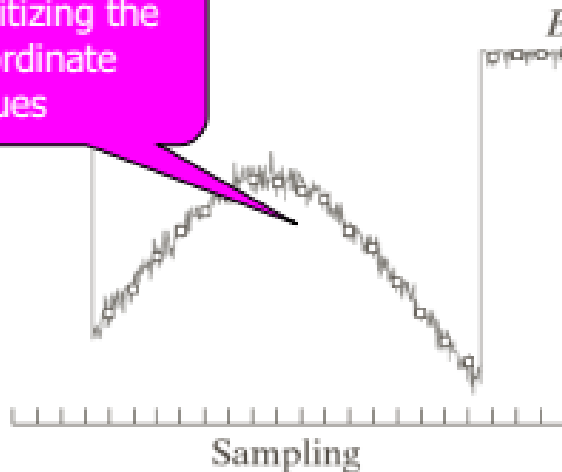


2-B görüntünün elde edilmesi: (x, y, z) koordinatlarından (x', y') koordinatlarına yansıtma (projection).

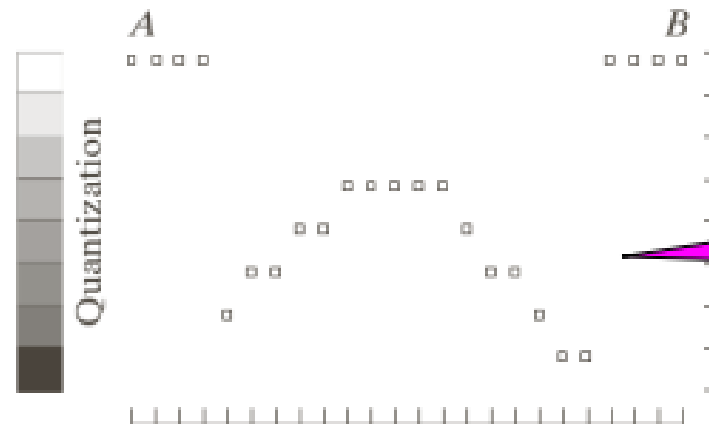
Image Sampling and Quantization



Digitizing the
coordinate
values



Sampling



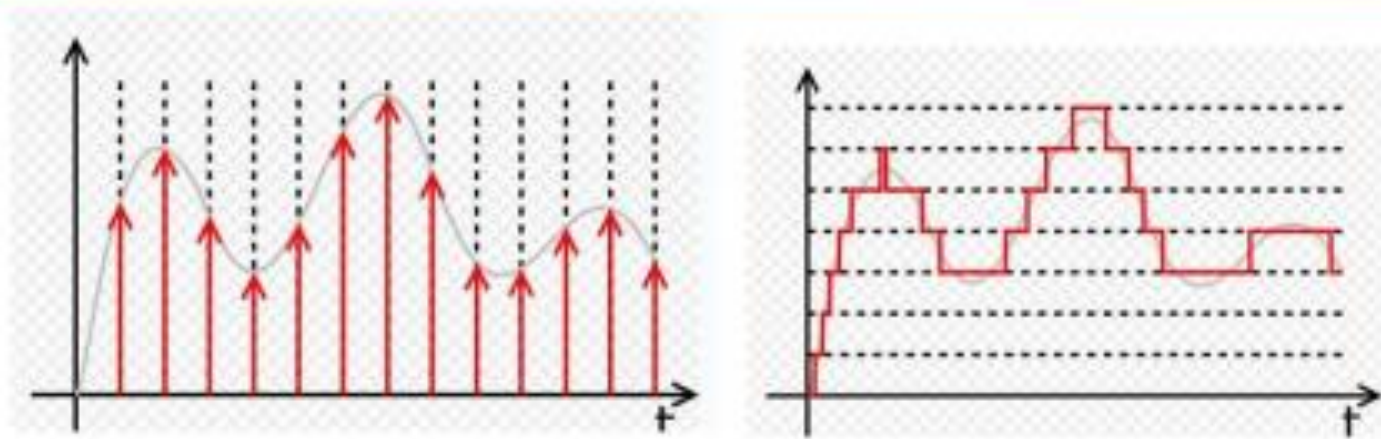
a	b
c	d

FIGURE 2.16

Generating a digital image.
(a) Continuous image. (b) A scan line from *A* to *B* in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization.
(c) Sampling and quantization.
(d) Digital scan line.

Digitizing the
amplitude
values

Sampling and Quantization



real image



sampled

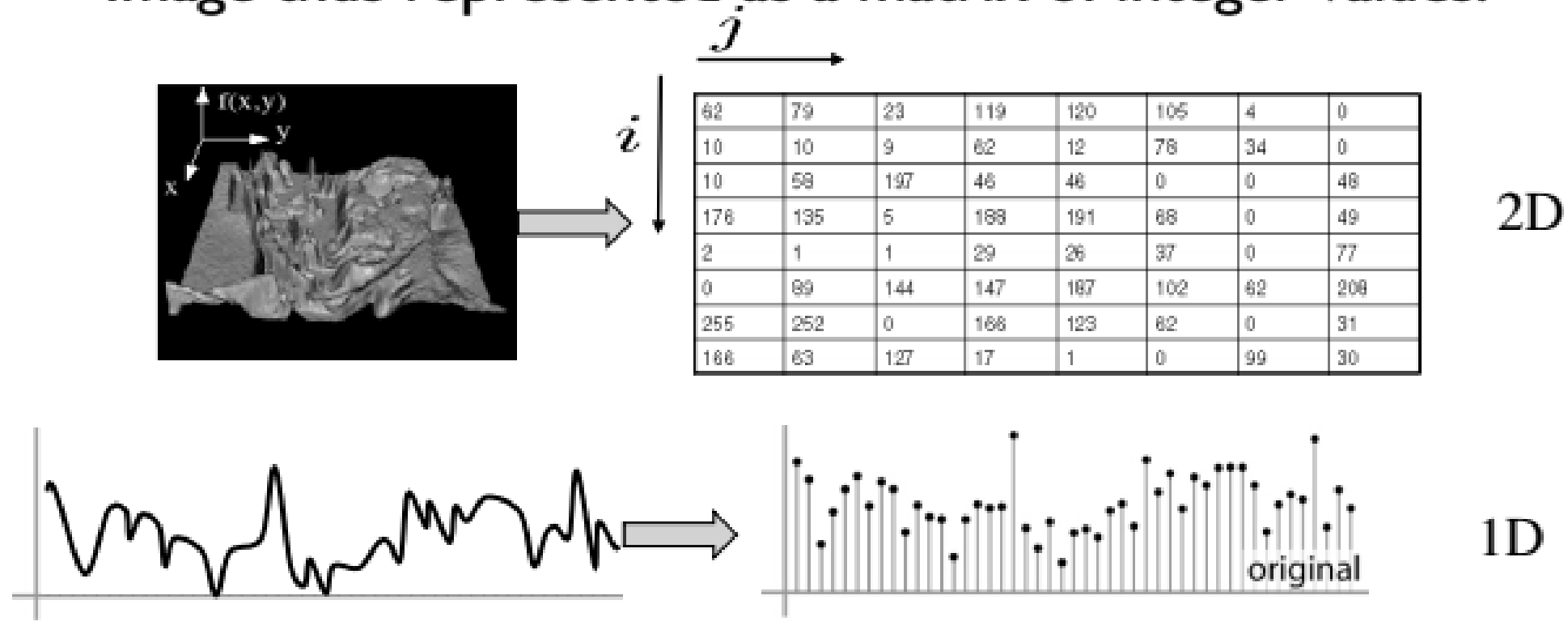


quantized

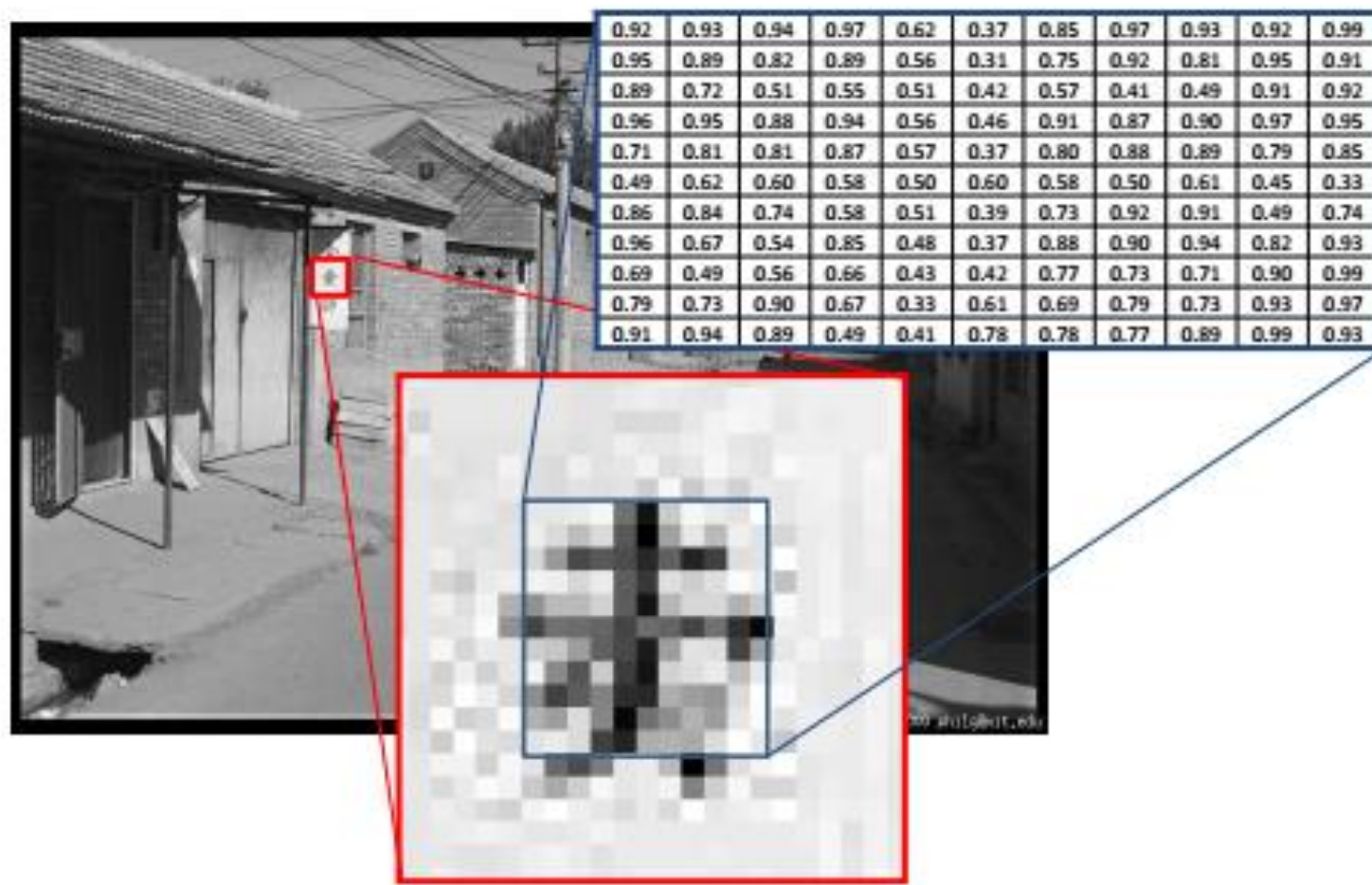


sampled &
quantized

- Sample the 2D space on a regular grid
- Quantize each sample (round to nearest integer)
- Image thus represented as a matrix of integer values.



- **Digital image:** 2D discrete function f
- **Pixel:** Smallest element of an image $f(x,y)$



Slide credit: M. J. Black

Representing Digital Images

- The representation of an $M \times N$ numerical array as

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

- The representation of an $M \times N$ numerical array as

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

Representing Digital Images

- Discrete intensity interval $[0, L-1]$, $L=2^k$
- The number b of bits required to store a $M \times N$ digitized image

$$b = M \times N \times k$$

TABLE 2.1

Number of storage bits for various values of N and k .

N/k	1 ($L = 2$)	2 ($L = 4$)	3 ($L = 8$)	4 ($L = 16$)	5 ($L = 32$)	6 ($L = 64$)	7 ($L = 128$)	8 ($L = 256$)
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

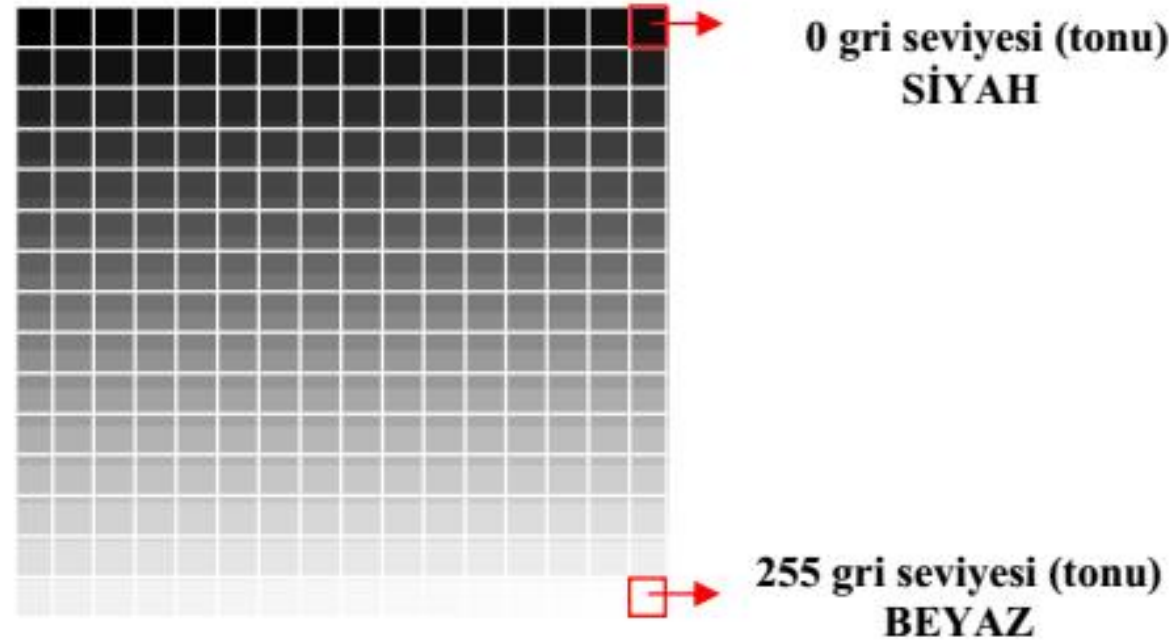
Sayısal bir görüntünün boyutları ve parlaklık değeri

- Örnekleme ve nicemleme işlemine ek olarak sayısallaştırma işlemi, görüntü boyutlarının ve her bir pikselin sahip olabileceği parlaklık değerinin belirlenmesini de gerektirir.

$$N = 2^k, \quad M = 2^l, \quad G = 2^m$$

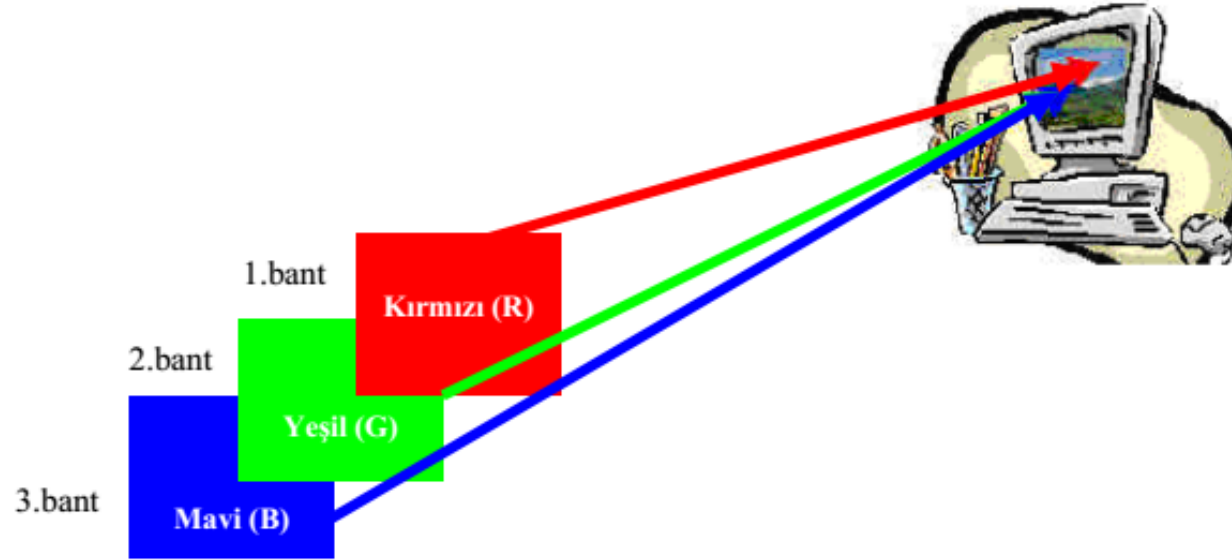
- G parlaklık değerlerinin sayısını ifade eder. Sayısal görüntünün her bir pikselinin sahip olduğu parlaklık değerleri *gri seviyeler* olarak adlandırılır. Her bir pikseldeki parlaklık değerinin kodlandığı *bit* sayısına ($m \rightarrow$ bit sayısı) göre gri seviye aralığı belirlenir.

- Her bir pikseli $m > 1$ olacak şekilde kodlanan görüntülere ise *gri-ton* (*gray-scale, monochromatic*) görüntüler adı verilir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan gri-ton görüntülerin her bir pikseli $m = 8$ bit ile kodlanmıştır.



- İkili ve gri-ton görüntülere ek olarak uygulamada yaygın olarak kullanılan diğer tip görüntüler, renkli görüntülerdir.

Şekil 1.8’de gösterildiği gibi **R(Kırmızı)**, **G(Yeşil)**, **B(Mavi)** kodlanmış aynı objeye ait üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur.



Şekil 1.8 Renkli görüntünün bilgisayar ekranındaki oluşumu.

Eğer RGB gösterimde bant birleşimlerinin yerleri değiştirilecek olursa renkler de değişecektir. Bu şekilde oluşan görüntülere *yapay renkli görüntüler* adı verilir. Bant birleşimleri;

$$\left. \begin{array}{l} 2.\text{bant} \rightarrow R \\ 1.\text{bant} \rightarrow G \\ 3.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (\text{RGB} \rightarrow 2-1-3)$$

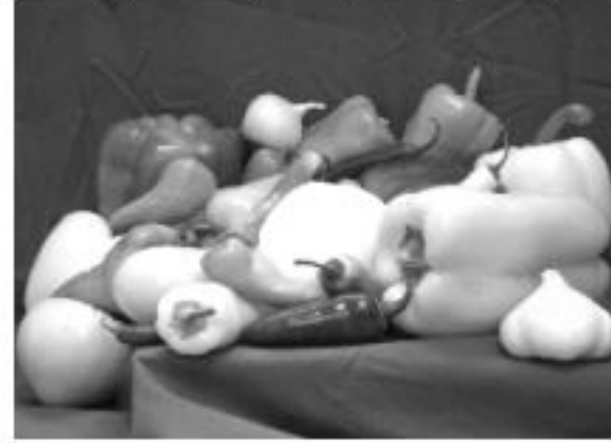
$$\left. \begin{array}{l} 1.\text{bant} \rightarrow R \\ 3.\text{bant} \rightarrow G \\ 2.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (\text{RGB} \rightarrow 1-3-2)$$

$$\left. \begin{array}{l} 2.\text{bant} \rightarrow R \\ 3.\text{bant} \rightarrow G \\ 1.\text{bant} \rightarrow B \end{array} \right\} \Rightarrow (\text{RGB} \rightarrow 2-3-1)$$

RGB görüntü (Doğal renkli)



Kırmızı (R) bandına (1.bant) ilişkin gri-ton görüntü



Yeşil (G) (2.bant) bandına ilişkin gri-ton görüntü



Mavi (B) (3.bant) bandına ilişkin gri-ton görüntü



Şekil 1.9 Doğal renkli bir görüntü ve bu görüntüye ait RGB bantlarına ilişkin gri-ton görüntüler.

Doğal renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB → 1-2-3)



Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB → 2-1-3)



Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB → 1-3-2)






Yapay renkli görüntü: Bant birlesimi (RGB → 2-3-1)



Şekil 1.10 Doğal renkli RGB bir görüntü ve bu görüntüden türetilen yapay renkli RGB görüntüler.

Gri-ton görüntülerden farklı olarak, renkli görüntülerin her bir pikseli bilgisayar ekranlarında 24 bit'lik veri olarak görüntülenir. Şöyle ki, her bir renk $m = 8$ bit ile kodlanacağına göre üç renk (RGB) $3 \cdot 8 = 24$ bit ile kodlanacaktır. Bu durumda, RGB görüntülerin her bir pikseli $G = 2^{24} = 16.777.216$ (yaklaşık 17 milyon) farklı renk değerine sahip olabilir ve bu üç rengin birleşiminin değer aralığı **RGB** = (0, 0, 0), ... , (255, 255, 255) biçiminde gösterilir. Tablo 1'de ana renkler olan kırmızı, yeşil ve mavinin *tam parlaklık* değerleri verilmiştir.

Tablo 1 Kırmızı, yeşil ve mavi renkleri için tam parlaklık değerleri.

	Parlaklık değerleri			Görünüm
	R	G	B	
Kırmızı	255	0	0	
Yeşil	0	255	0	
Mavi	0	0	255	

Tablo 1'e göre, RGB gösterimde $(0, 0, 0)$ siyah, $(255, 0, 0)$ kırmızı, $(0, 255, 0)$ yeşil, $(0, 0, 255)$ mavi, ve $(255, 255, 255)$ beyaz rengi temsil eder. Beyaz renk tüm renkleri içerisinde barındırır. Matris anlamında düşünüldüğünde doğal renkli 2-B bir RGB görüntü, aşağıdaki gibi her biri $(N \times M)$ büyüklüklü üç matrisin (ızgaranın) bileşimidir ve matris gösteriminde $\{I(i, j, k) | i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, 3\}$ biçiminde tanımlanır. Genel olarak bu matrislerin her biri, pikselleri 256 gri seviyeden birine sahip olan gri-ton görüntüyü temsil eder.

$\{I(i, j, 1) | i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M\} \rightarrow$ Kırmızı banda ilişkin matris

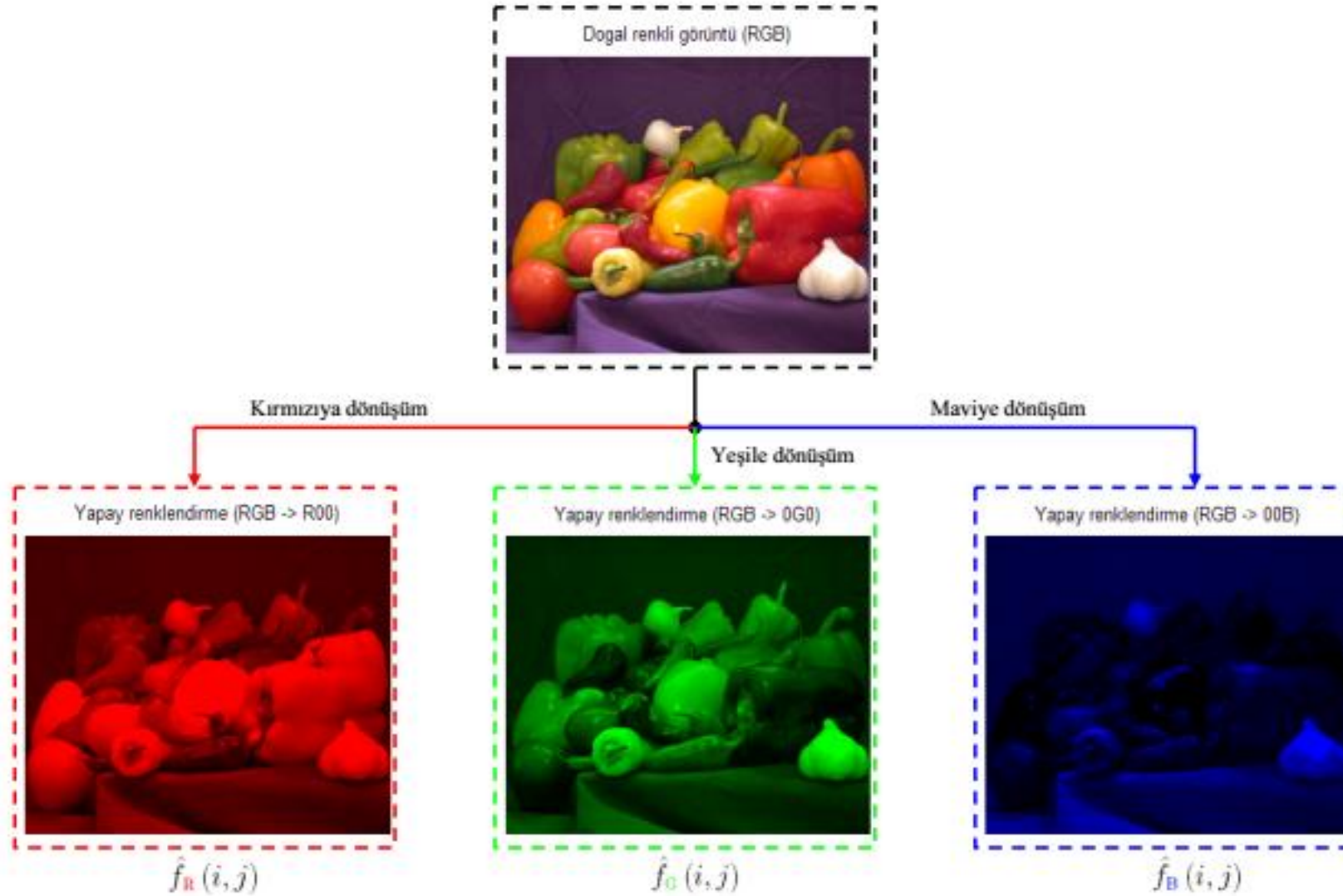
$\{I(i, j, 2) | i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M\} \rightarrow$ Yeşil banda ilişkin matris

$\{I(i, j, 3) | i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M\} \rightarrow$ Mavi banda ilişkin matris

$$\begin{aligned} I_R(1:N, 1:M, 1) &= I(1:N, 1:M, 1); \\ I_R(1:N, 1:M, 2) &= 0 \\ I_R(1:N, 1:M, 3) &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_G(1:N, 1:M, 1) &= 0 \\ I_G(1:N, 1:M, 2) &= I(1:N, 1:M, 2); \\ I_G(1:N, 1:M, 3) &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_B(1:N, 1:M, 1) &= 0 \\ I_B(1:N, 1:M, 2) &= 0; \\ I_B(1:N, 1:M, 3) &= I(1:N, 1:M, 3); \end{aligned}$$



Şekil 1.11 Doğal renkli RGB bir görüntünün ana renklerle (Kırmızı-yeşil-mavi) yapay renklendirilmesi.

Reading Images

- To read an image, use the **imread** command, whose syntax is:
I = imread ('filename')
- This command **reads** and **stores** the image in an **array I**.
'filename'- string containing the **complete name (path)** of the image file including extension.

```
I= imread('pout.tif');
```

```
whos
```

```
size(I);
```

```
[M,N]=size(I);
```

Displaying Images

- To display an image, the **imshow** function is used, which has the basic syntax:

a) **imshow (f,G)**

f- an image, **G**- the **number of intensity levels** used to display the image, if **G** is omitted, it defaults to **256** levels.

b) **imshow (f, [low high])**

- ✓ Displays as **black** all values **less than or equal to low**.
- ✓ Displays as **white** all values **greater than or equal to high**.
- ✓ The values in between are displayed using the **default number of levels**.

c) **imshow (f ,[])**

```
imshow('football.jpg');
```

```
imshow('coins.png');
```

```
imshow('autumn.tif');
```

```
imshow('board.tif');
```

Writing images

- Images are written to disk using function **imwrite**, syntax:

imwrite (f , 'filename')

- Filename must include the **extension** of the file.

imwrite (f, 'filename', 'extension')

For image with **JPEG** format, the syntax can have additional parameters:

imwrite (f, 'filename.jpg', 'quality', q)

q: is an integer between 0 and 100 (the lower the number the higher the degradation due to **jpeg compression**).

Example:

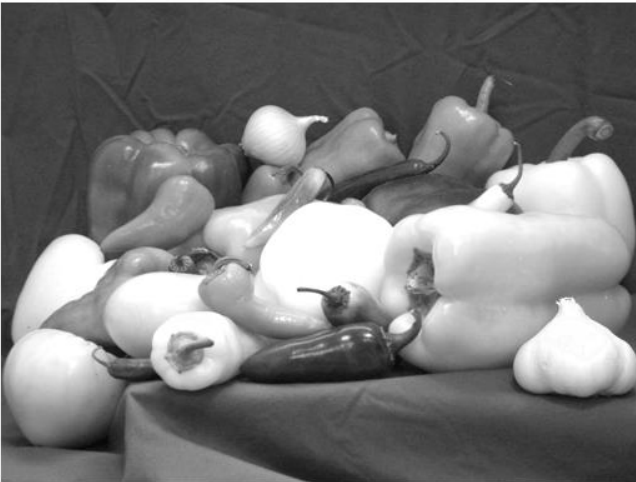
- To reduce **storage** and **transmission** time, it is important that the images be compressed as much as possible while not degrading their visual appearance beyond a reasonable level (False contouring, for example).


```
f = imread('football.jpg');
imwrite (f,'football0.jpg','quality',0);
imwrite (f,'football5.jpg','quality',5);
imwrite (f,'football15.jpg','quality',15);
imwrite (f,'football25.jpg','quality',25);
imwrite (f,'football50.jpg','quality',50);
f0 = imread('football0.jpg');
f5 = imread('football5.jpg');
f15 = imread('football15.jpg');
f25 = imread('football25.jpg');
f50 = imread('football50.jpg');
subplot 231; imshow(f);title('Original Image');
subplot 232; imshow(f0); title('Image with q=0');
subplot 233; imshow(f5); title('Image with q=5');
subplot 234; imshow(f15); title('Image with q=15');
subplot 235; imshow(f25); title('Image with q=25');
subplot 236; imshow(f50); title('Image with q=50');
```

Uygulama

Doğal renkli bir görüntü ve bu görüntüye ait RGB bantlarına ilişkin gri-ton görüntüler

```
imread('peppers.png');
```



Doğal renkli RGB bir görüntü ve bu görüntüden türetilen yapay renkli RGB görüntüler

- % Yapay renklendirme GRB - 213
- % Yapay renklendirme RBG - 132
- % Yapay renklendirme GBR - 231



Doğal renkli RGB bir görüntünün ana renklerle (Kırmızı-yeşil-mavi) yapay renklendirilmesi.

- % Yapay renklendirme kırmızıya dönüşüm
- % Yapay renklendirme yeşile dönüşüm
- % Yapay renklendirme maviye dönüşüm

