İskenderun Teknik Üniversitesi

Fakülte: *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*

Bölüm: *Bilgisayar Mühendisliği*

Ders: Sayısal *Görüntü İşleme*

Dönem: *2019 – 2020 (Bahar)*

Öğretim üyesi: *Doç. Dr. Yakup KUTLU*

- Bir görüntü f(x,y) şeklindeki iki boyutlu bir fonksiyon şeklinde tanımlanabilir.
- Burada x ve y yersel koordinatlar olup bu koordinatlara bağlı olarak f fonksiyonunun değeri ise yoğunluk (intensity) veya diğer bir deyişle grilik seviyesi (gray level) olarak isimlendirilir.
- f fonksiyonunun x,y ve yoğunluk değerlerinin tümü sonlu ise bu görüntü "sayısal görüntü" (digital image) olarak adlandırılır.

Sayılsal Görüntü

Sayısal görüntünün ilk uygulamalarından biri gazeteciliktir. Görüntü ilk defa 1920 yılında kodlanarak Atlantik'in karşı kıyısına gönderilmiştir. (Londra-NewYork).

FIGURE 1.1 A digital picture produced in 1921 from a coded tape by a telegraph printer with special type faces. (McFarlane.[†])

Tarihsel Gelişimi

- Bu erken sayısal görüntülerin görsel kalitesinin iyileştirilmesindeki başlıca problemlerden bazıları baskı yöntemlerinin seçimi ve yoğunluk seviyelerinin dağılımı ile ilgiliydi.

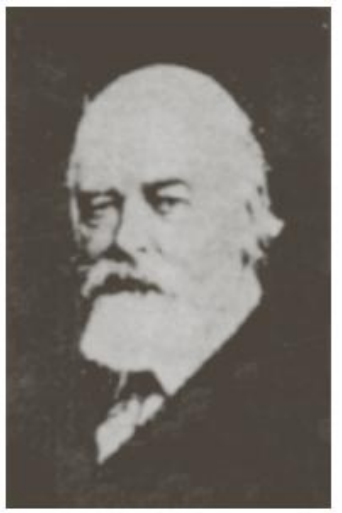


FIGURE 1.2 A digital picture made in 1922 from a tape punched after the signals had crossed the Atlantic twice. (McFarlane.)

- Bell Labaratuvarlarında transistörün bulunması (1948)
- COBOL ve FORTRAN gibi yüksek seviyeli programlama dillerinin gelişmeleri (1950'li ve 1960'lı yıllar).
- Texas Instruments'ın ilk entegre devreyi üretmesi (1958)
- İlk mikroişlemcinin Intel tarafından geliştirilmesi (1970'ler).
- IBM tarafından ilk kişisel bilgisayarın tanıtımı (1981)
- 1970'lerde LI ile birlikte bilgisayar bileşenlerinin gittikçe küçülmesi.
- VLSI ve ULSI ile günümüz boyutlarına gelen bilgisayarlar.

Tarihsel Süreç

- Bütün bu gelişmeler yaşanırken uzay programları, tıbbi görüntüleme, askeri uygulama gibi pek çok farklı alanlarda sayısal görüntüye olan ihtiyaç doğmuş ve böylelikle sayısal görüntü işleme gelişmiştir.

FIGURE 1.4 The first picture of the moon by a U.S. spacecraft. *Ranger 7* took this image on July 31, 1964 at 9 : 09 A.M. EDT, about 17 minutes before impacting the lunar surface. (Courtesy of NASA.)

- Görme, insanın en önemli duyularından bir tanesidir. Fakat insan gözü dış dünya karşısında sınırlı bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni insan gözünün elektromanyetik spektrumda çok sınırlı bir alanı algılayabilmesidir.

- Oysaki tüm elektromanyetik alanın çeşitli bölümlerinde algılama yaparak sayısal görüntü oluşturmak ve bunlar üzerinde işlem yapmak mümkündür.

Elektromanyetik Spektrum

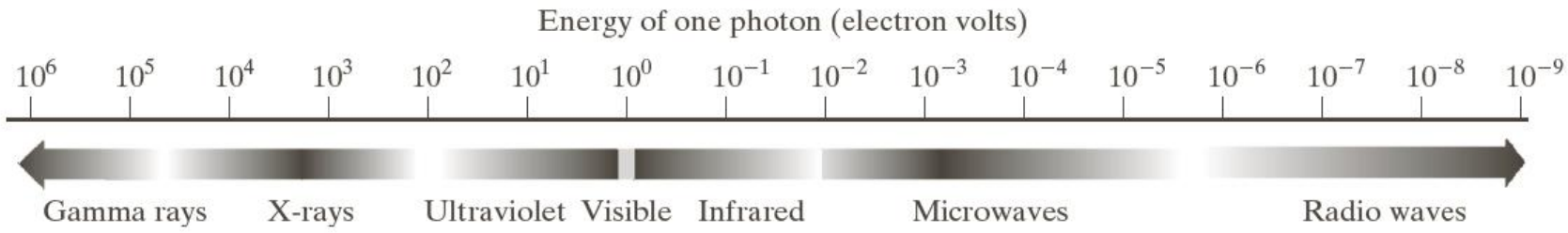
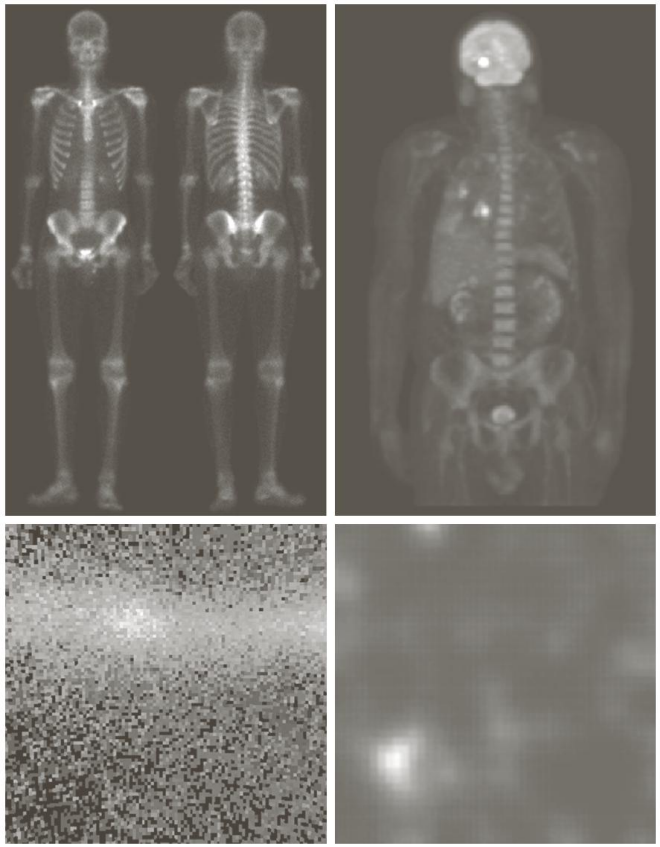


FIGURE 1.5 The electromagnetic spectrum arranged according to energy per photon.

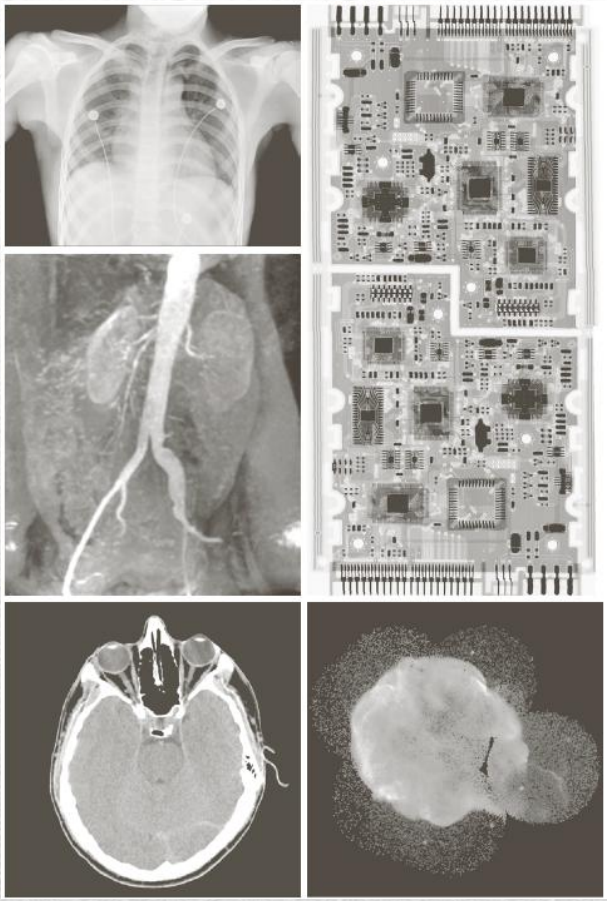
- Farklı alanlarda elektromanyetik spektrumndaki gama ışını yardımıyla görüntülenen nesneler.



a b
c d

FIGURE 1.6 Examples of gamma-ray imaging. (a) Bone scan. (b) PET image. (c) Cygnus Loop. (d) Gamma radiation (bright spot) from a reactor valve. (Images courtesy of (a) G.E. Medical Systems, (b) Dr. Michael E. Casey, CTI PET Systems, (c) NASA, (d) Professors Zhong He and David K. Wehe, University of Michigan.)

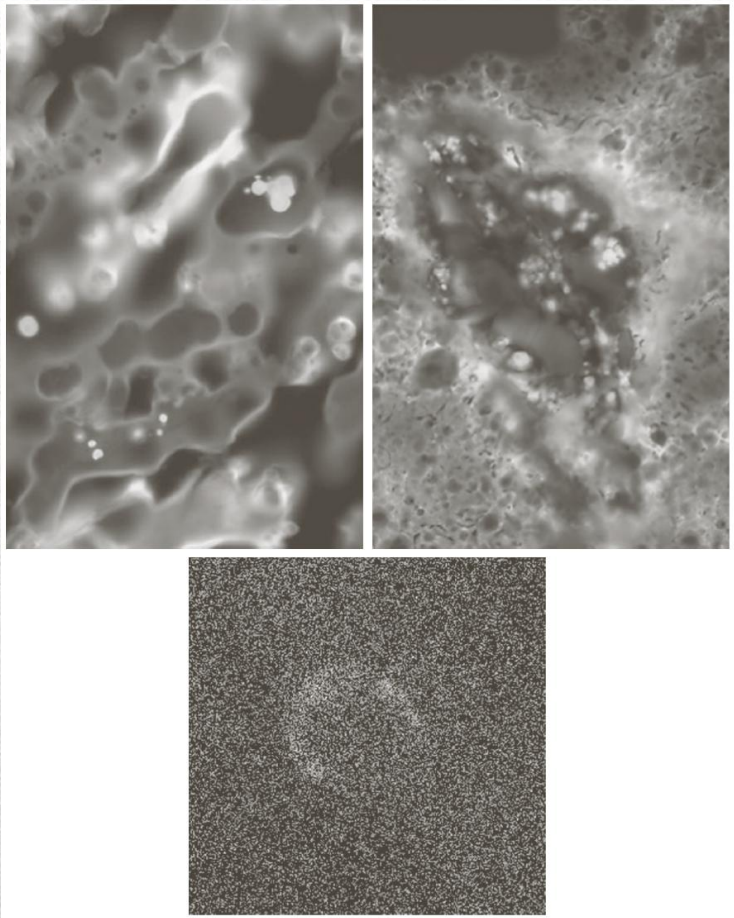
Uygulama Alanları (Gamma Ray)



a b c d e

FIGURE 1.7 Examples of X-ray imaging. (a) Chest X-ray. (b) Aortic angiogram. (c) Head CT. (d) Circuit boards. (e) Cygnus Loop. (Images courtesy of (a) and (c) Dr. David R. Pickens, Dept. of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center; (b) Dr. Thomas R. Gest, Division of Anatomical Sciences, University of Michigan Medical School; (d) Mr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.; and (e) NASA.)

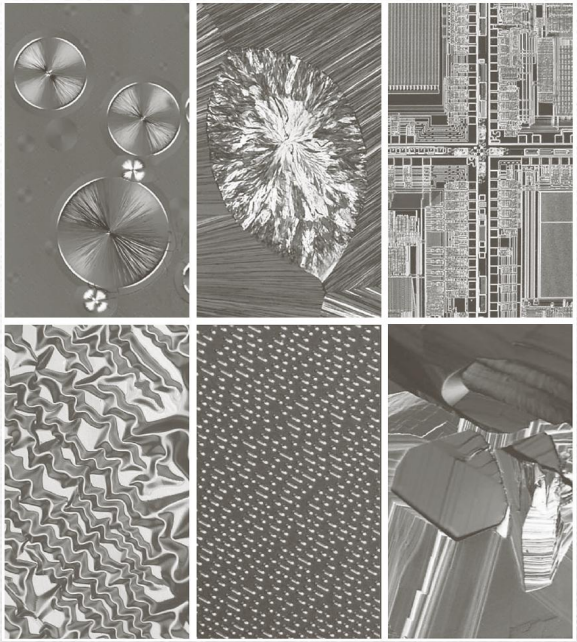
Uygulama Alanları (X Ray)



a b
c

FIGURE 1.8 Examples of ultraviolet imaging. (a) Normal corn. (b) Smut corn. (c) Cygnus Loop. (Images courtesy of (a) and (b) Dr. Michael W. Davidson, Florida State University, (c) NASA.)

Uygulama Alanları (Ultraviolet)



a b c
d e f

FIGURE 1.9 Examples of light microscopy images. (a) Taxol (anticancer agent), magnified 250×. (b) Cholesterol—40×. (c) Microprocessor—60×. (d) Nickel oxide thin film—600×. (e) Surface of audio CD—1750×. (f) Organic superconductor—450×. (Images courtesy of Dr. Michael W. Davidson, Florida State University.)

Uygulama Alanları (Visible Area)

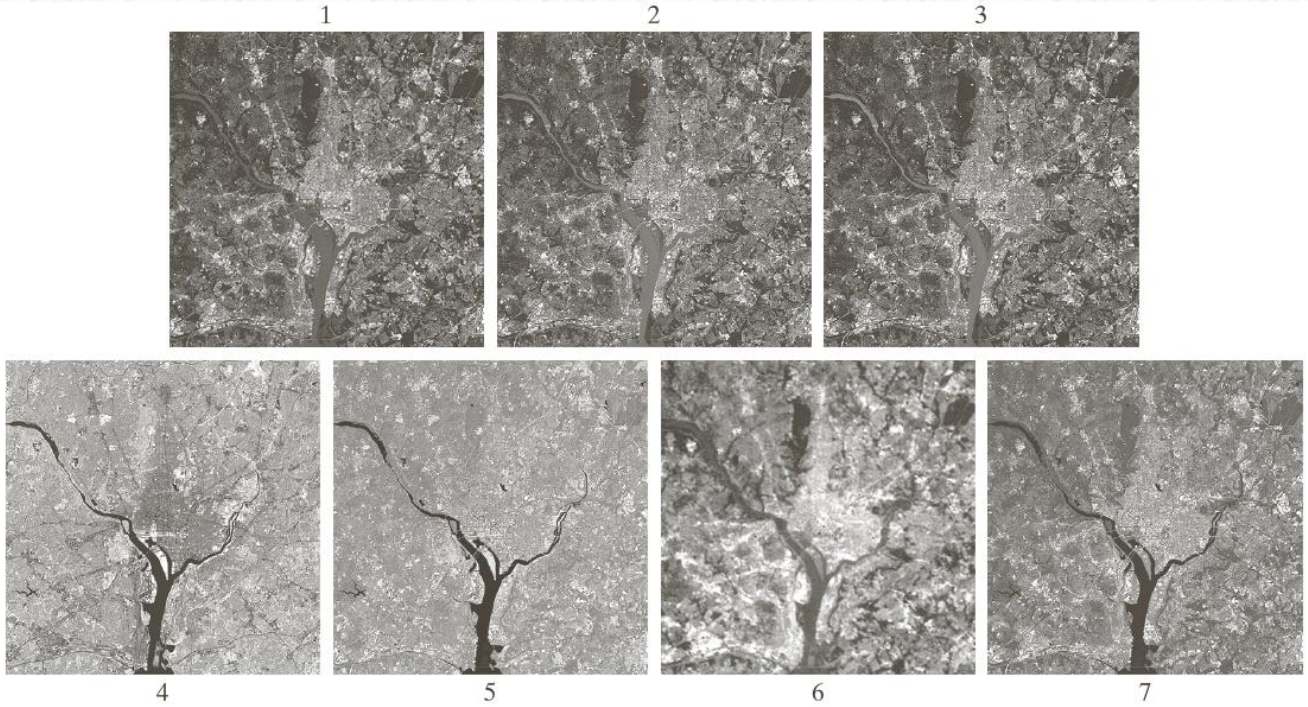


FIGURE 1.10 LANDSAT satellite images of the Washington, D.C. area. The numbers refer to the thematic bands in Table 1.1. (Images courtesy of NASA.)

Uygulama Alanları (Infrared)

Band No.	Name	Wavelength (μm)	Characteristics and Uses
1	Visible blue	0.45–0.52	Maximum water penetration
2	Visible green	0.52–0.60	Good for measuring plant vigor
3	Visible red	0.63–0.69	Vegetation discrimination
4	Near infrared	0.76–0.90	Biomass and shoreline mapping
5	Middle infrared	1.55–1.75	Moisture content of soil and vegetation
6	Thermal infrared	10.4–12.5	Soil moisture; thermal mapping
7	Middle infrared	2.08–2.35	Mineral mapping

TABLE 1.1 Thematic bands in NASA's LANDSAT satellite.

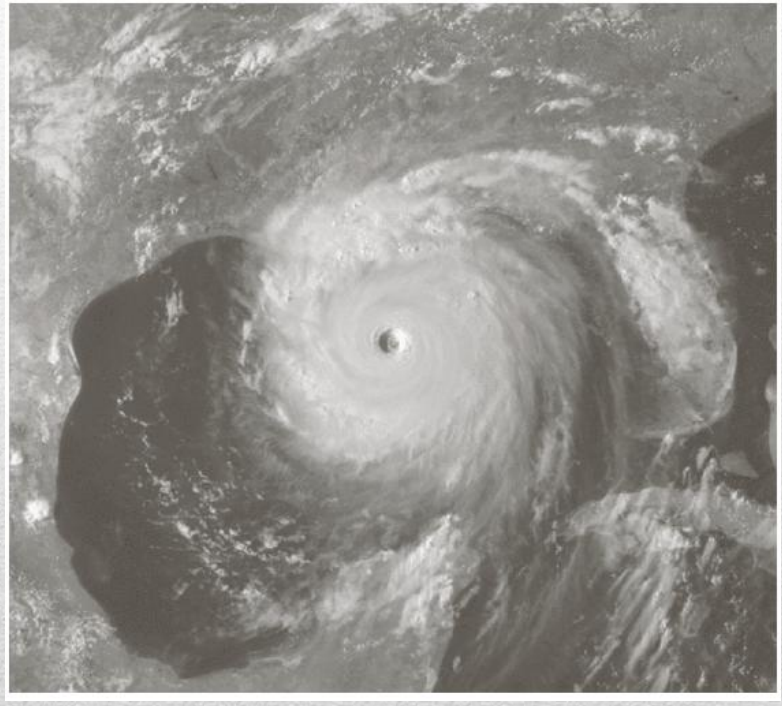
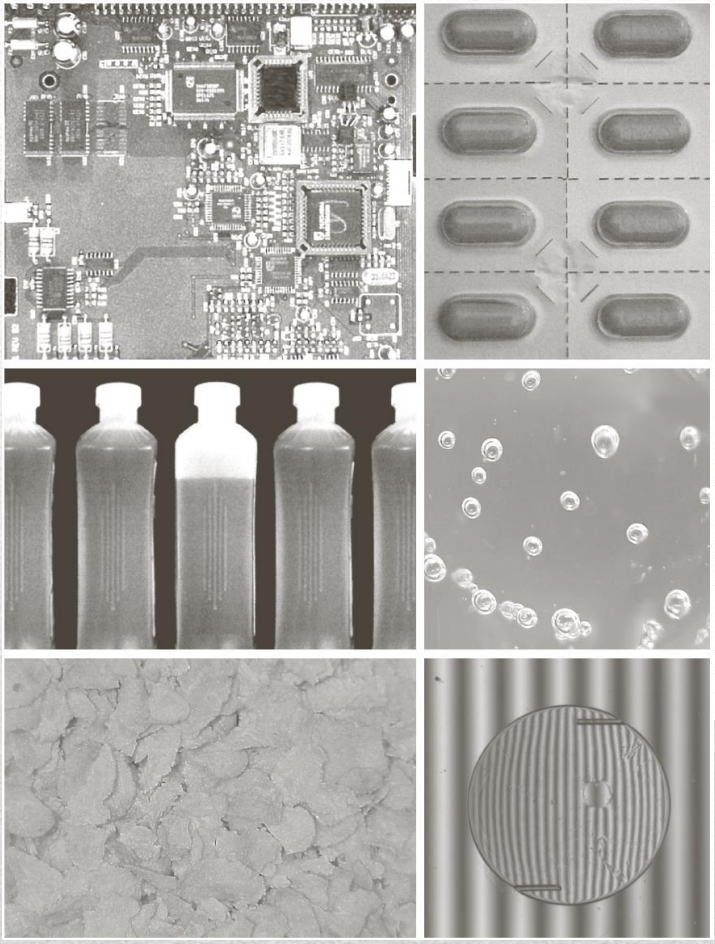


FIGURE 1.11
Satellite image of Hurricane Katrina taken on August 29, 2005. (Courtesy of NOAA.)

FIGURE 1.12
Infrared satellite images of the Americas. The small gray map is provided for reference. (Courtesy of NOAA.)

FIGURE 1.13 Infrared satellite images of the remaining populated part of the world. The small gray map is provided for reference. (Courtesy of NOAA.)



a b
c d
e f

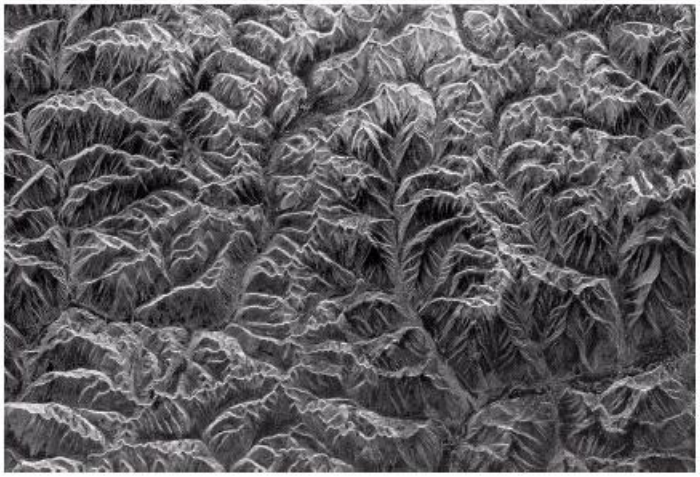
FIGURE 1.14 Some examples of manufactured goods often checked using digital image processing. (a) A circuit board controller. (b) Packaged pills. (c) Bottles. (d) Air bubbles in a clear-plastic product. (e) Cereal. (f) Image of intraocular implant. (Fig. (f) courtesy of Mr. Pete Sites, Perceptics Corporation.)

Uygulama Alanları (Endüstri)

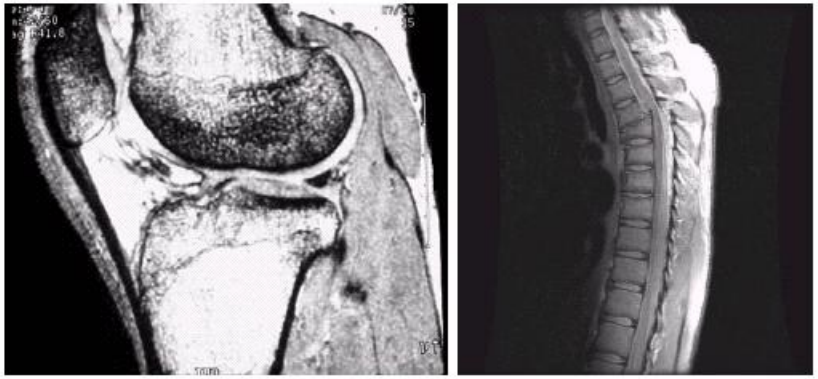
a b
c
d

FIGURE 1.15 Some additional examples of imaging in the visual spectrum. (a) Thumb print. (b) Paper currency. (c) and (d) Automated license plate reading. (Figure (a) courtesy of the National Institute of Standards and Technology. Figures (c) and (d) courtesy of Dr. Juan Herrera, Perceptics Corporation.)

FIGURE 1.16
Spaceborne radar image of mountains in southeast Tibet. (Courtesy of NASA.)

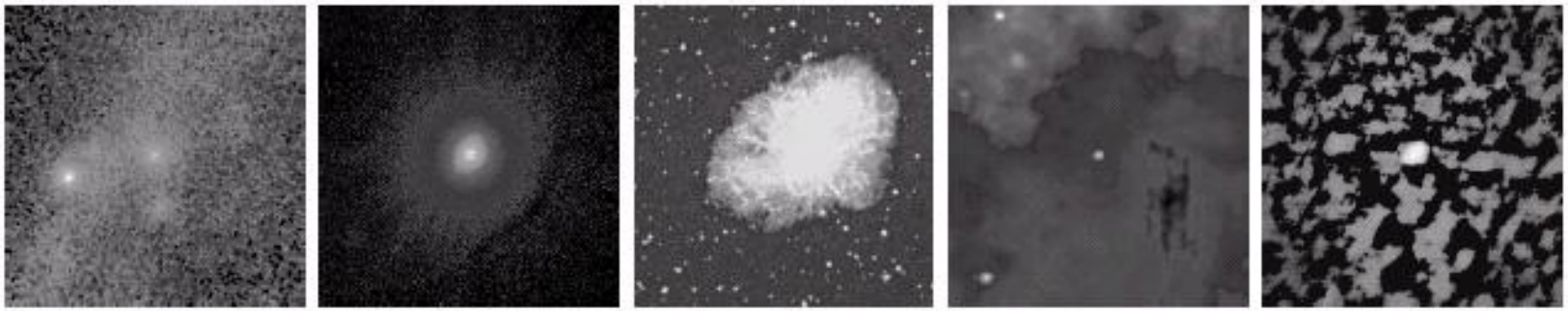


Uygulama Alanları(Microwave)



a b

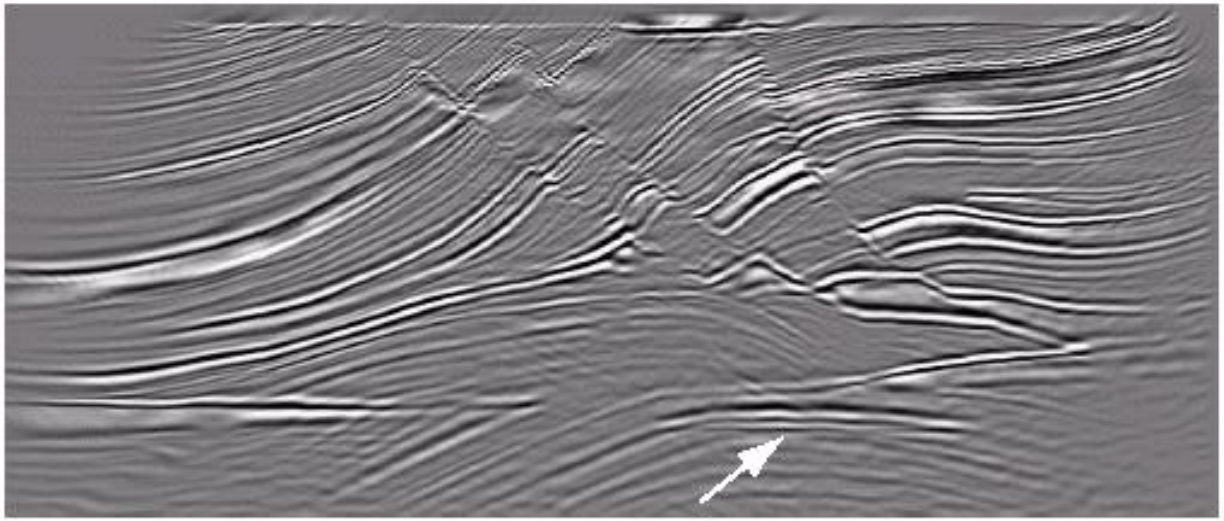
FIGURE 1.17 MRI images of a human (a) knee, and (b) spine. (Image (a) courtesy of Dr. Thomas R. Gest, Division of Anatomical Sciences, University of Michigan Medical School, and (b) Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

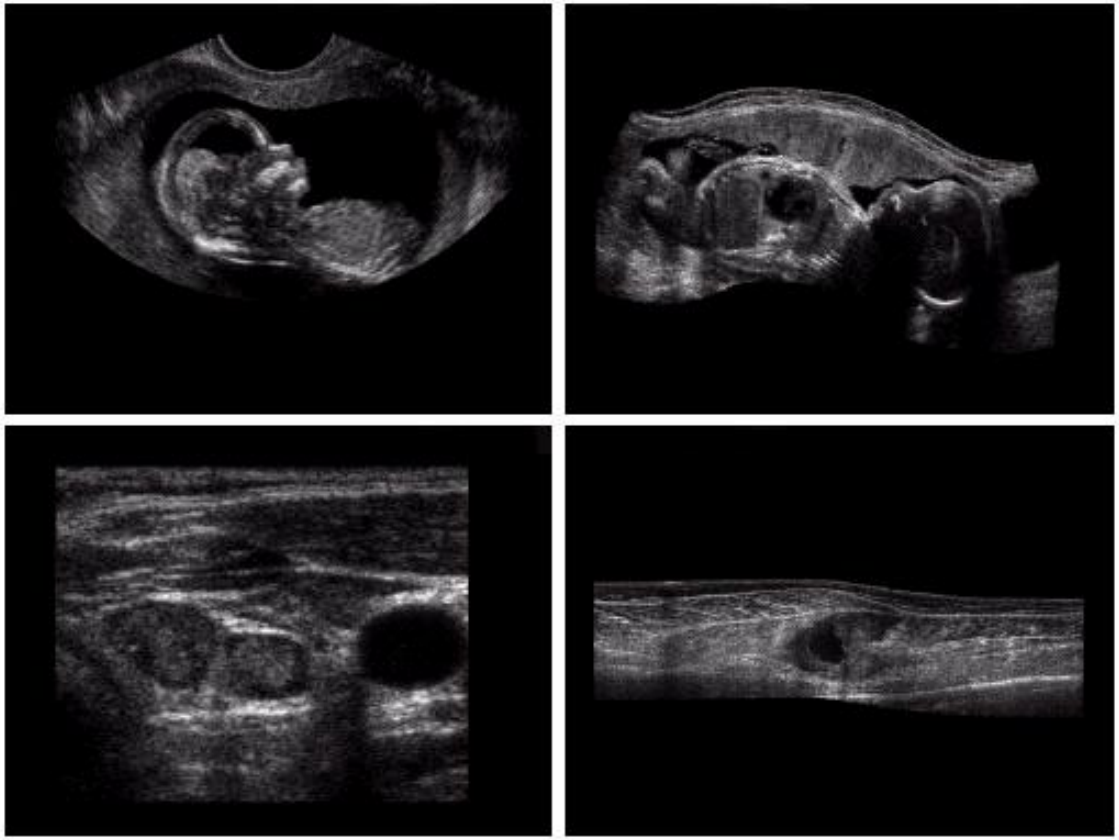


Gamma X-ray Optical Infrared Radio

FIGURE 1.18 Images of the Crab Pulsar (in the center of images) covering the electromagnetic spectrum. (Courtesy of NASA.)

FIGURE 1.19
Cross-sectional image of a seismic model. The arrow points to a hydrocarbon (oil and/or gas) trap. (Courtesy of Dr. Curtis Ober, Sandia National Laboratories.)





a b
c d

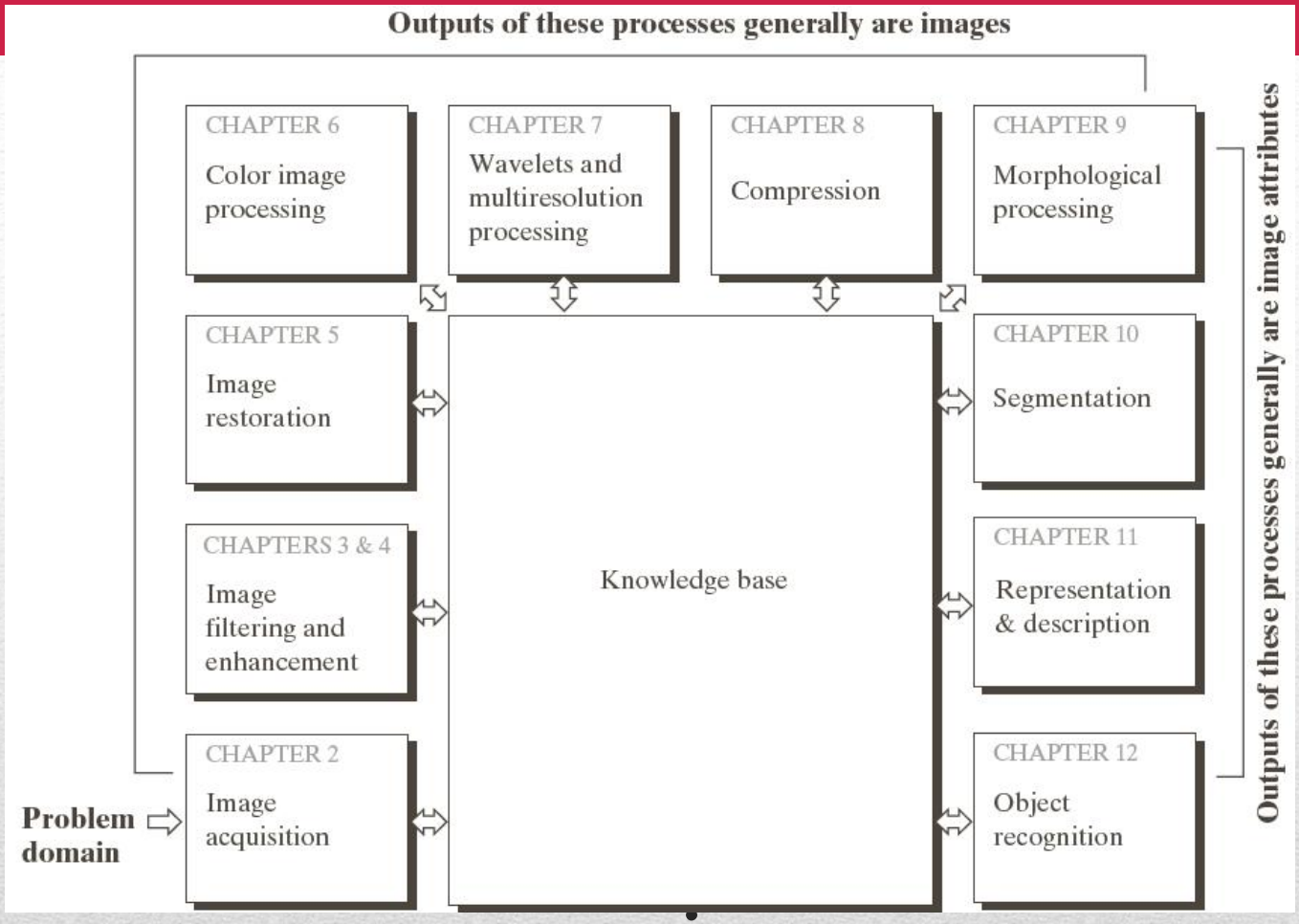
FIGURE 1.20 Examples of ultrasound imaging. (a) Baby. (2) Another view of baby. (c) Thyroids. (d) Muscle layers showing lesion. (Courtesy of Siemens Medical Systems, Inc., Ultrasound Group.)

- Literatürdeki yazarlar arasında “Sayısal Görüntü İşleme”, “Görüntü Analizi”, “Bilgisayarlı Görme” gibi konuların tam olarak nerede başlayıp nerede bittikleri konusunda kesin bir fikir birliği yoktur.

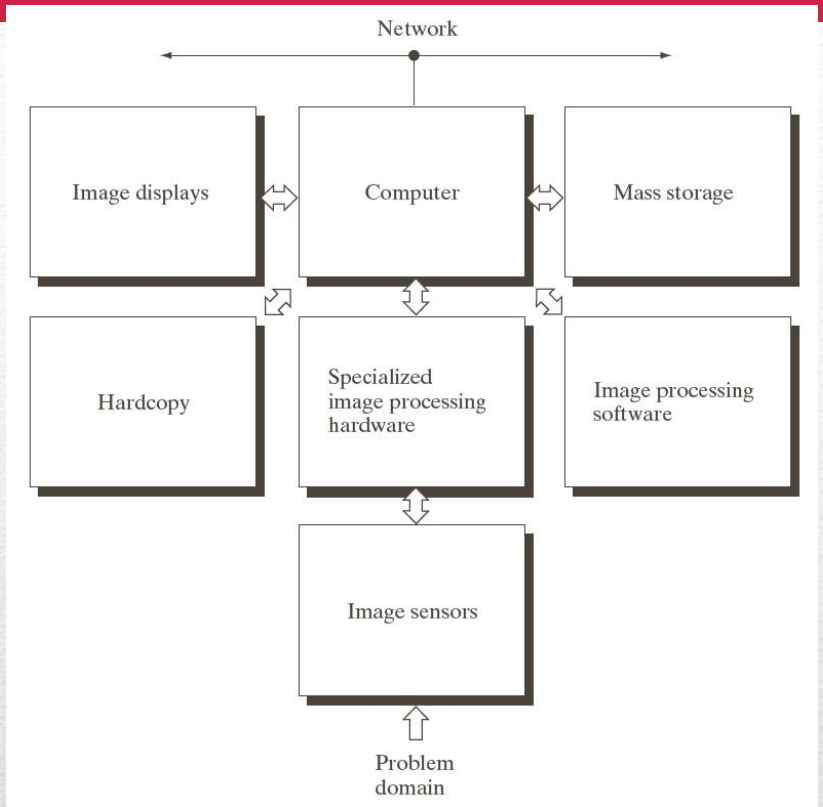
Diğer bir başlık olan “Bilgisayarlı Görme (Computer Vision)” nin asıl amacı ise insan görme sisteminin emüle edilmesidir. Bu alanın kendisi aslında Yapay Zeka’nın bir dalıdır.

Çeşitli Kavramlar

- Görüntü işlemede, bilgisayar ortamında yapılan işlemler genel olarak 3'e ayrılmaktadır:
  - **Alt Düzey İşlemler** (Gürültü Giderme, Kontrast İyileştirme, Keskinleştirme vb.)
  - **Orta Düzey İşlemler** (Bölütleme, Bölütleme sonucu oluşan objelerin tanımlanması, sınıflandırılması vb.)
  - **İleri Düzey İşlemler** (Algılanan objelerin anlamlandırılması).



Sayısal Görüntü İşlemenin Adımları



Sayılsal Görüntü İşlemenin Bileşenleri

İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

İskenderun Teknik Üniversitesi

Fakülte: *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*

Bölüm: *Bilgisayar Mühendisliği*

Ders: Sayısal *Görüntü İşleme*

Dönem: *2019 – 2020 (Bahar)*

Öğretim üyesi: *Doç. Dr. Yakup KUTLU*

Bir görüntü f(x,y) şeklindeki iki boyutlu bir fonksiyon şeklinde tanımlanabilir. Burada x ve y yersel koordinatlar olup bu koordinatlara bağlı olarak f fonksiyonunun değeri ise yoğunluk (intensity) veya diğer bir deyişle grilik seviyesi (gray level) olarak isimlendirilir.

f fonksiyonunun x,y ve yoğunluk değerlerinin tümü sonlu ise bu görüntü “sayısal görüntü” (digital image) olarak adlandırılır.

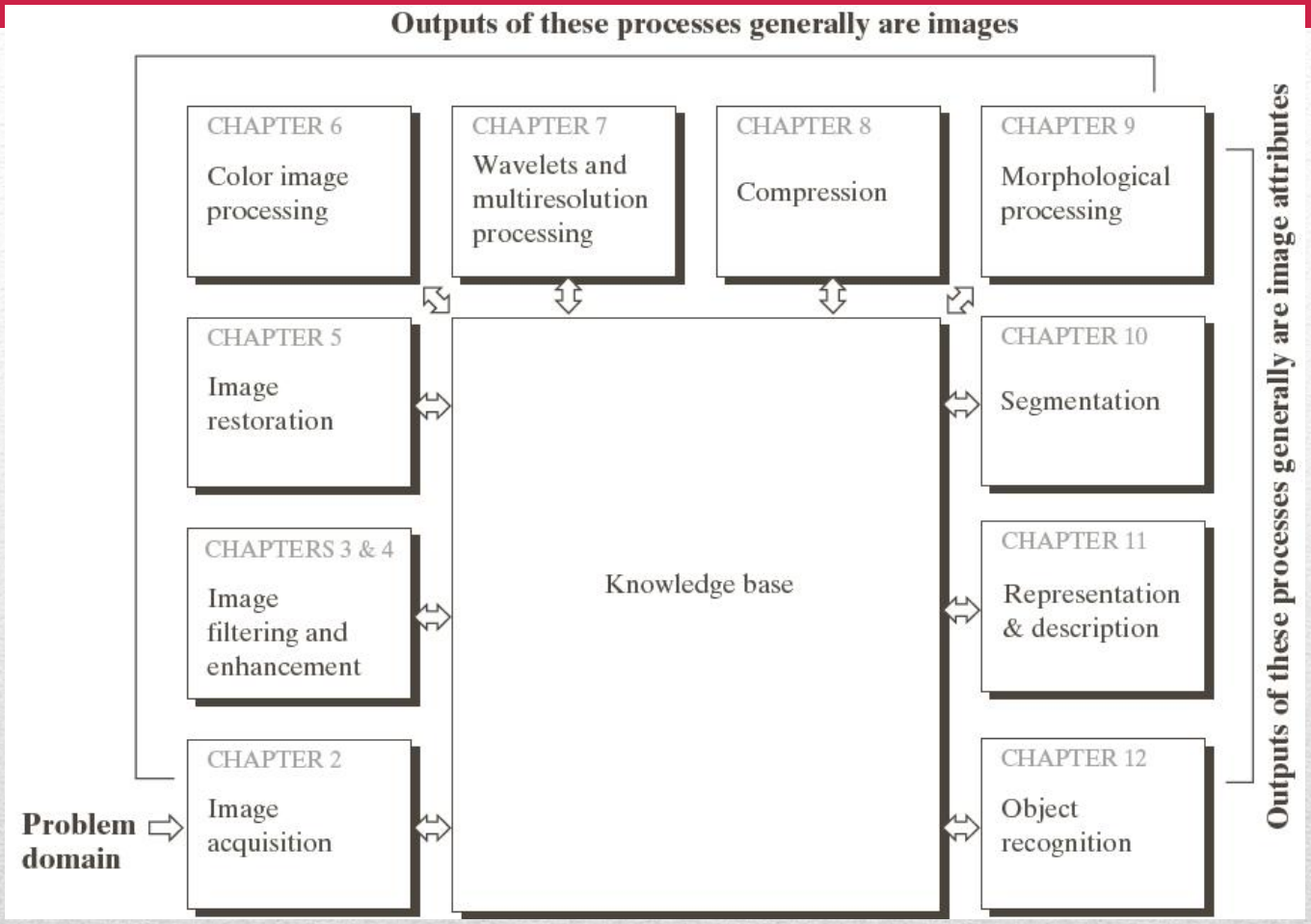
Sayılsal Görüntü

Literatürdeki yazarlar arasında “Sayısal Görüntü İşleme”, “Görüntü Analizi”, “Bilgisayarlı Görme” gibi konuların tam olarak nerede başlayıp nerede bittikleri konusunda kesin bir fikir birliği yoktur.

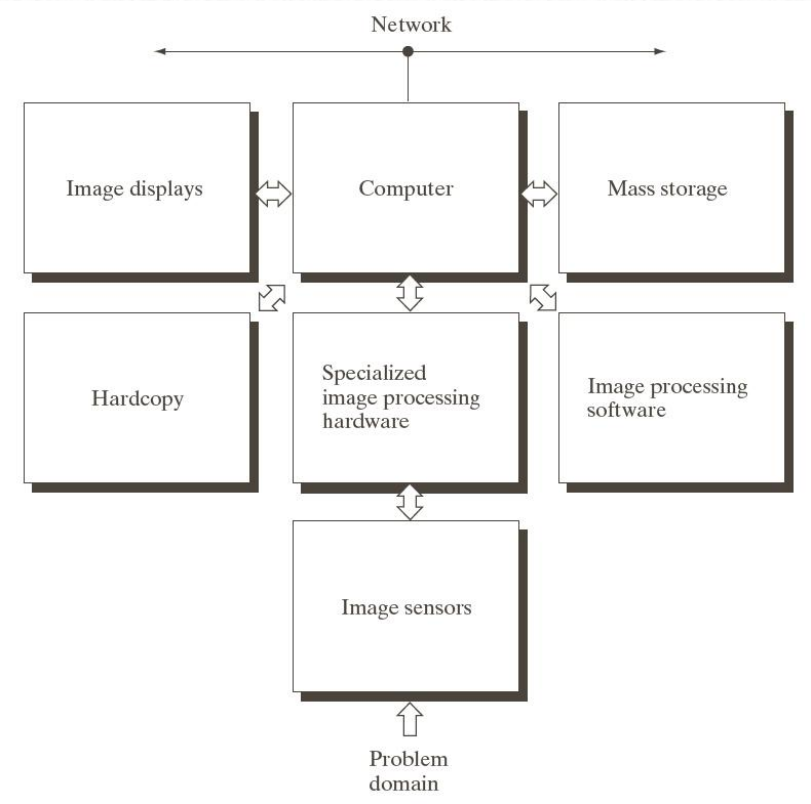
Diğer bir başlık olan “Bilgisayarlı Görme (Computer Vision)” nin asıl amacı ise insan görme sisteminin emüle edilmesidir. Bu alanın kendisi aslında Yapay Zeka’nın bir dalıdır.

Çeşitli Kavramlar

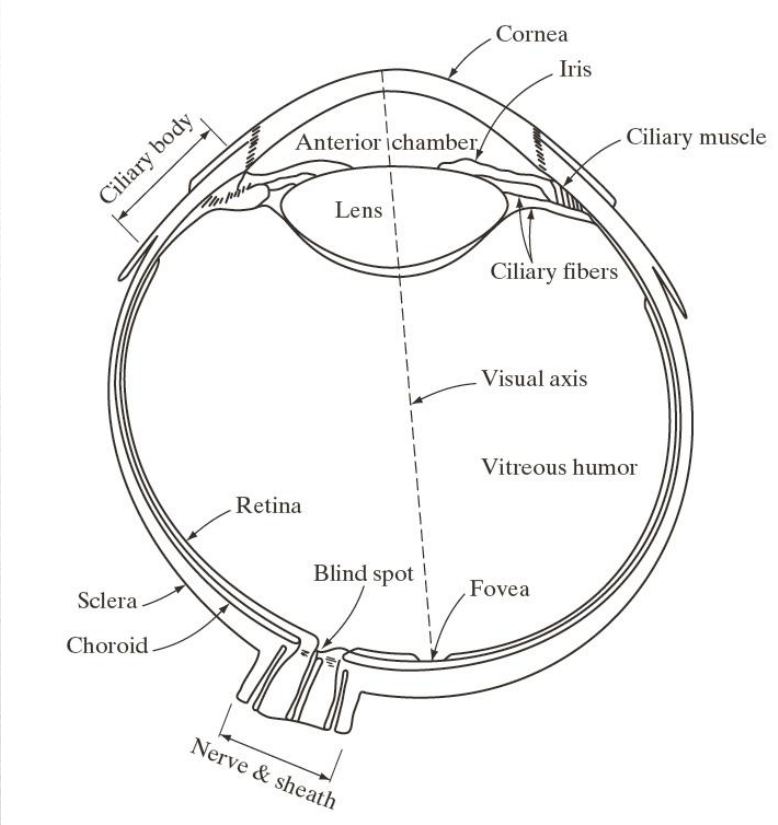
- Görüntü işlemede, bilgisayar ortamında yapılan işlemler genel olarak 3'e ayrılmaktadır:
  - **Alt Düzey İşlemler** (Gürültü Giderme, Kontrast İyileştirme, Keskinleştirme vb.)
  - **Orta Düzey İşlemler** (Bölütleme, Bölütleme sonucu oluşan objelerin tanımlanması, sınıflandırılması vb.)
  - **İleri Düzey İşlemler** (Algılanan objelerin anlamlandırılması).



Sayısal Görüntü İşlemenin Adımları



Sayılsal Görüntü İşlemenin Bileşenleri



Görme Duyusu

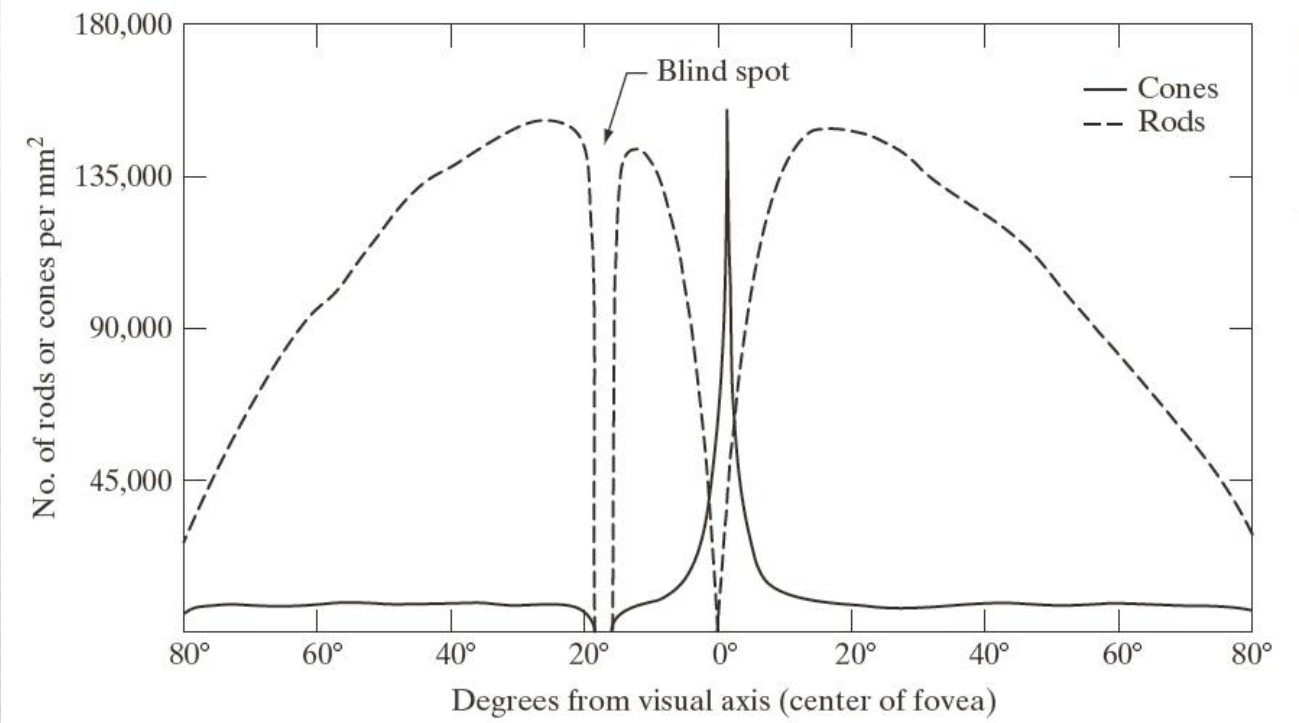


FIGURE 2.2 Distribution of rods and cones in the retina.

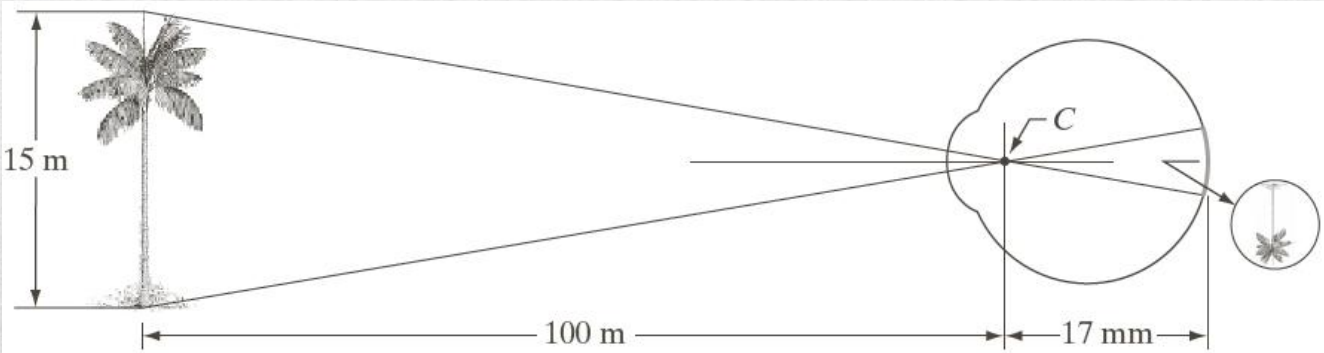
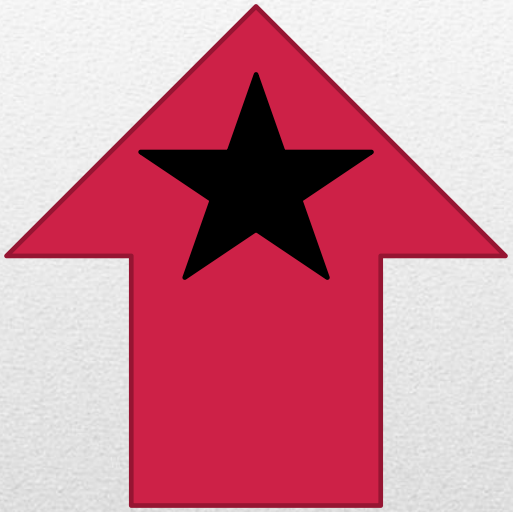
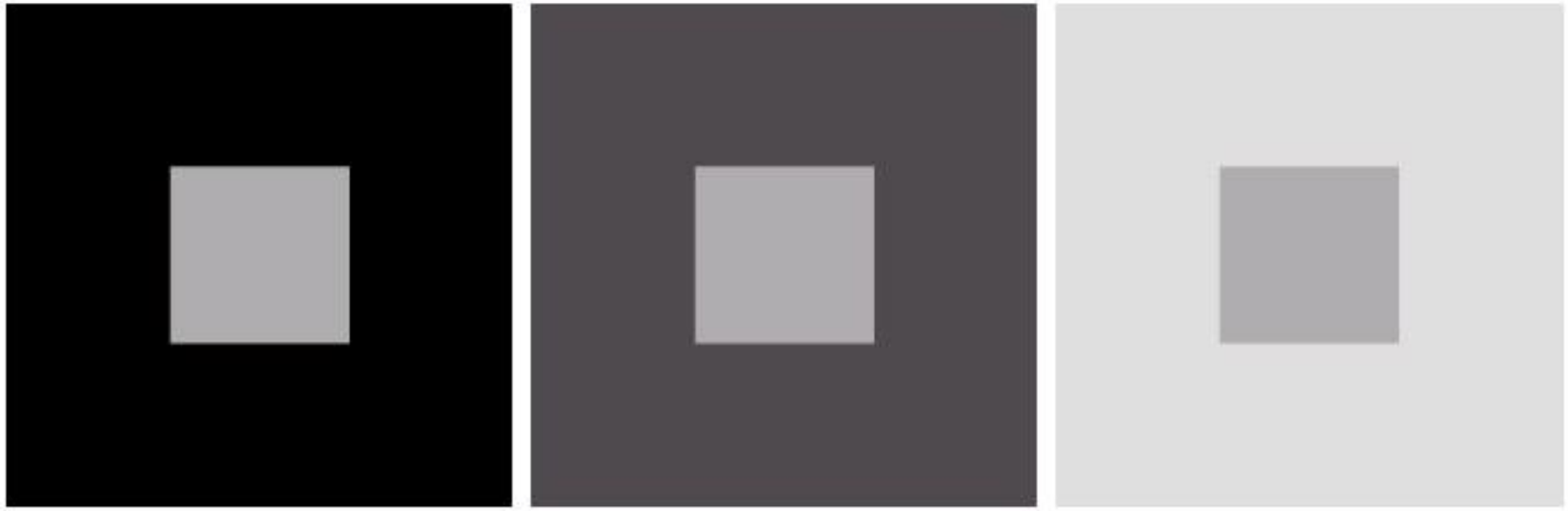


FIGURE 2.3 Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point *C* is the optical center of the lens.



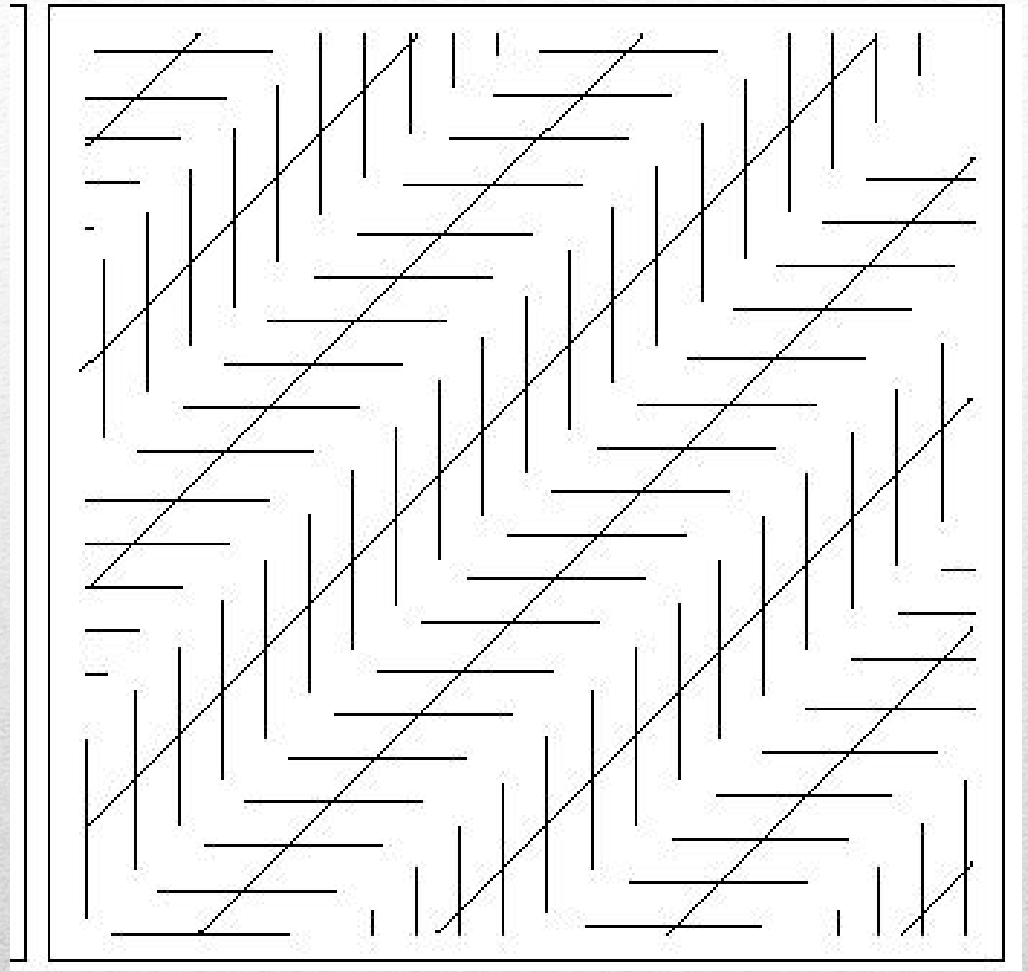
Göz Görme

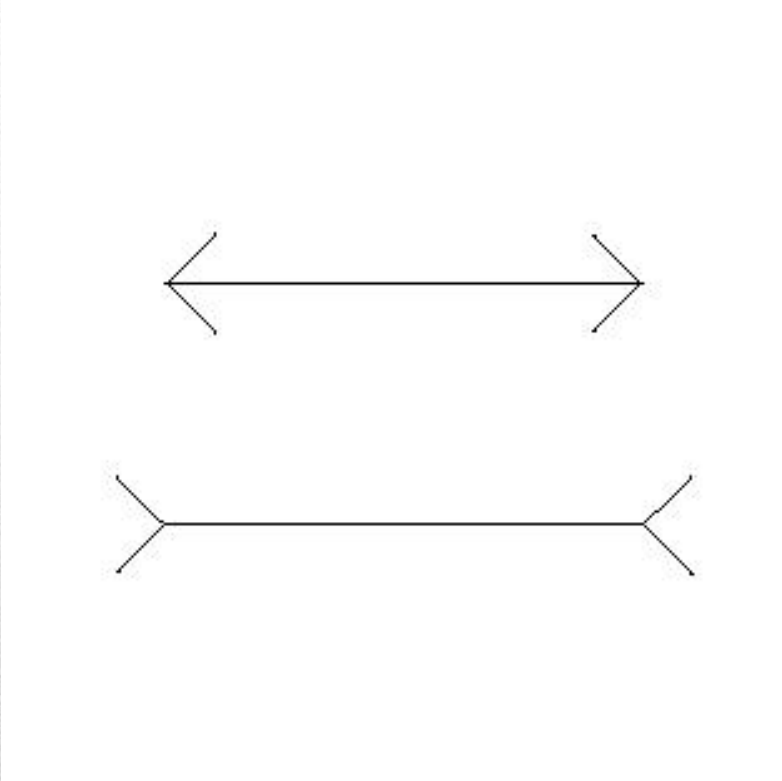


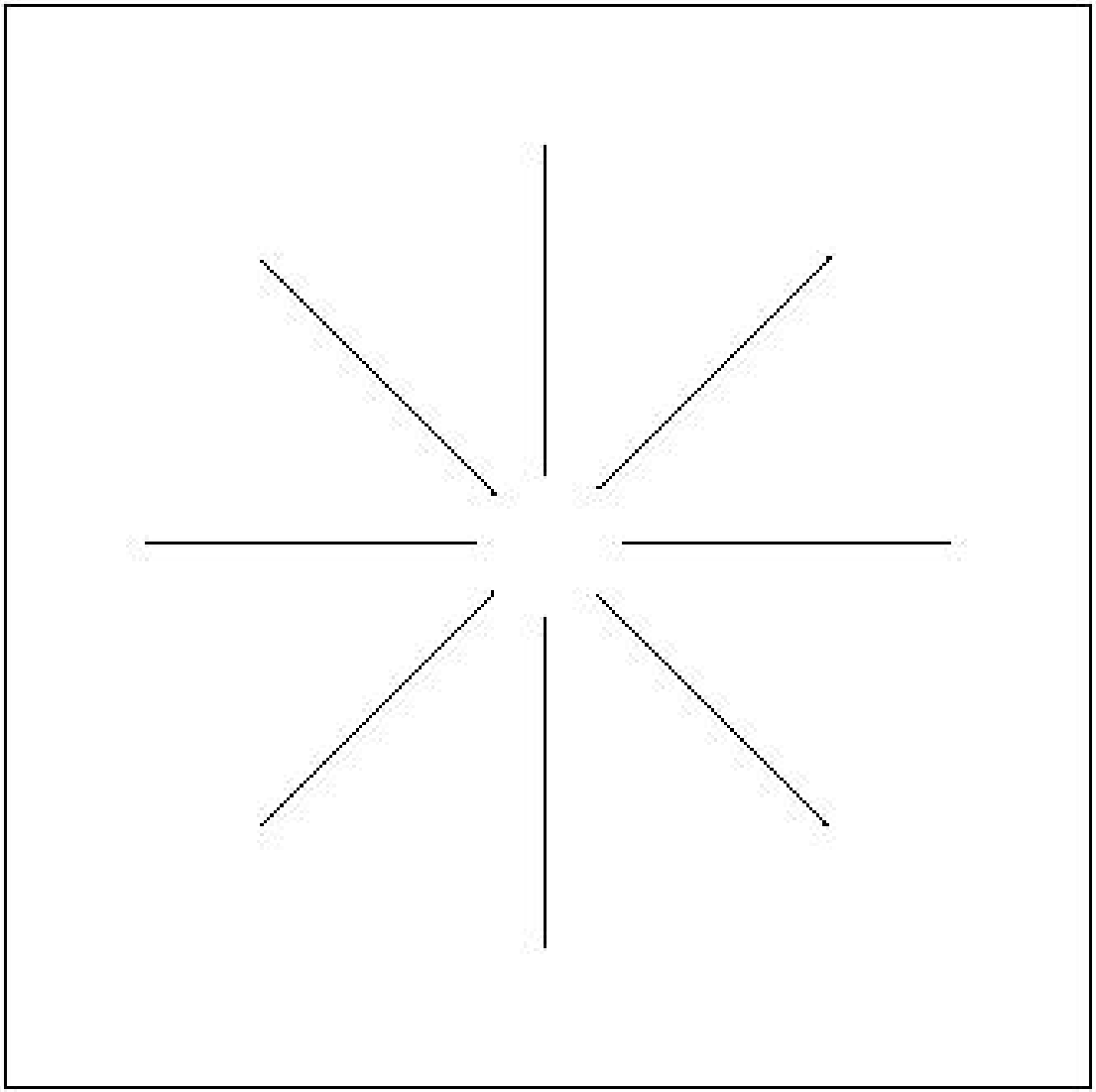
a b c

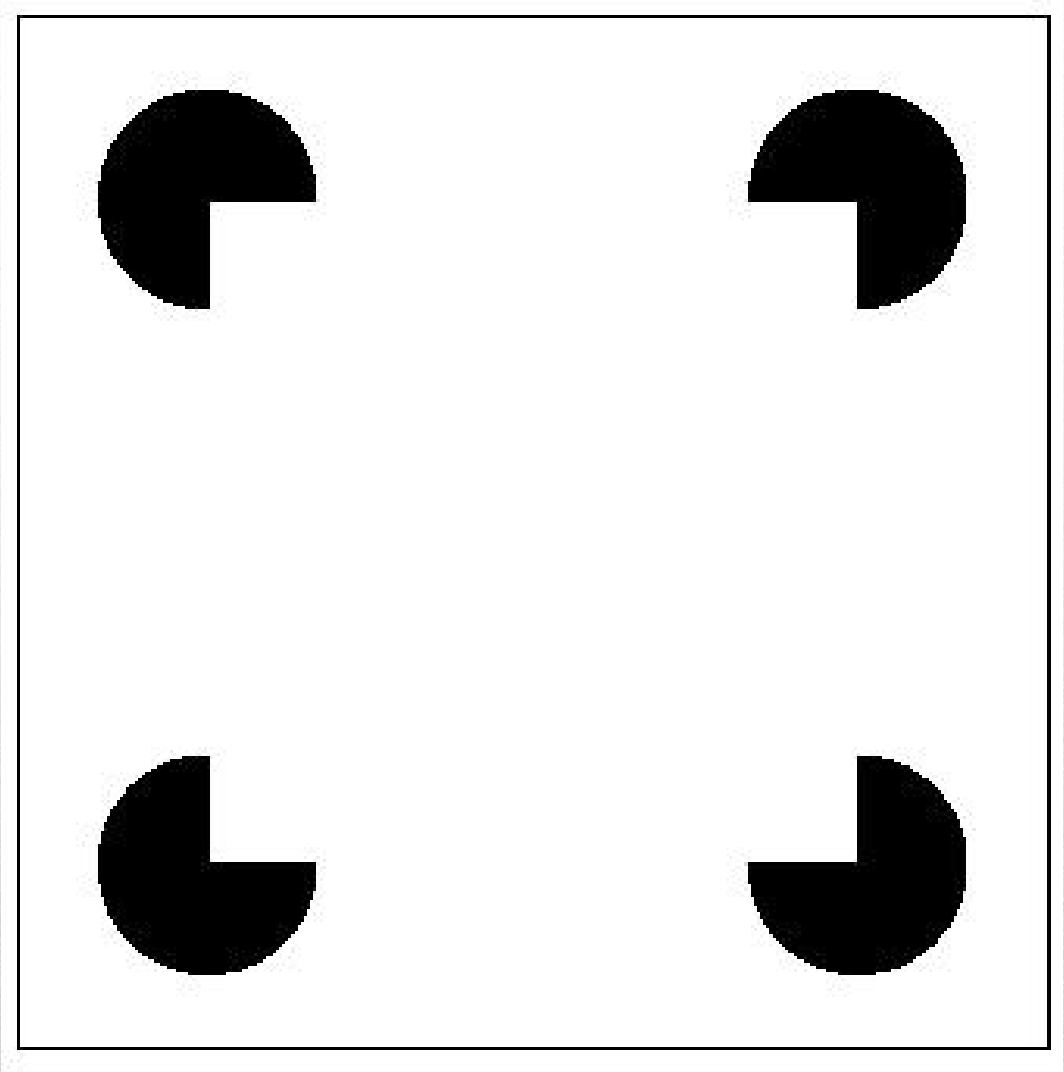
FIGURE 2.8 Examples of simultaneous contrast. All the inner squares have the same intensity, but they appear progressively darker as the background becomes lighter.

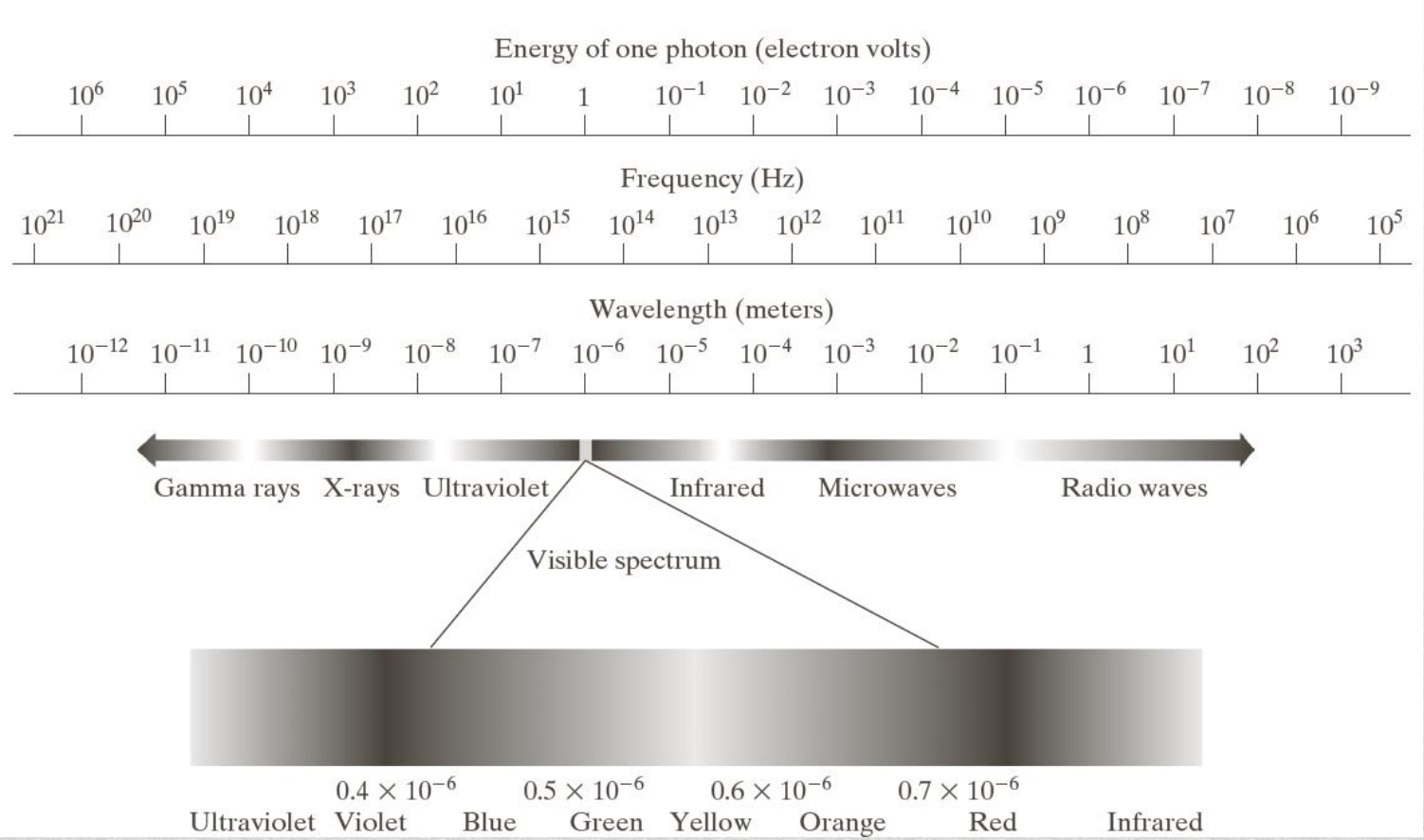
Göz Yanılgıları





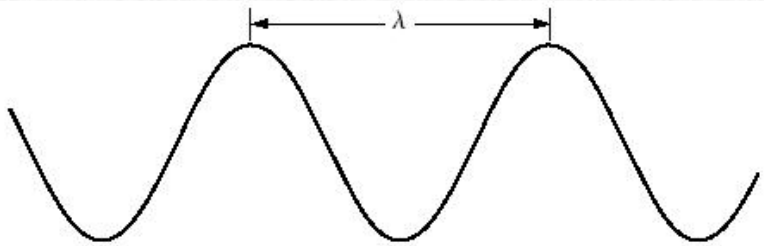






Elektromanyetik Spektrum

FIGURE 2.11
Graphical representation of one wavelength.



$$\lambda = c/v$$

λ =Dalga Boyu
c= Işık Hızı (2998.10^8 m/sn)
V=frekans (1/sn)(Hz)

$$E = hv$$

h = Plank Sabiti
E= Enerji
V=frekans

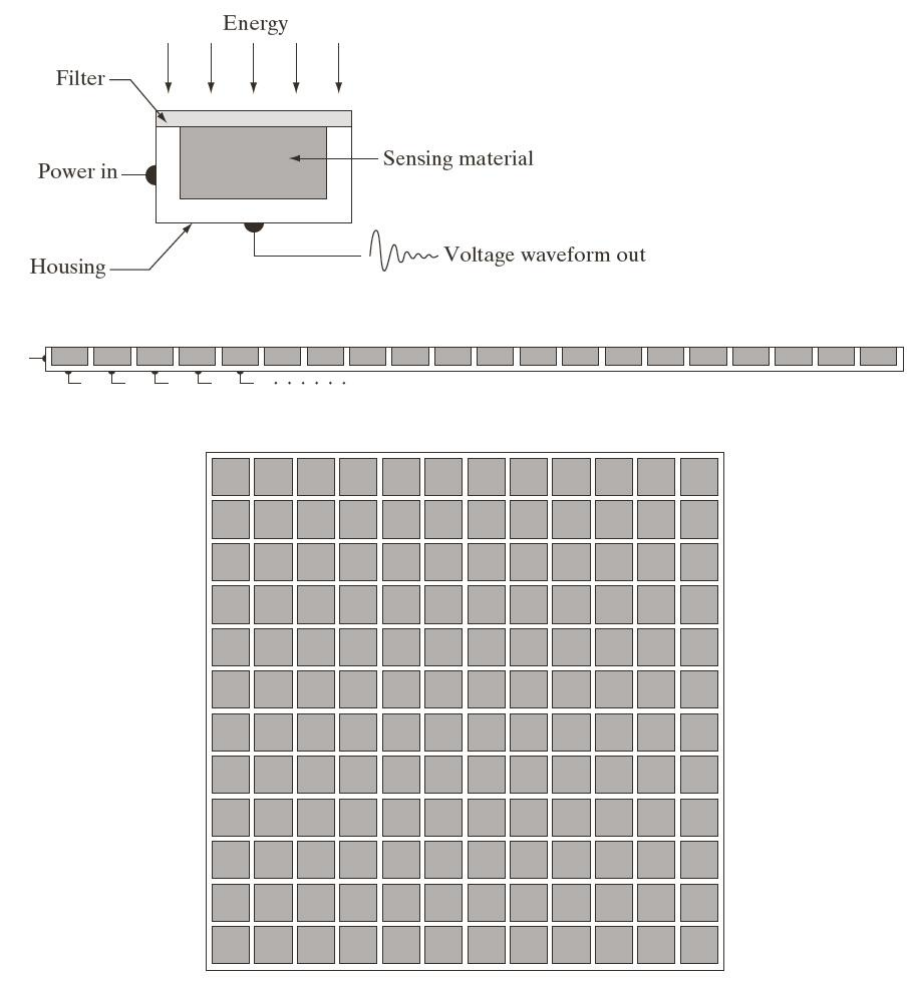
- Renk bilgisine sahip olmayan ışık “Monochromatic” ışık olarak isimlendirilir.
- Bu tür ışığın tek niteliği yoğunluk (intensity) veya miktarıdır (amount).
- Monochromatic ışığın yoğunluğu siyahtan beyaza doğru farklı grilik seviyelerinde olduğundan Gri-seviyeli terimi (Gray-Scale) kullanılır.

- Chromatic ışıklar ise monochromatic ışığın tersine renk bilgisini de barındırırlar. 3 temel ölçüt bu tarz ışık kaynağını tanımlamak için kullanılır.

- **Radiance :** Işık kaynağından yayılan enerjinin toplam miktarıdır. Genellikle watt (W) ile gösterilir.

- **Lumminance:** Lümen birimi ile ifade edilir. Gözlemcinin, ışık kaynağından gelen enerjinin algıladığı miktarı belirtir.

- **Brightness:** Bu değer ise gözlemciden gözlemciye değişebilen ve ölçümlenmesi zor olan bir özelliktir.



a
b
c

FIGURE 2.12
(a) Single imaging sensor.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.

Sensörler

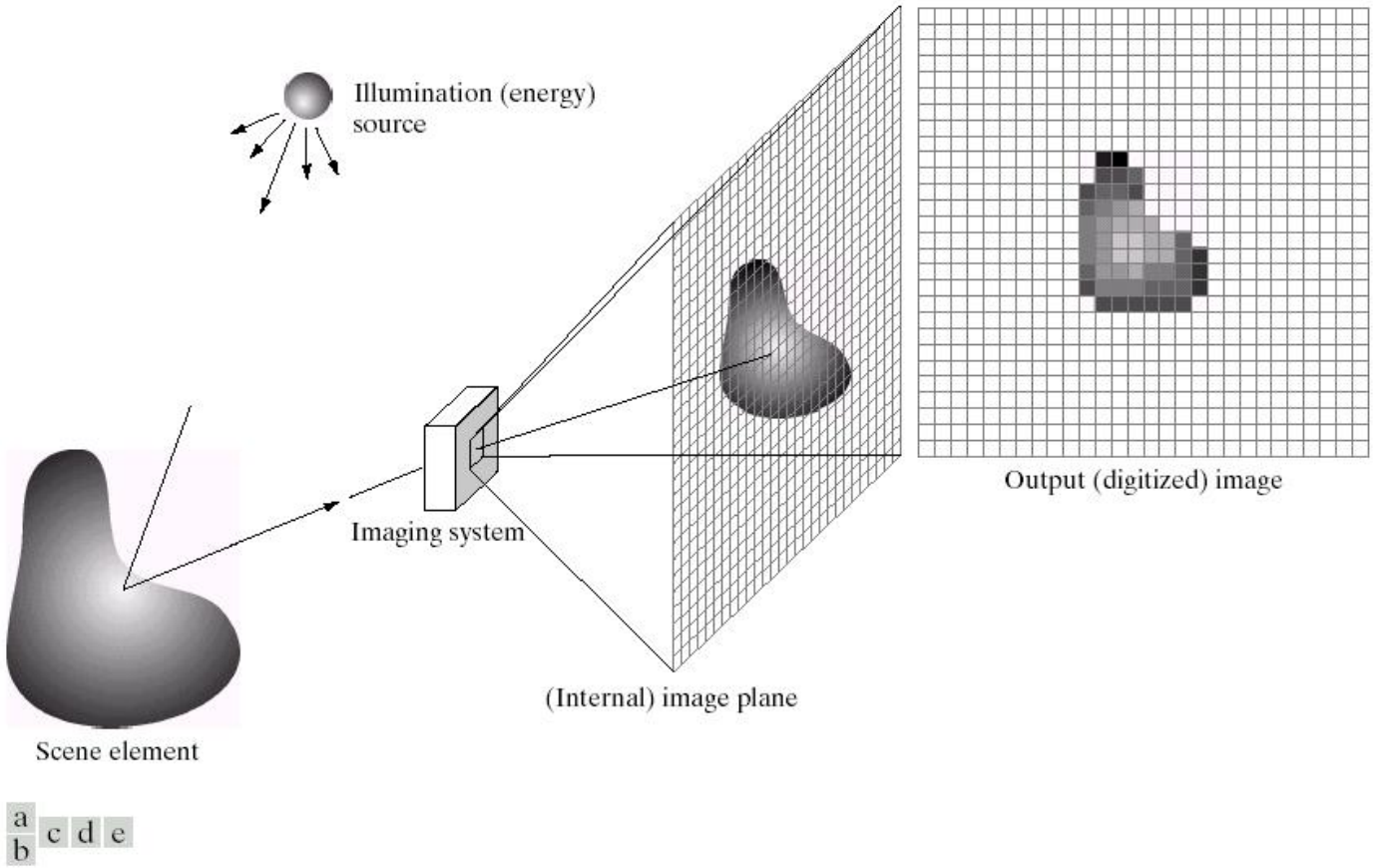
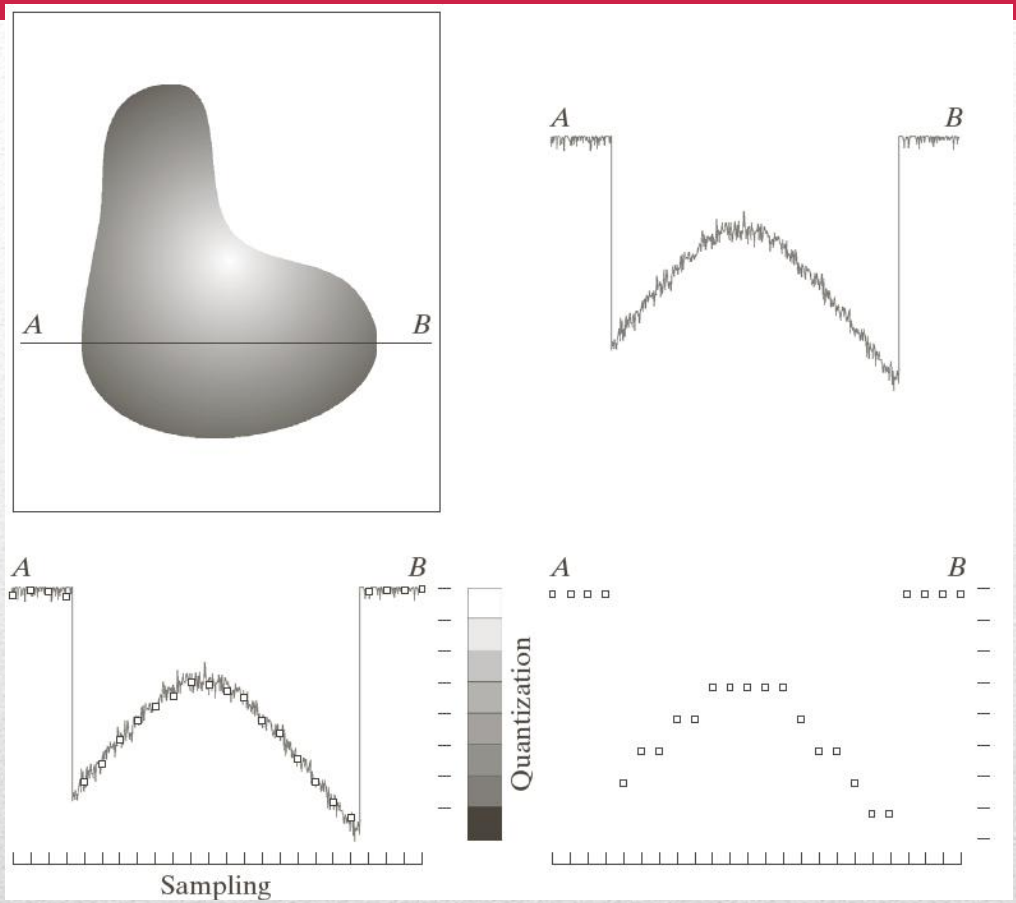
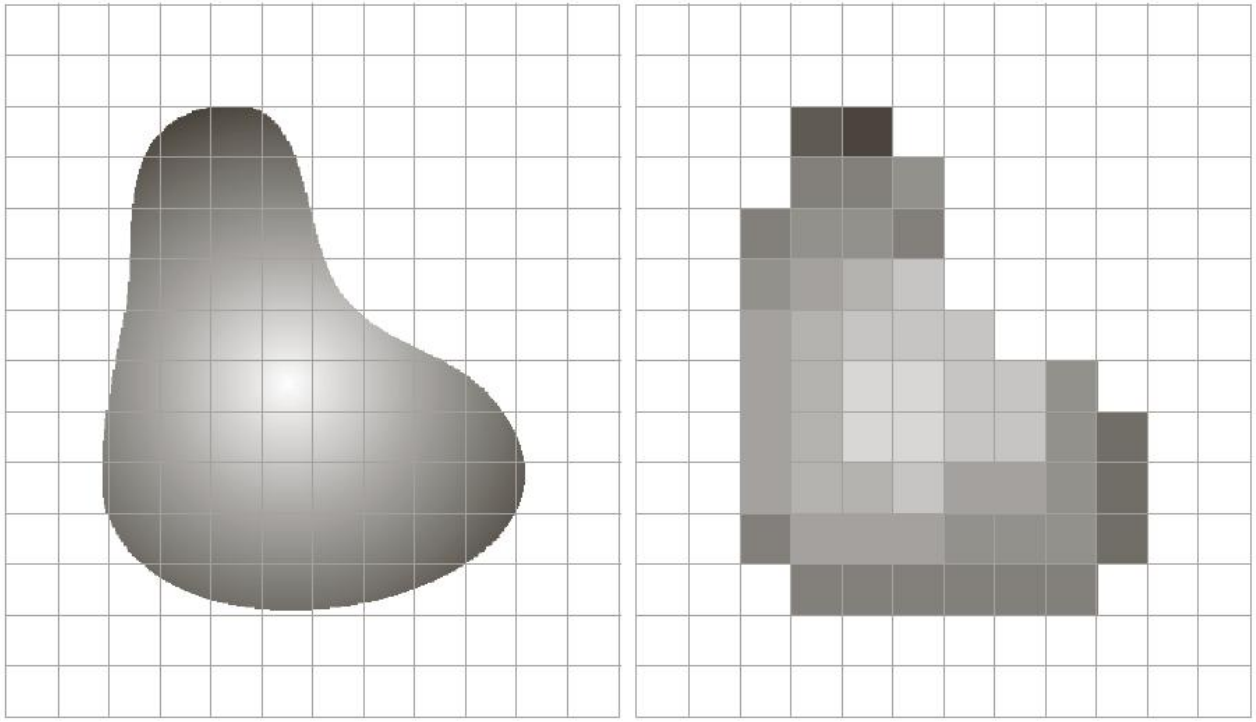


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy ("illumination") source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Görme Süreci

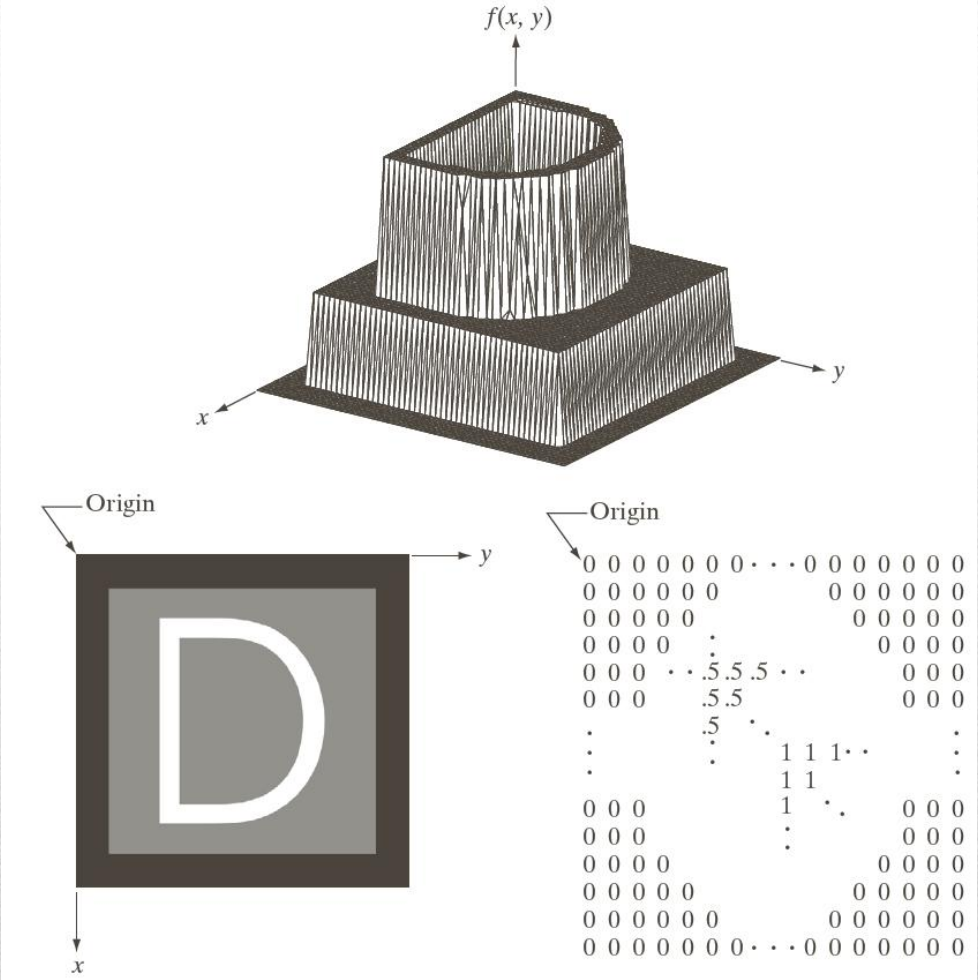


Sampling & Quantization



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.


f(x, y)
x
y
Origin
y
x
Origin

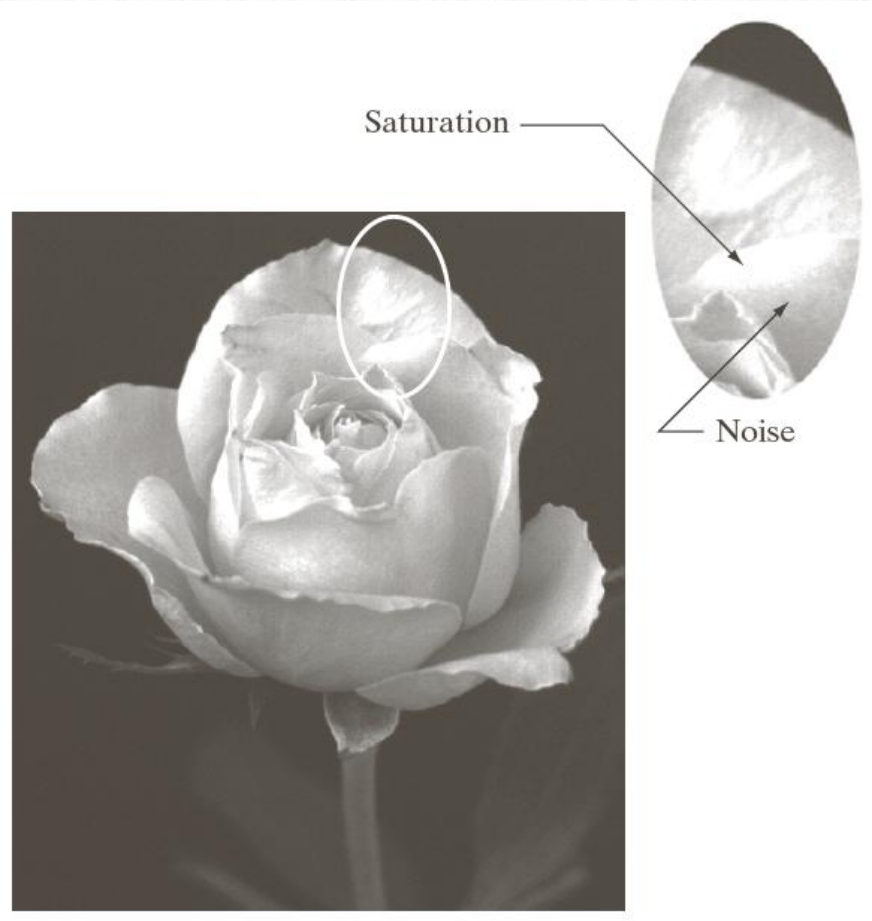


FIGURE 2.19 An image exhibiting saturation and noise. Saturation is the highest value beyond which all intensity levels are clipped (note how the entire saturated area has a high, *constant* intensity level). Noise in this case appears as a grainy texture pattern. Noise, especially in the darker regions of an image (e.g., the stem of the rose) masks the lowest detectable true intensity level.

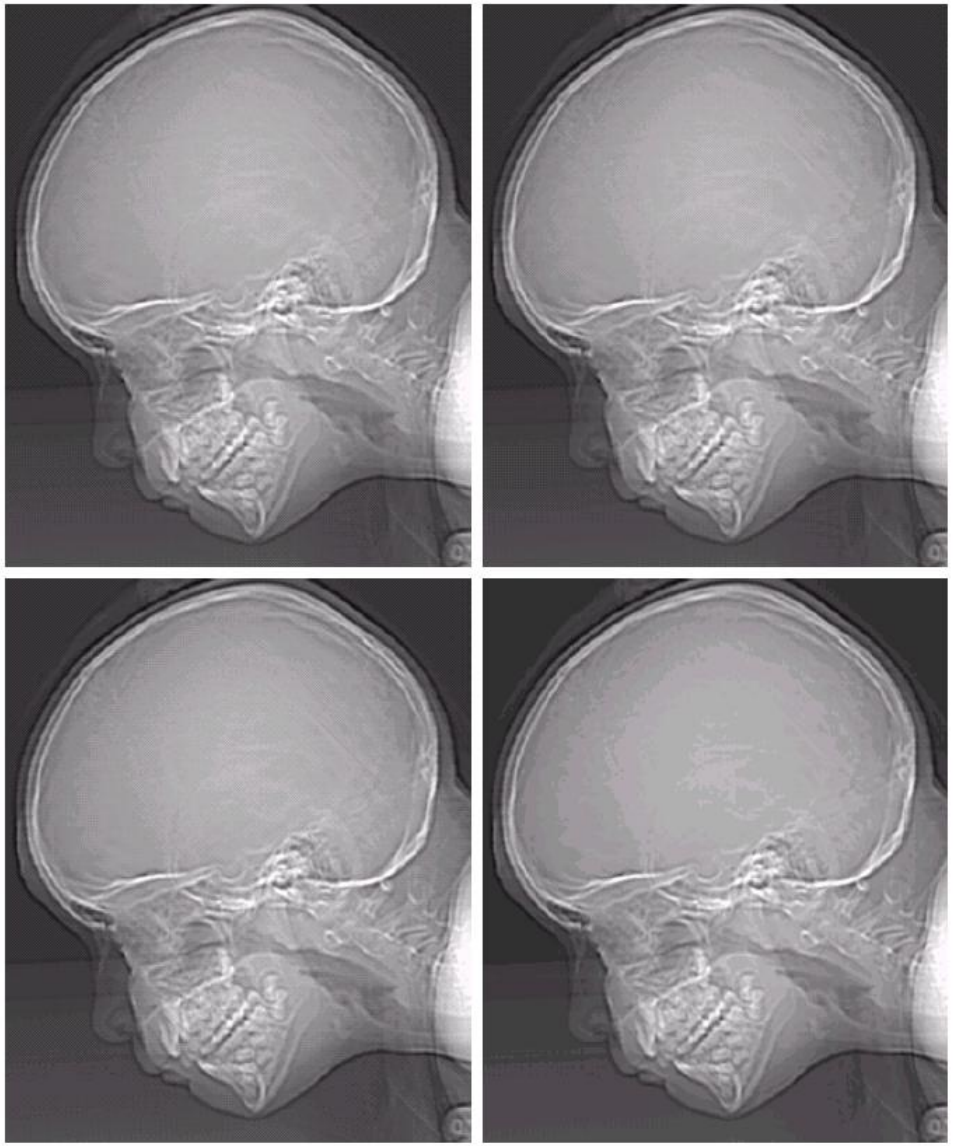
- Spatial (yersel) çözünürlük, görüntüdeki ayırt edilebilen detayın bir ölçüsüdür. Farklı şekillerde ölçümlenebilir.

- Görüntünün boyutu (size), görüntünün tümü hakkında çok şey ifade etmeyebilir. Örn: 1024x1024 çözünürlüklü bir görüntünün eğer yersel çözünürlüğü bilinmiyorsa çok fazla bir şey ifade etmeyebilir.

- Benzer şekilde, intensity (yoğuluk) çözünürlüğü ise yoğunluk seviyesindeki en ufak ayırt edilebilir farka işaret eder.

Spatial and Intensity Resolution

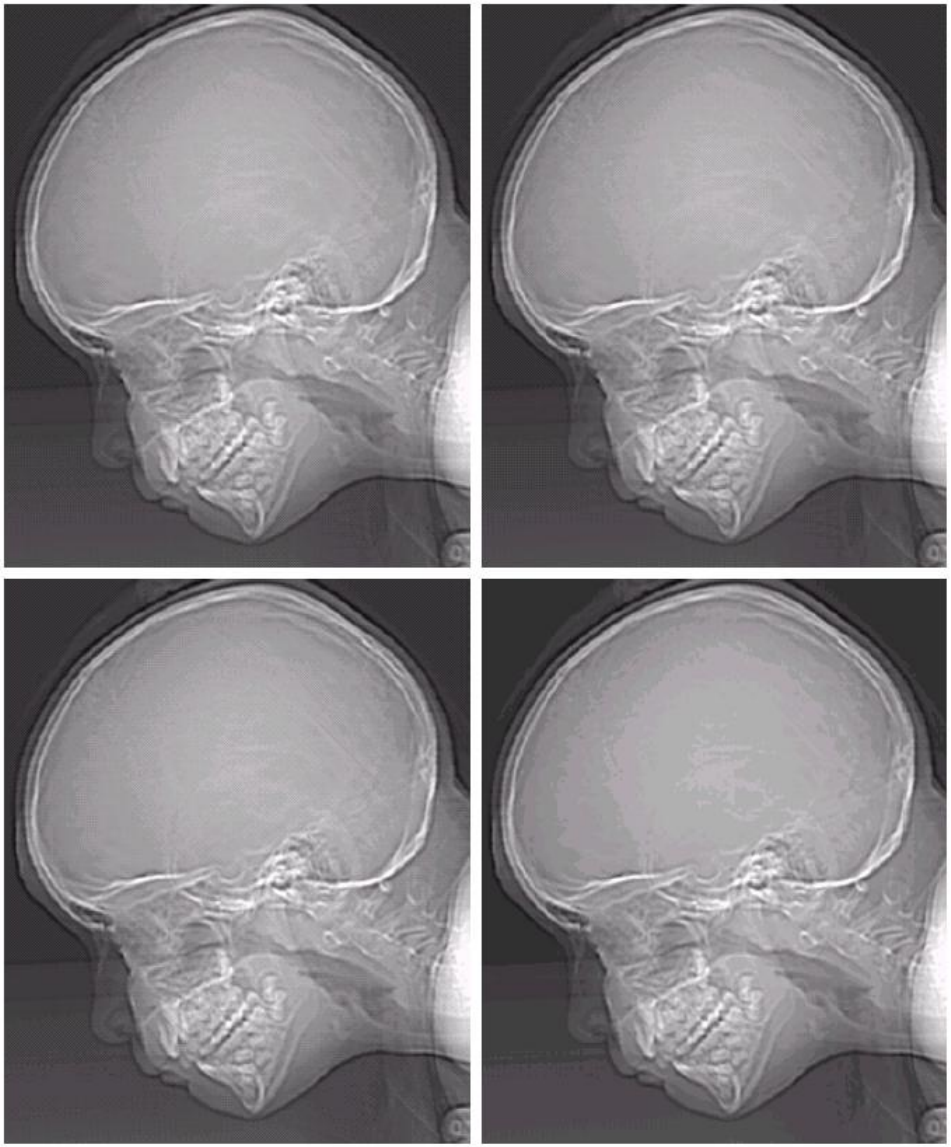
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.



a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Fark nedir ?



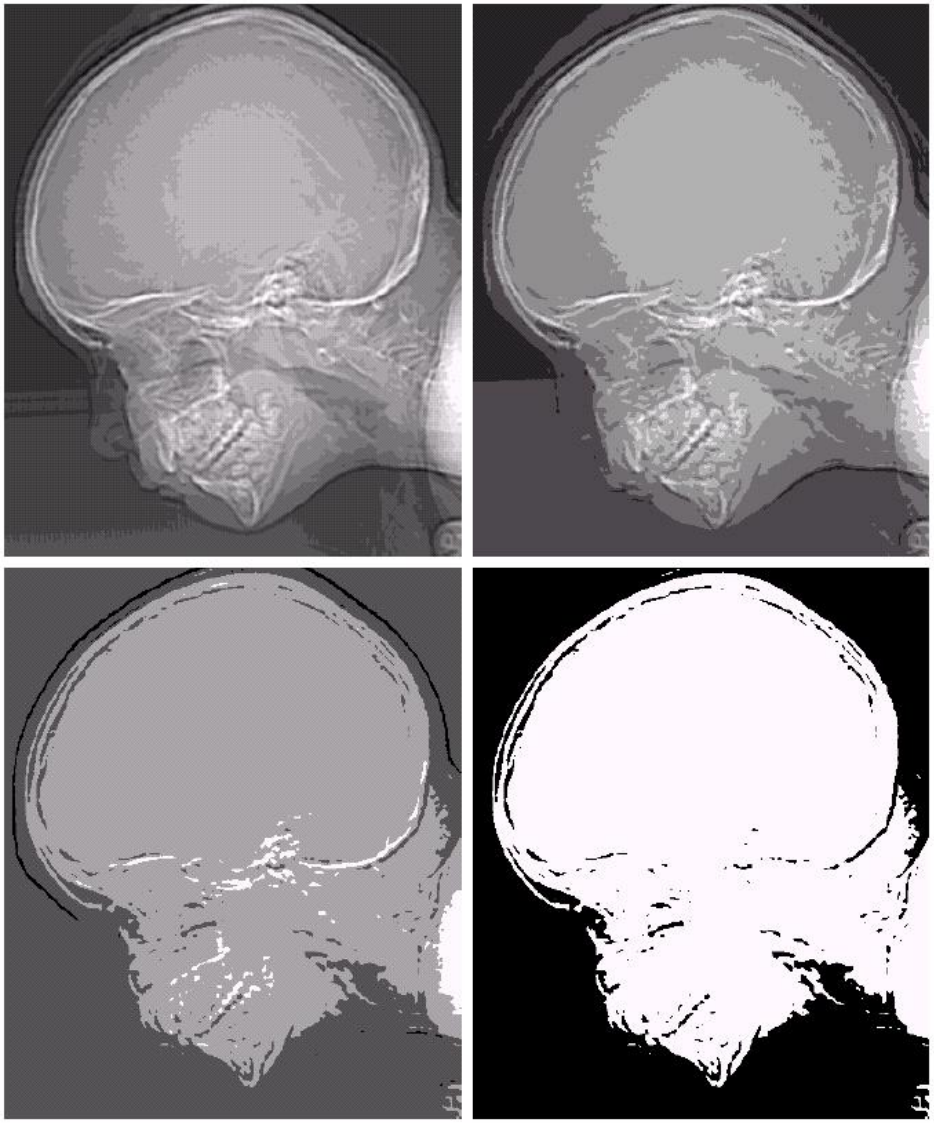
a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Temel olarak çözünürlük yeterince yüksek ise fark oluşmaz

e f
g h

FIGURE 2.21 *(Continued)* (e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



- Enterpolasyon, yakınlaştırma (zooming), döndürme (rotation) ve geometrik düzeltme (geometric correction) gibi işlemlerde yaygın bir şekilde kullanılan bir araçtır.

- Temel olarak enterpolasyon, bilinen bilgileri kullanarak bilinmeyen bölgelerdeki değerlerin hesaplanması işlemidir.

Görüntü Enterpolasyonu (Image Interpolation)

- 500x500 boyutlarındaki bir görüntünün 750x750 boyutlarına getirilmek istenmektedir (yaklaşık 1.5 kat büyütülmek istenmektedir.).

- Bu işlemin en kolay yolu 750x750 ebatlarında ve piksel genişliği aynı değere sahip olan bir görüntü oluşturmak ve ardından ise orijinal görüntünün üzerine uyacak şekilde ufaltmaktır.

Bu işlemi yaparken ne tip bir sorunla karşılaşılabilir?

Örnek

- Burada, açıkça görülmektedir ki ufaltılan (daraltılan) 750x 750'lik görüntüdeki piksel genişliği orijinal görüntüden daha az olacaktır.
- Bu yeni piksellere parlaklık seviyeleri atanırken literatürdeki farklı yöntemlerden faydalanılır.

- Oluşturulan yeni görüntüdeki her pikselin parlaklık değeri hesaplanırken orijinal görüntüdeki en yakın pikseller dikkate alınarak işlem gerçekleştirilir. Piksellerin yeni parlaklık değerleri atandıktan sonra görüntüyü istenilen büyüklükte genişletiriz ve böylelikle yakınlaştırılmış (zoom edilmiş) görüntümüz ortaya çıkar. Bu yöntem en yakın komşu (nearest neighbor) olarak bilinmektedir.

- En yakın komşu yöntemi, oldukça basit olmasına rağmen, oluşan yeni görüntüde bazı gürültüler ve istenmeyen etkilere neden olduğundan birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirir. Bu yüzden sıklıkla tercih edilmez.

- Yeni piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise bilinear interpolation yöntemidir. Bu yöntemde oluşturulan pikselin parlaklık değeri çevresindeki en yakın 4 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d$$

V (x,y) x,y koordinatlarındaki pikselin parlaklık değeri

Bu denklemdeki 4 adet bilinmeyen sabit (a,b,c,d), (x,y) noktasının en yakın 4 komşusundan elde edilecek 4 farklı eşitlik sonucunda hesaplanır.

Bilinear enterpolasyon daha fazla hesaplama gereksinmesine rağmen bu yöntem ile elde edilen sonuçlar en yakın komşu yöntemine göre daha başarılıdır.

- Üçüncü bir yöntem ise bicubic enterpolasyondur. Bu yöntemde ise yeni pikselin parlaklık değeri orijinal görüntüdeki konumuna en yakın 16 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} x^i y^j$$

a b c
d e f

FIGURE 2.24 (a) Image reduced to 72 dpi and zoomed back to its original size (3692 × 2812 pixels) using nearest neighbor interpolation. This figure is the same as Fig. 2.20(d). (b) Image shrunk and zoomed using bilinear interpolation. (c) Same as (b) but using bicubic interpolation. (d)–(f) Same sequence, but shrinking down to 150 dpi instead of 72 dpi [Fig. 2.24(d) is the same as Fig. 2.20(c)]. Compare Figs. 2.24(e) and (f), especially the latter, with the original image in Fig. 2.20(a).

- (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin 4 yatay ve 4 dikey komşusunun koordinatları aşağıdaki gibidir:

$$(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)$$

(x,y) bu piksel seti p noktasının 4 komşusu olarak ifade edilir ve $N_4(p)$ olarak gösterilir.

Pikseller Üzerinde Temel İşlemler (Bir Pikselin Komşuları)

- Yine, (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin çapraz komşularının koordinatları:

$$(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$$

olup $N_D(p)$ olarak ifade edilir. Bu çapraz komşular dörtlü komşular ile birlikte 8'li komşuları oluştururlar ve $N_8(p)$ olarak ifade edilirler.

- Matris İşlemleri
- Linear ve Non-Linear İşlemler
- Aritmetik İşlemler
- Kümesel ve Mantıksal İşlemler
- Yersel İşlemler
- Vektör ve Matris Operasyonları
- Görüntü Dönüşümleri

Sayısal Görüntü İşlemede Kullanılan Matematiksel Araçlar

- Daha önce de belirtildiği gibi sayısal görüntünün ifade edilmesinde matris tabanlı gösterim kullanılmaktadır.

- İki görüntü üzerinde gerçekleştirilen matris tabanlı işlemler iki görüntünün pikselleri üzerinde teker teker gerçekleştirilir.

Matris İşlemleri

- Örneğin 2x2 boyutlu bir görüntü üzerinde gerçekleştirilen işlem sonucu oluşan dizi aşağıdaki gibi ifade edilir:

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

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

Linear ve Non-Linear İşlemle

- Girdi f(x,y) görüntüsünü alan ve çıktı görüntüsü olarak g(x,y) görüntüsünü üreten H genel operatörünü göz önüne alalım.

$$H\left[f(x, y)\right] = g(x, y)$$

Eğer H aşağıdaki şartı sağlıyorsa doğrusal (linear) bir operatördür.

$$\begin{aligned} H\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] &= a_i H\left[f_i(x, y)\right] + a_j H\left[f_j(x, y)\right] \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

- Örneğin, H'nin toplam operatörü olduğunu düşünelim. Bu operatörün lineer olup olmadığını test etmek için, sol taraftan işlem yapılmaya başlar ve bu sol tarafın sağ tarafa eşit olduğu ispatlanmaya çalışılır.

$$\sum\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] = \sum a_i f_i(x, y) + \sum a_j f_j(x, y)$$

$$= a_i \sum f_i(x, y) + a_j \sum f_j(x, y)$$

$$= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y)$$

- Diğer bir örnek ise Max için verilsin. Bu operatör ise verilen piksel grubunun içinde değer max olanını bulmaktadır. Elimizde ise aşağıdaki şekilde 2 tane görüntü olsun.

$$f_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad f_2 = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

Katsayılarımız olan a1 ve a2 ise sırasıyla 1 ve -1 olsun.

- Doğrusallığı test etmek için yine sol taraftan işleme başlarız.

$$\max\left\{(1)\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix} + (-1)\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = \max\left\{\begin{bmatrix}-6 & -3\\ -2 & -4\end{bmatrix}\right\}$$

$$\boxed{= -2}$$

Test işlemini sağdan yapmaya başladığımızda ise:

$$(1)\max\left\{\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix}\right\} + (-1)\max\left\{\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = 3 + (-1)7$$

$$\boxed{= -4}$$

Max operatörü için doğrusal bir durumdan bahsetmek mümkün değildir.

- Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen temel aritmetiksel işlemler:

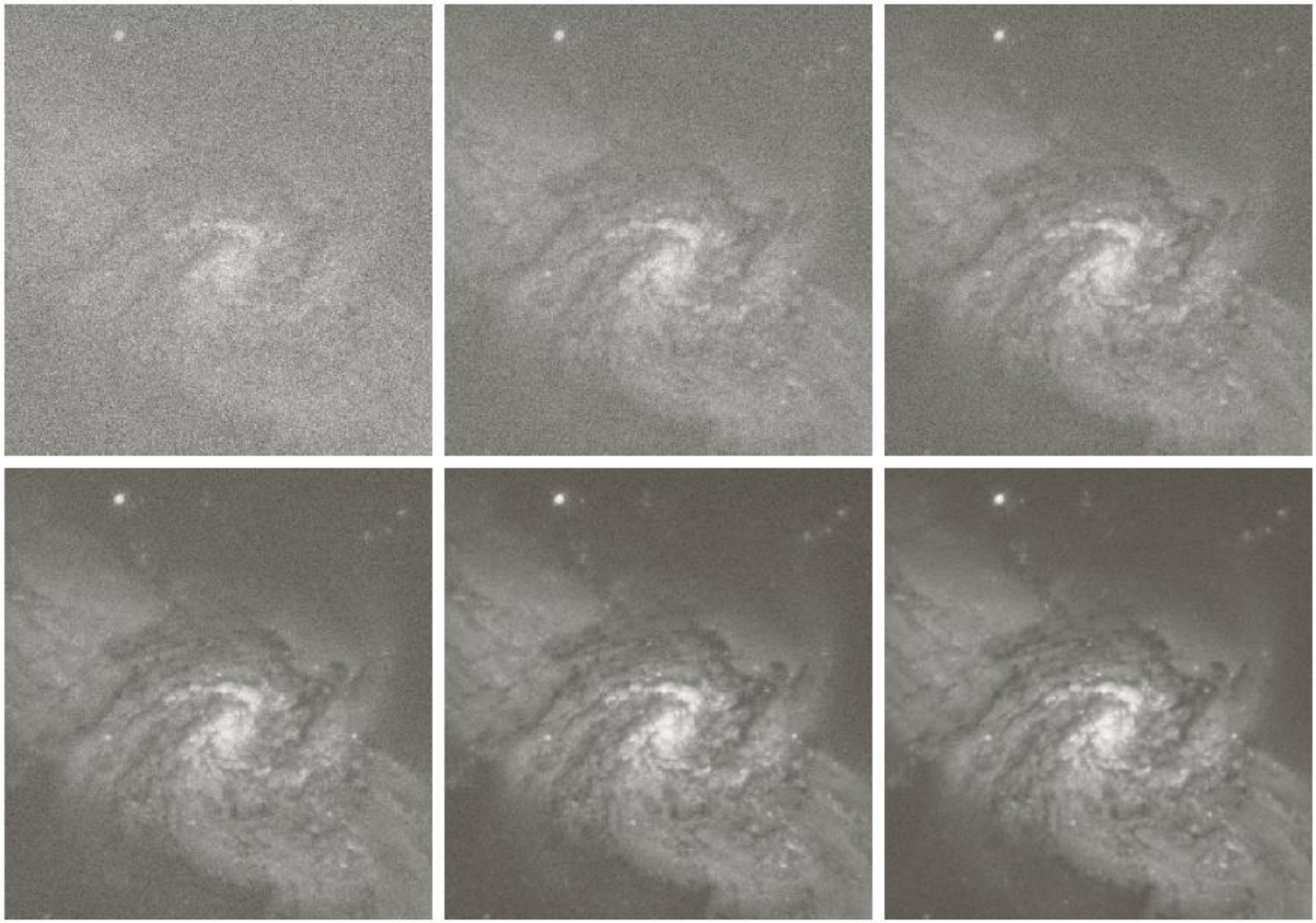
$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

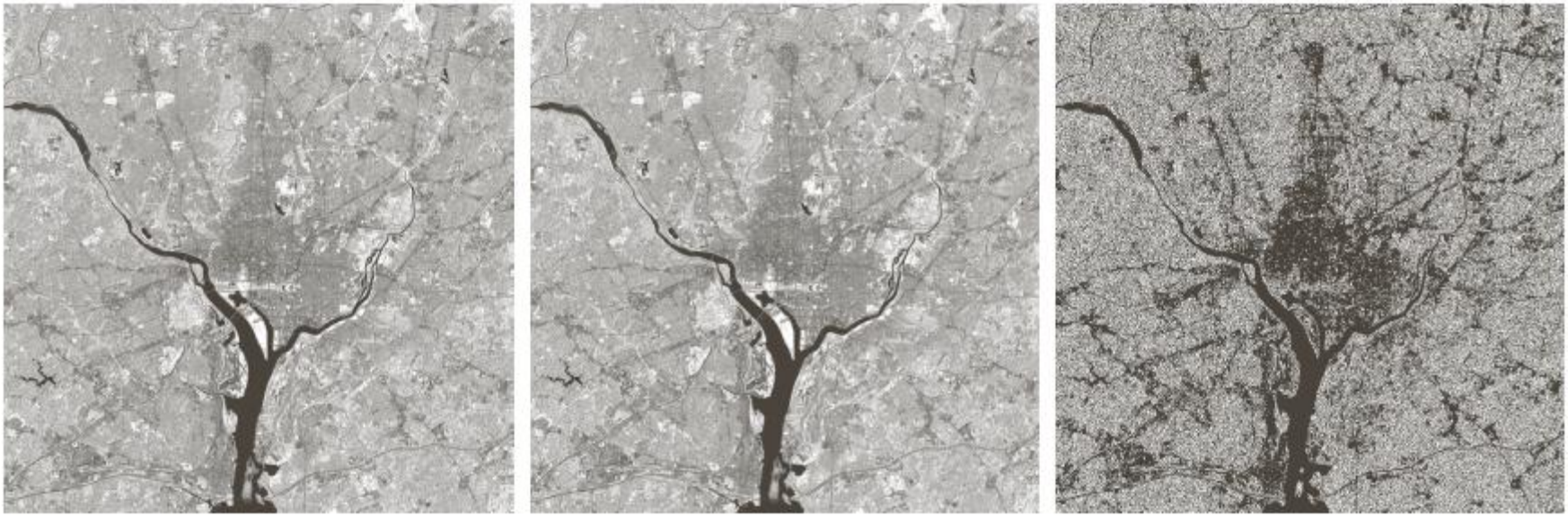
$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

Aritmetik İşlemler



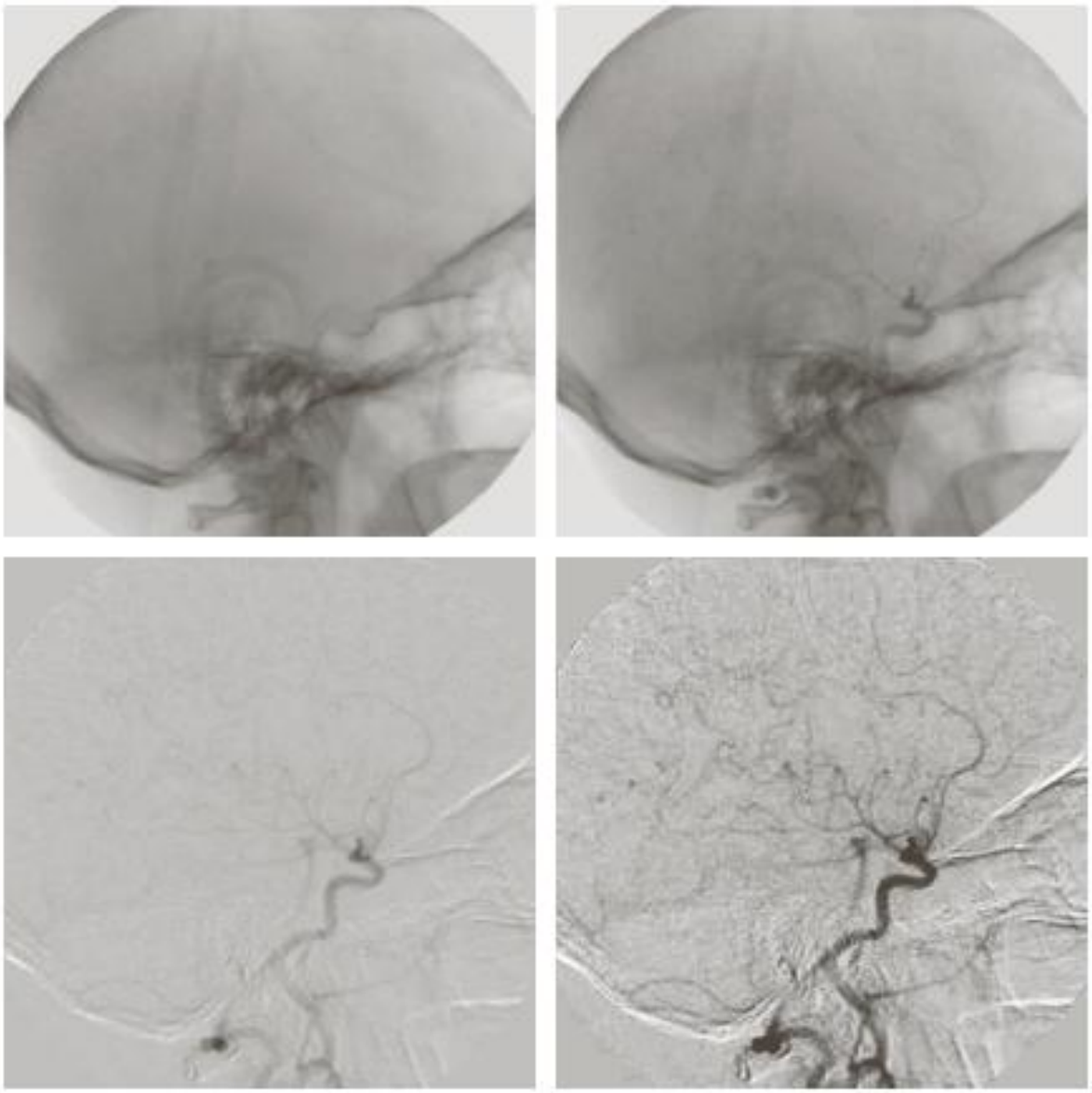
a b c
d e f

FIGURE 2.26 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)–(f) Results of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. (Original image courtesy of NASA.)



a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

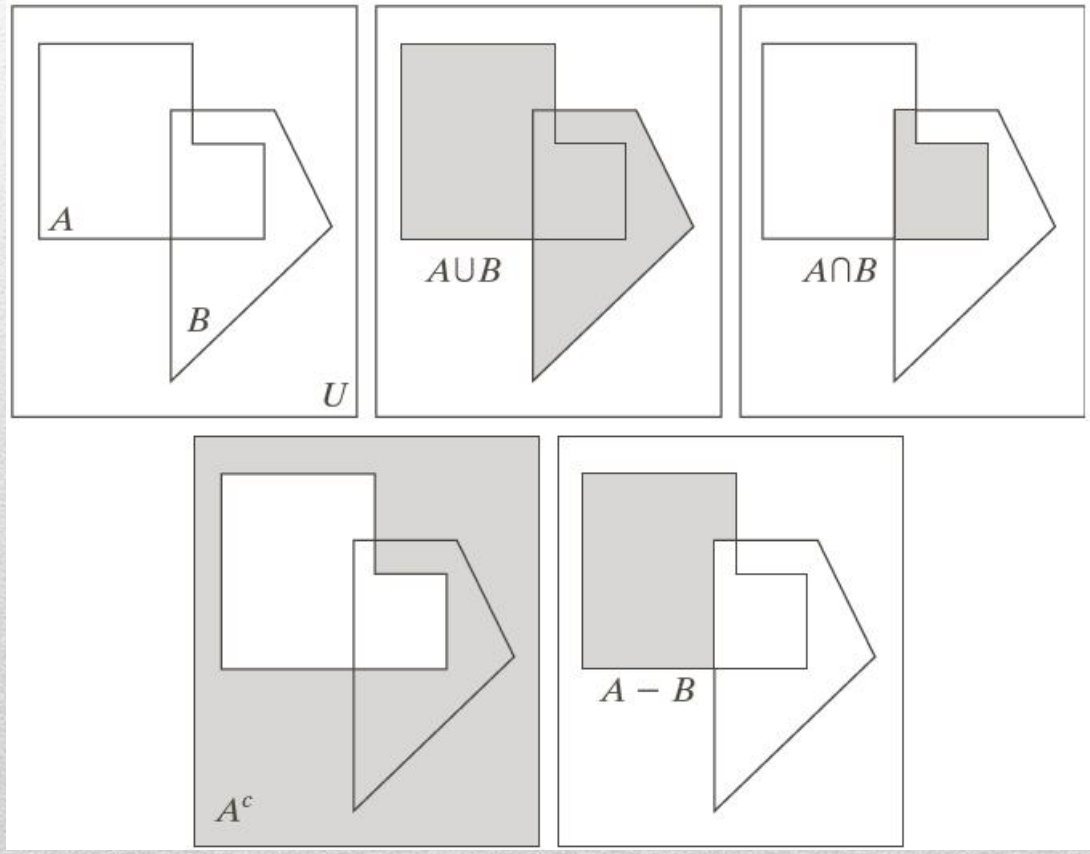


a b
c d

FIGURE 2.28 Digital subtraction angiography. (a) Mask image. (b) A live image. (c) Difference between (a) and (b). (d) Enhanced difference image. (Figures (a) and (b) courtesy of The Image Sciences Institute, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands.)

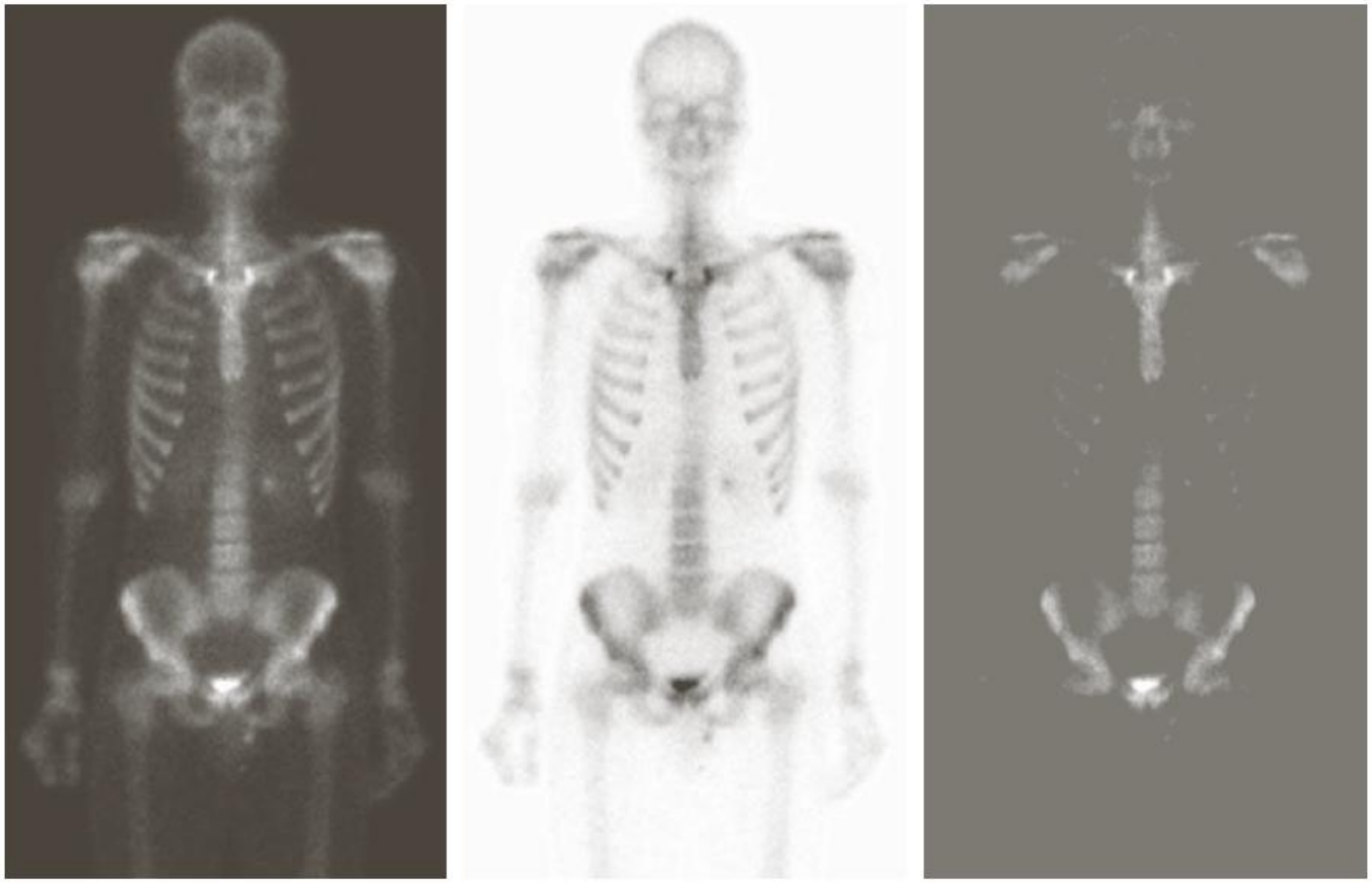
a b c

FIGURE 2.30 (a) Digital dental X-ray image. (b) ROI mask for isolating teeth with fillings (white corresponds to 1 and black corresponds to 0). (c) Product of (a) and (b).



a b c
d e

FIGURE 2.31 (a) Two sets of coordinates, A and B, in 2-D space. (b) The union of A and B. (c) The intersection of A and B. (d) The complement of A. (e) The difference between A and B. In (b)–(e) the shaded areas represent the member of the set operation indicated.



a b c

FIGURE 2.32 Set operations involving gray-scale images. (a) Original image. (b) Image negative obtained using set complementation. (c) The union of (a) and a constant image. (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)

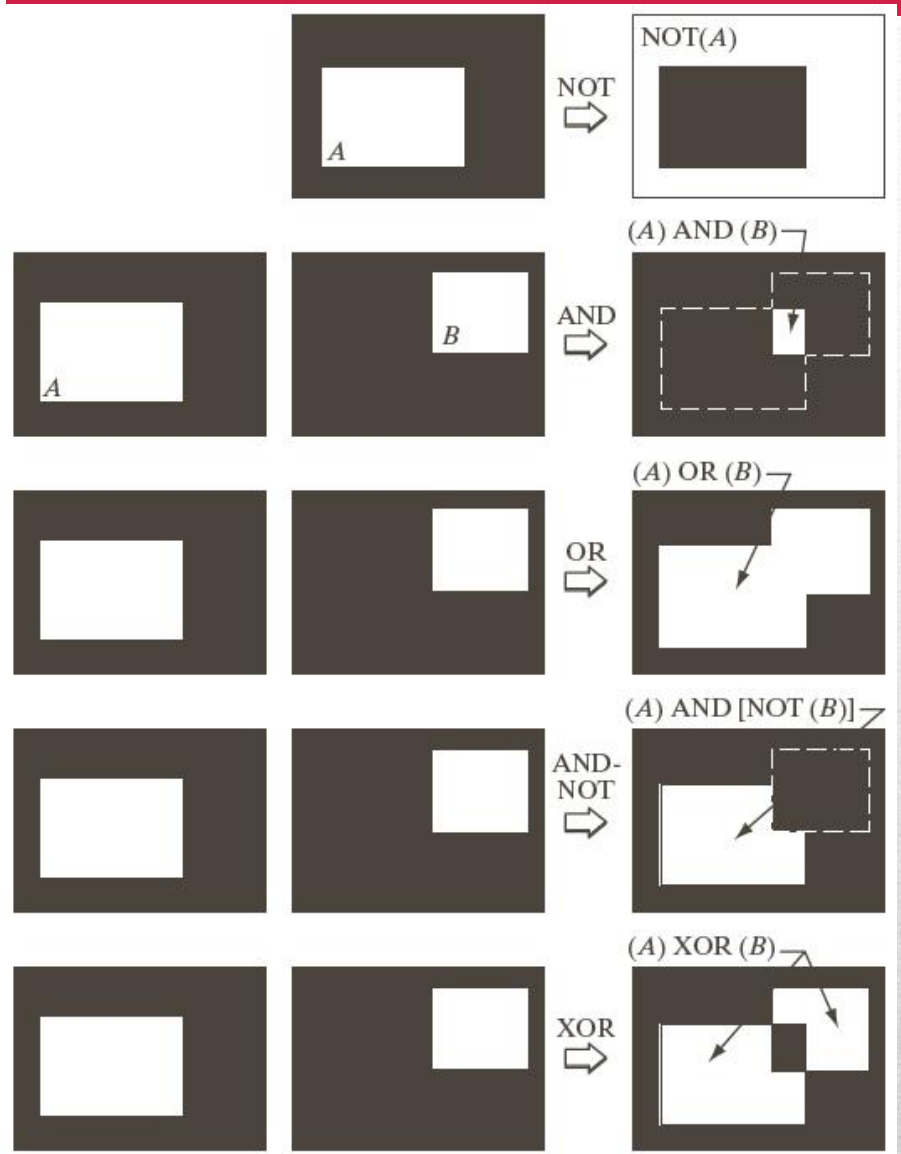


FIGURE 2.33 Illustration of logical operations involving foreground (white) pixels. Black represents binary 0s and white binary 1s. The dashed lines are shown for reference only. They are not part of the result.

Yersel işlemler, görüntü üzerindeki pikseller üzerinde gerçekleştirilirler. Yersel işlemleri 3 kategoride toplamak mümkündür:

- Tek piksel ile Yapılan İşlemler (Single Pixel Operations)
- Komşuluk İşlemleri (Neighborhood Operations)
- Geometrik Yersel Dönüşümler (Geometric Spatial Transformations)

Spatial (Yersel) İşlemler

Single Pixel Operations

- Sayısal bir görüntü üzerinde yapılacak en basit işlemlerden bir tanesi, piksellerin parlaklık değerlerinin değiştirilmesidir. Bu tür bir işlem bir dönüşüm fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$s = T(z)$$

z Orijinal görüntüdeki pikselin yoğunluğu

s İşlenerek elde edilen yeni görüntüdeki karşılık gelen pikselin yeni yoğunluk değeri

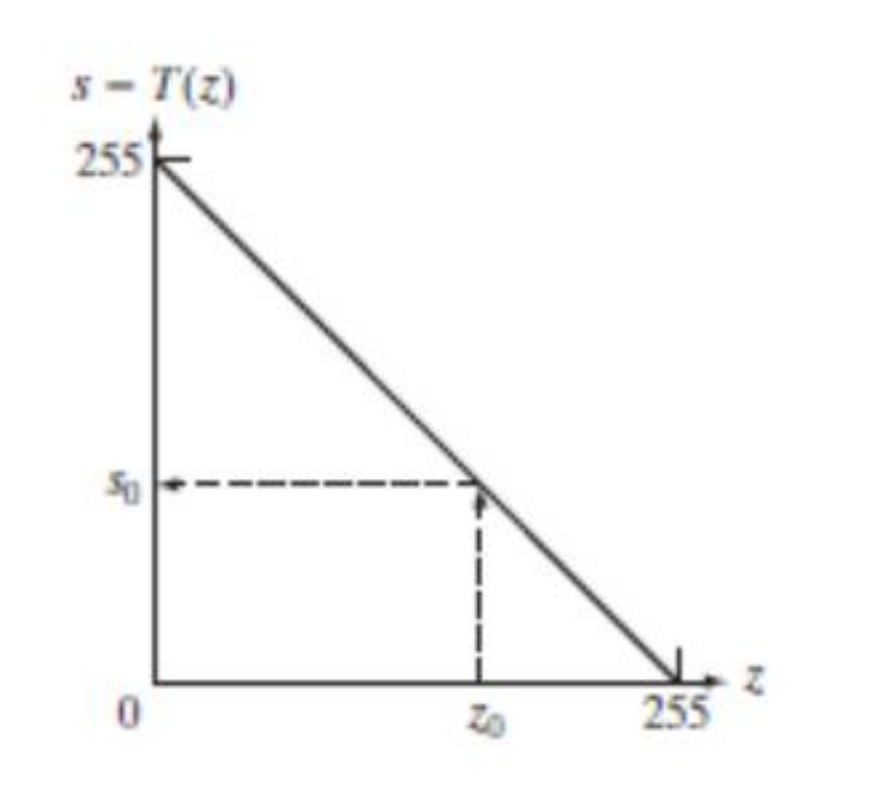


FIGURE 2.34 Intensity transformation function used to obtain the negative of an 8-bit image. The dashed arrows show transformation of an arbitrary input intensity value z_0 into its corresponding output value s_0.

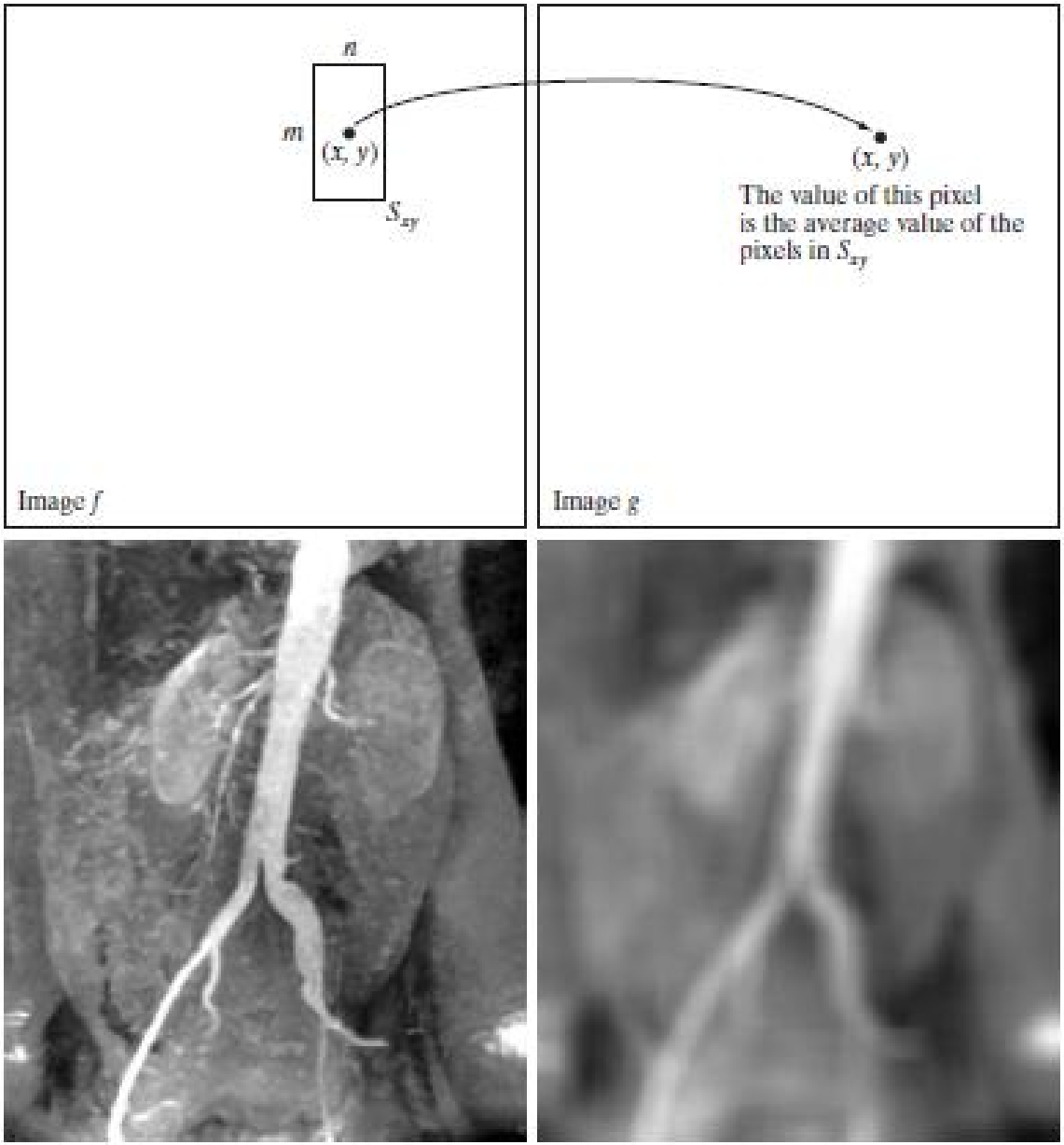
- S_{xy}, bir f görüntüsündeki keyfi bir x,y noktasının koordinat setini temsil etsin. Komşuluk işlemleri, girdi görüntüsünün(f), çıktı görüntüsünde (g) karşılık gelen pikselini üretir.

- G görüntüsündeki yeni pikselin parlaklık değeri de girdi görüntüsündeki S_{xy} deki koordinat bilgileri baz alınarak üretilir.

Neighborhood Operations

a b
c d

FIGURE 2.35 Local averaging using neighborhood processing. The procedure is illustrated in (a) and (b) for a rectangular neighborhood. (c) The aortic angiogram discussed in Section 1.3.2. (d) The result of using Eq. (2.6-21) with $m = n = 41$. The images are of size 790×686 pixels.



Geometrik dönüşümler, bir görüntüdeki pikseller arasındaki yersel ilişkiyi (spatial relationship) düzenler. Sayısal görüntü işlemede, geometrik dönüşümler 2 temel işlemden oluşurlar.

- Koordinatların yersel dönüşümleri (Spatial Transformation of Coordinates)
- Yoğunluk Enterpolasyonu (Intensity Interpolation)

Geometrik Yersel Dönüşümler

Koordinatların dönüşümü :

$$(x, y) = T\{(v, w)\}$$

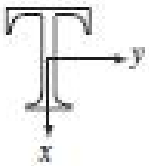
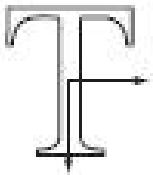
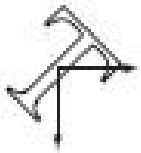
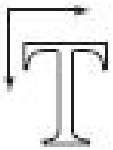
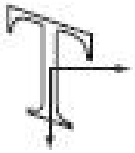
ile ifade edilir. (v,w) orijinal görüntüdeki piksel koordinatlarını ; (x,y) ise dönüşüm sağlanan görüntüdeki karşılık gelen piksel koordinatlarını belirtmektedir.

Literatürde, en yaygın olarak kullanılan yersel dönüşüm affine dönüşümü (affine transform)' dür (Wolberg,1990). Bu dönüşümü aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:

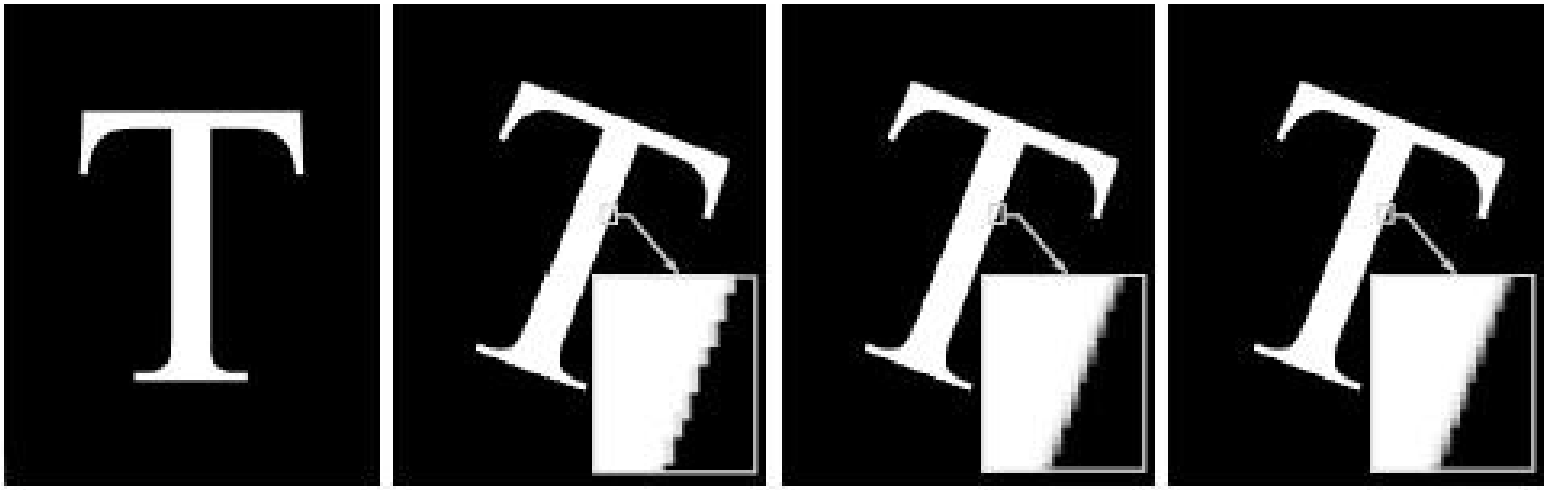
$$[x \;\; y \;\; 1] = [v \;\; w \;\; 1]\,\mathbf{T} = [v \;\; w \;\; 1]\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

TABLE 2.2

Affine transformations based on Eq. (2.6-23).

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\sin\theta$ $y = v\cos\theta + w\sin\theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

- Bu dönüşüm işlemi gerçekleştirildikten sonraki aşama ise daha evvel bahsedilmiş yöntemler ile (nearest neighbor, bilinear ,bicubic) yoğunluk enterpolasyonun gerçekleştirilmesidir.

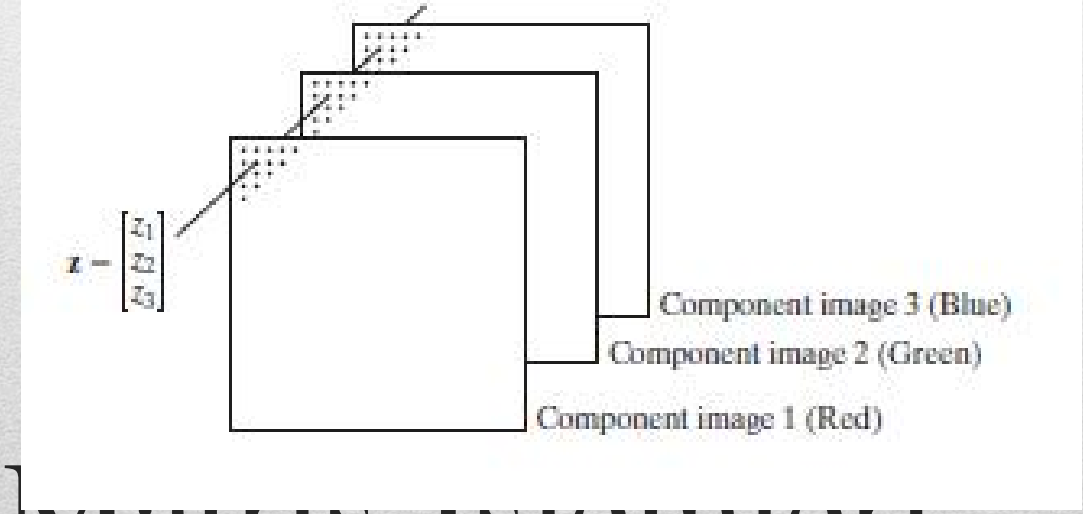


a b c d

FIGURE 2.36 (a) A 300 dpi image of the letter T. (b) Image rotated 21° using nearest neighbor interpolation to assign intensity values to the spatially transformed pixels. (c) Image rotated 21° using bilinear interpolation. (d) Image rotated 21° using bicubic interpolation. The enlarged sections show edge detail for the three interpolation approaches.

RGB ortamındaki her görüntü elemanın (pikselin) 3 temel bileşeni vardır:

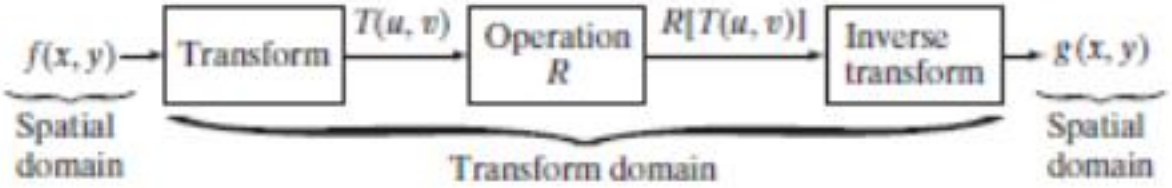
$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix}$$



Vektör Matris İşlemleri

- Buraya kadar bahsedilen görüntü işleme yöntemleri yersel ortamdaydı (spatial domain). Fakat farklı görüntü operasyonları bu ortamdan farklı bir ortamda da işletilebilir.

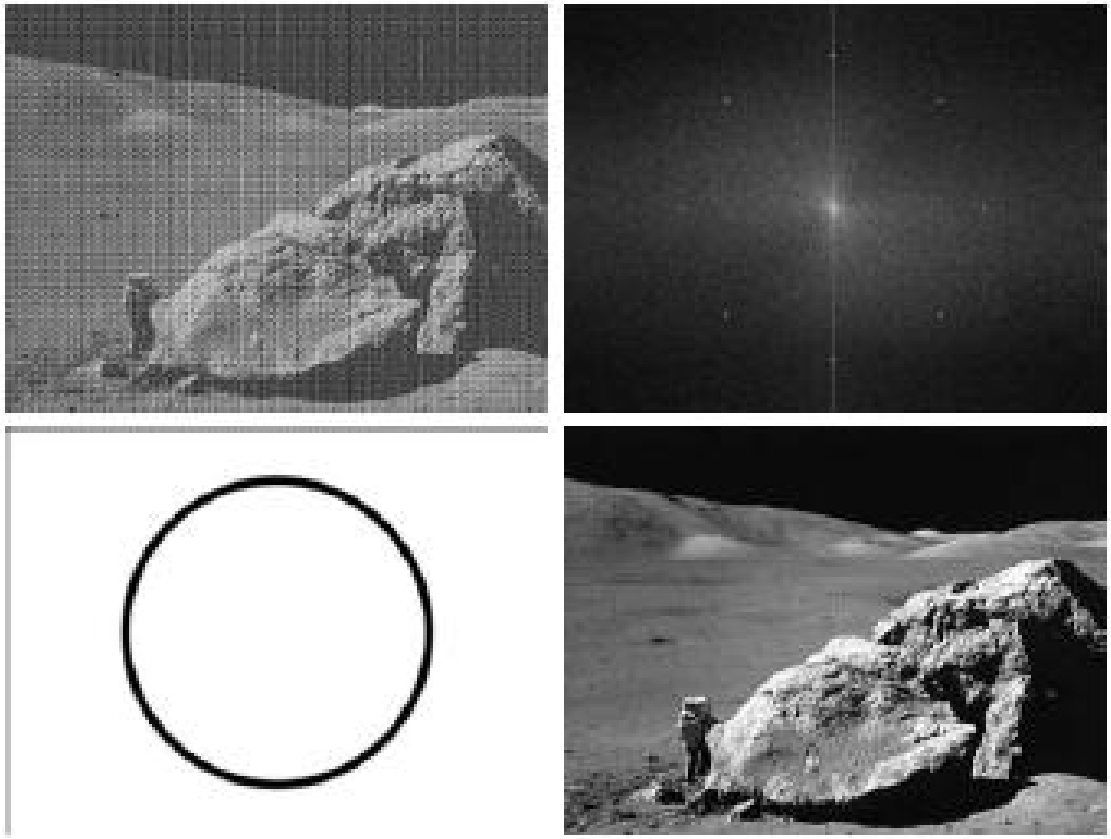
FIGURE 2.39 General approach for operating in the linear transform domain.



Görüntü Dönüşümleri

a b
c d

FIGURE 2.40
(a) Image corrupted by sinusoidal interference. (b) Magnitude of the Fourier transform showing the bursts of energy responsible for the interference. (c) Mask used to eliminate the energy bursts. (d) Result of computing the inverse of the modified Fourier transform. (Original image courtesy of NASA.)



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

İskenderun Teknik Üniversitesi

Fakülte: *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*

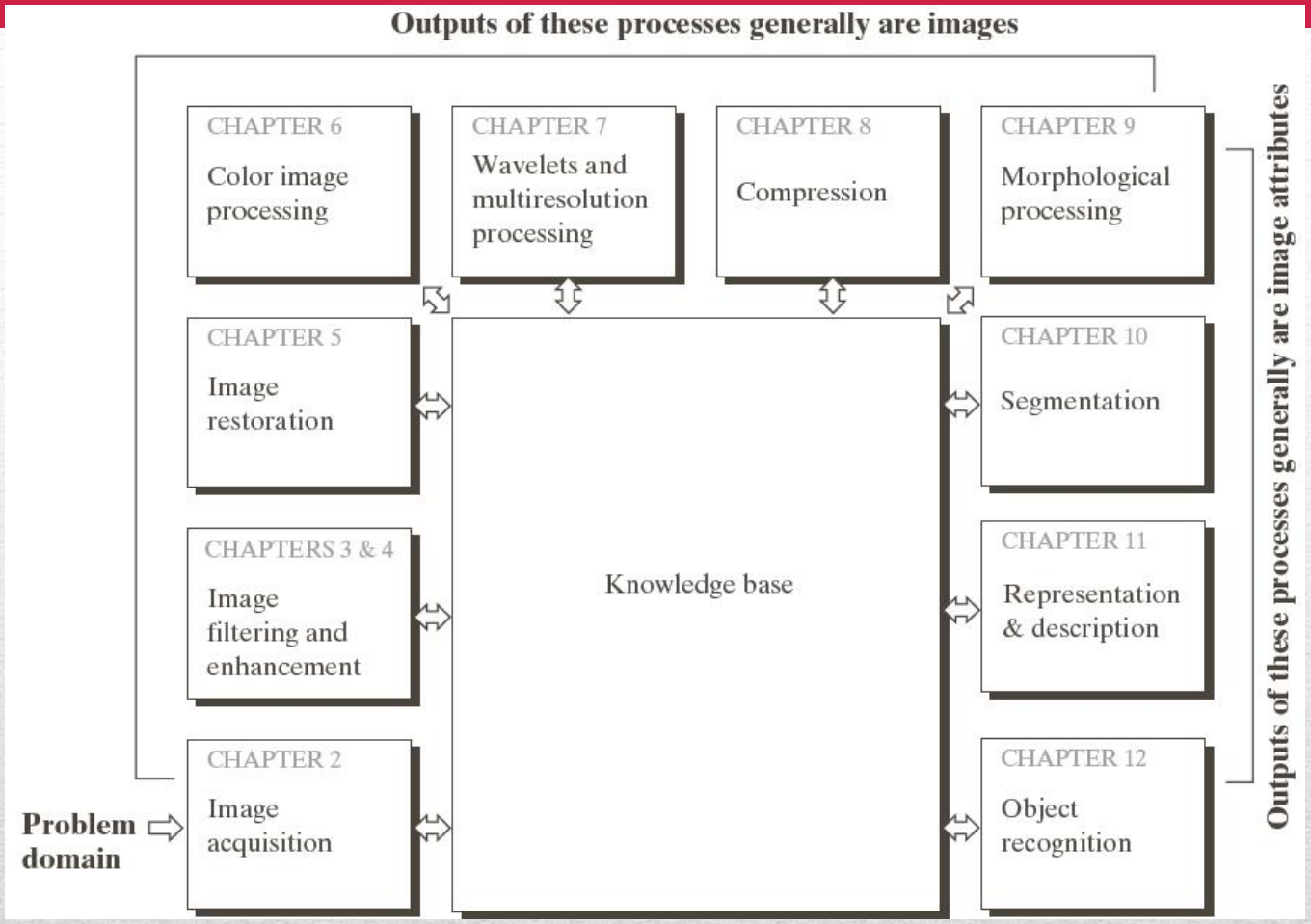
Bölüm: *Bilgisayar Mühendisliği*

Ders: Sayısal *Görüntü İşleme*

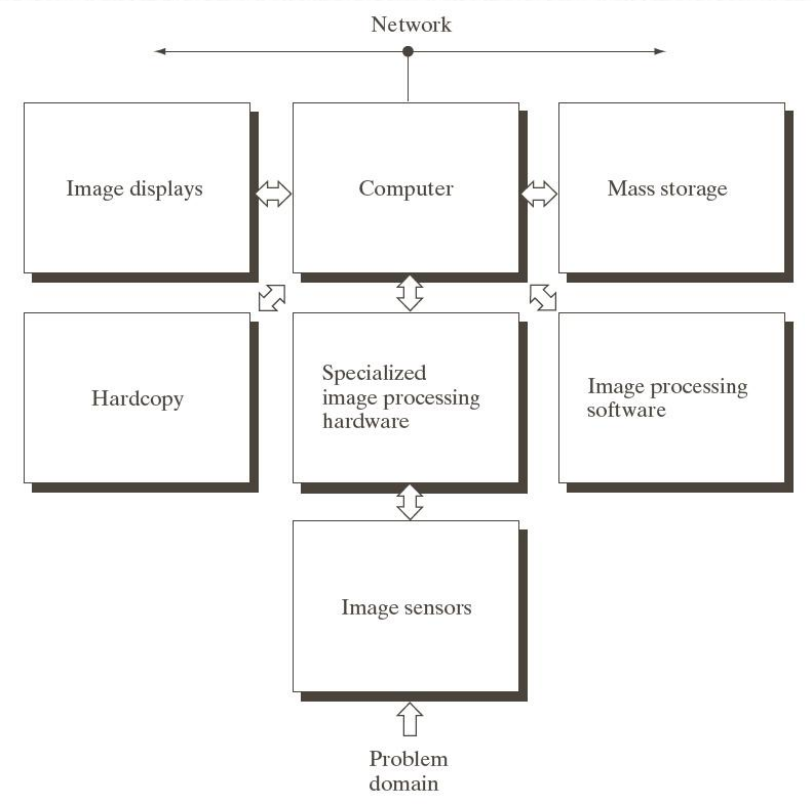
Dönem: *2020 – 2021 (Bahar)*

Öğretim üyesi: *Doç. Dr. Yakup KUTLU*

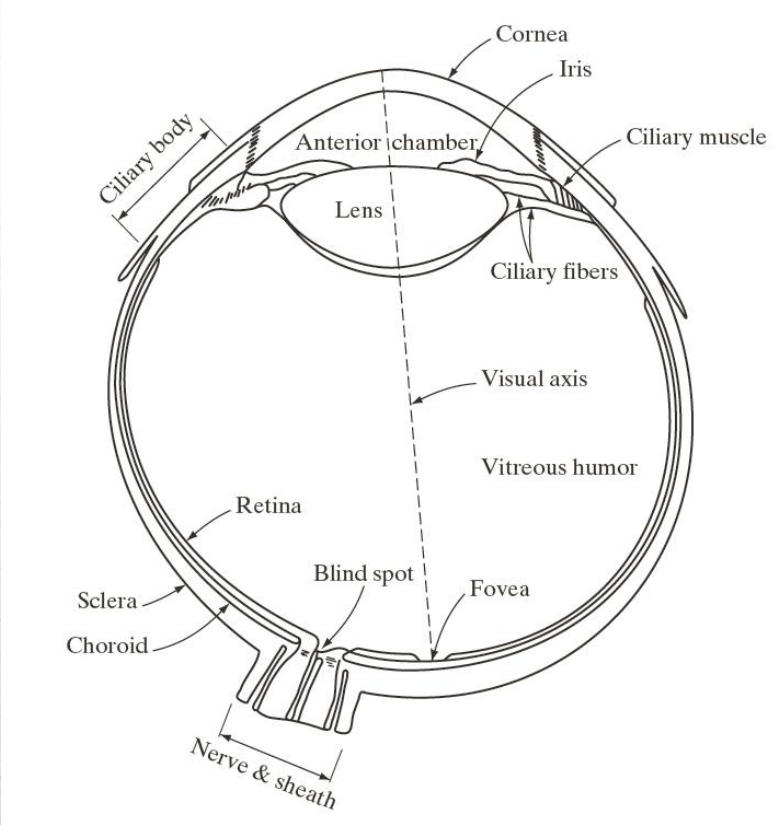
- Görüntü işlemede, bilgisayar ortamında yapılan işlemler genel olarak 3'e ayrılmaktadır:
  - **Alt Düzey İşlemler** (Gürültü Giderme, Kontrast İyileştirme, Keskinleştirme vb.)
  - **Orta Düzey İşlemler** (Bölütleme, Bölütleme sonucu oluşan objelerin tanımlanması, sınıflandırılması vb.)
  - **İleri Düzey İşlemler** (Algılanan objelerin anlamlandırılması).



Sayısal Görüntü İşlemenin Adımları



Sayılsal Görüntü İşlemenin Bileşenleri



Görme Duyusu

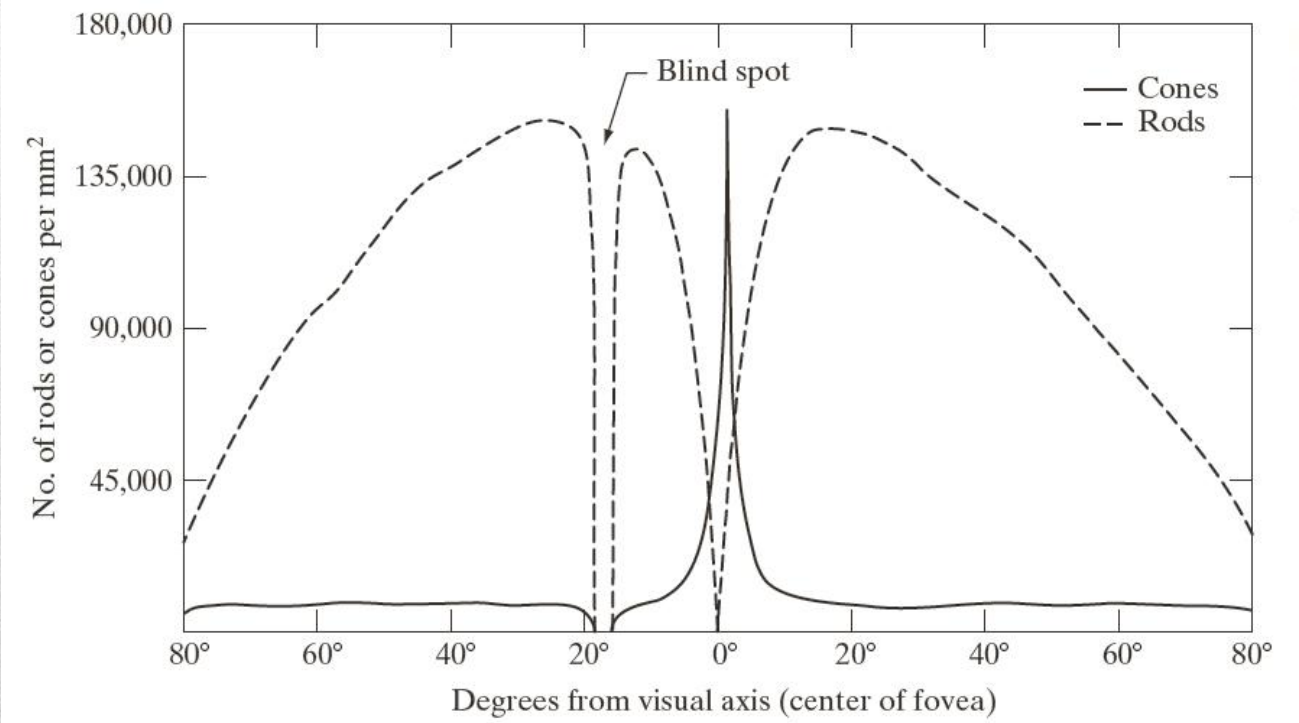


FIGURE 2.2 Distribution of rods and cones in the retina.

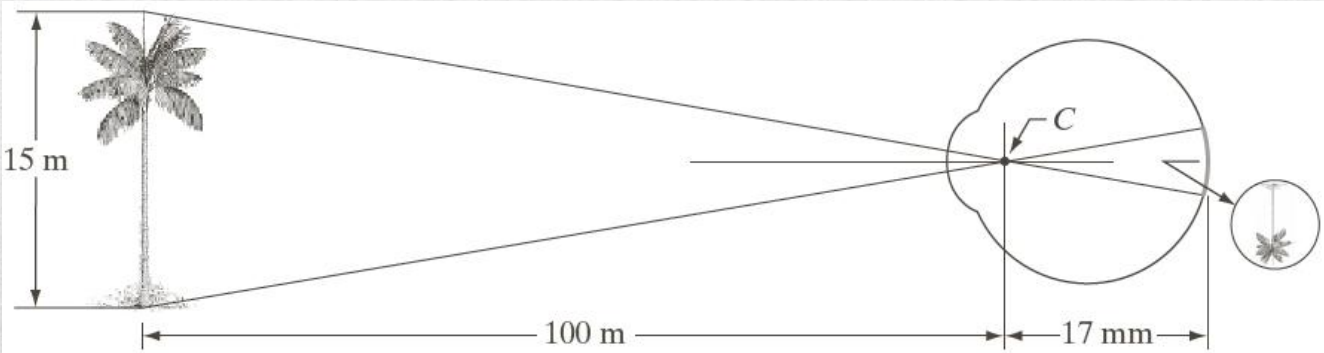
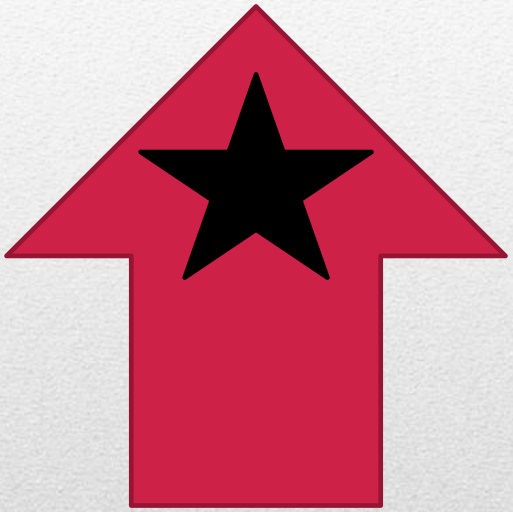
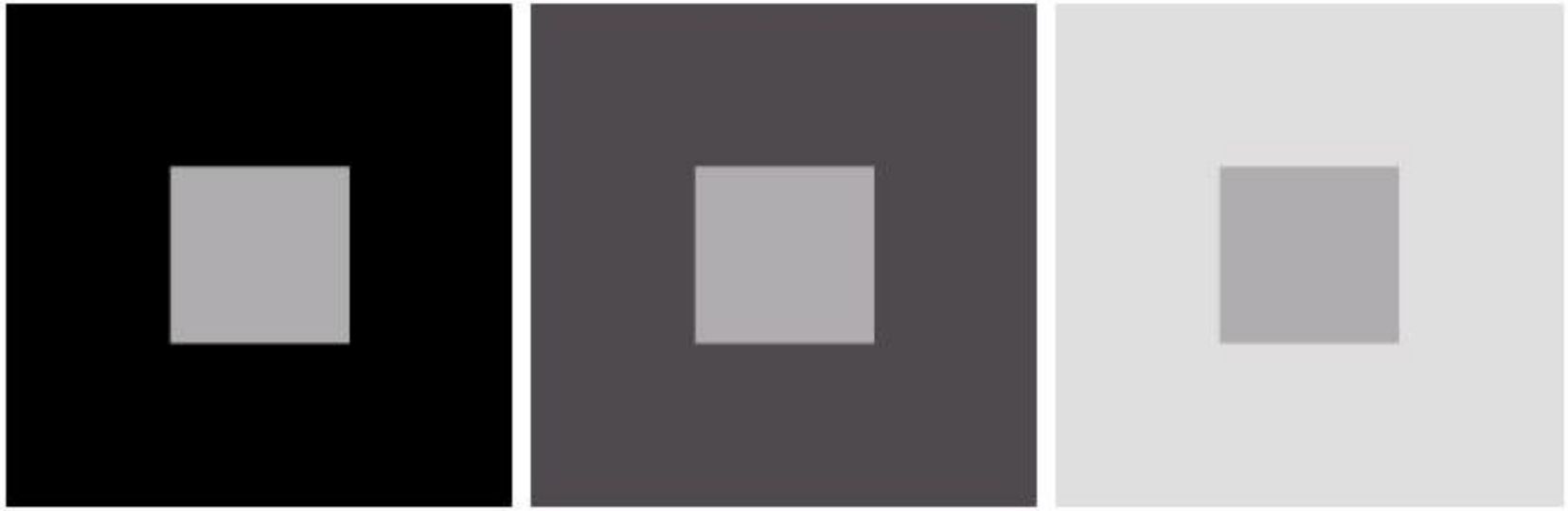


FIGURE 2.3 Graphical representation of the eye looking at a palm tree. Point *C* is the optical center of the lens.



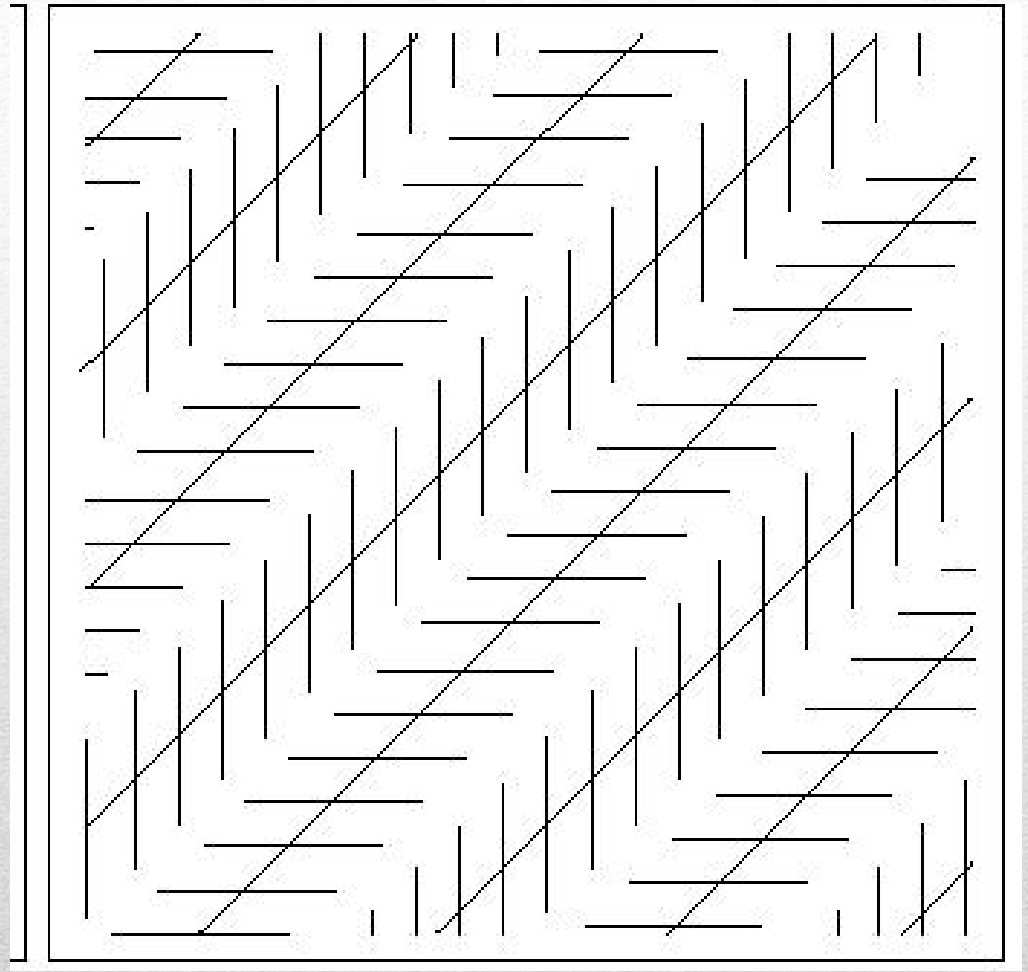
Göz Görme

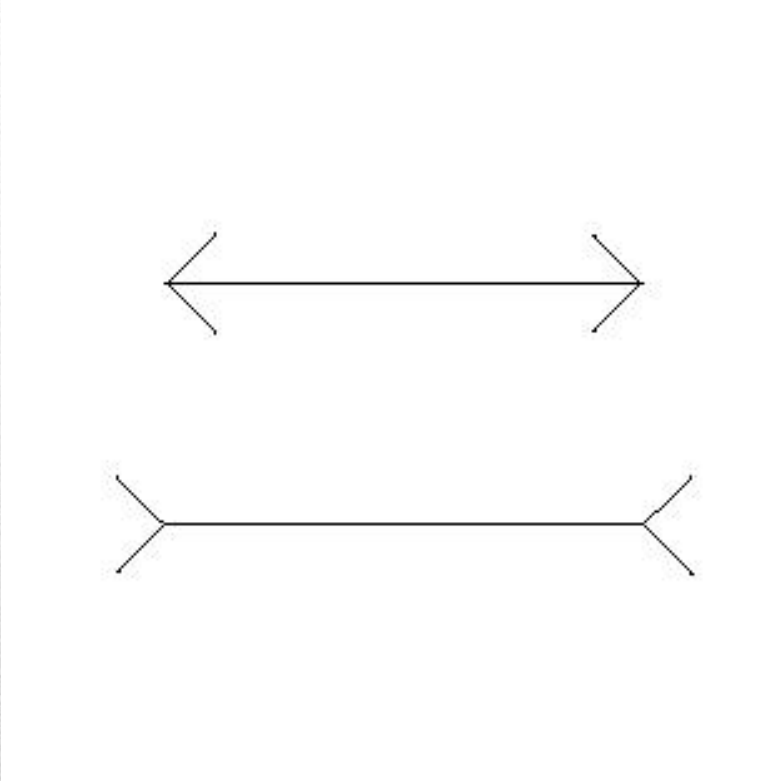


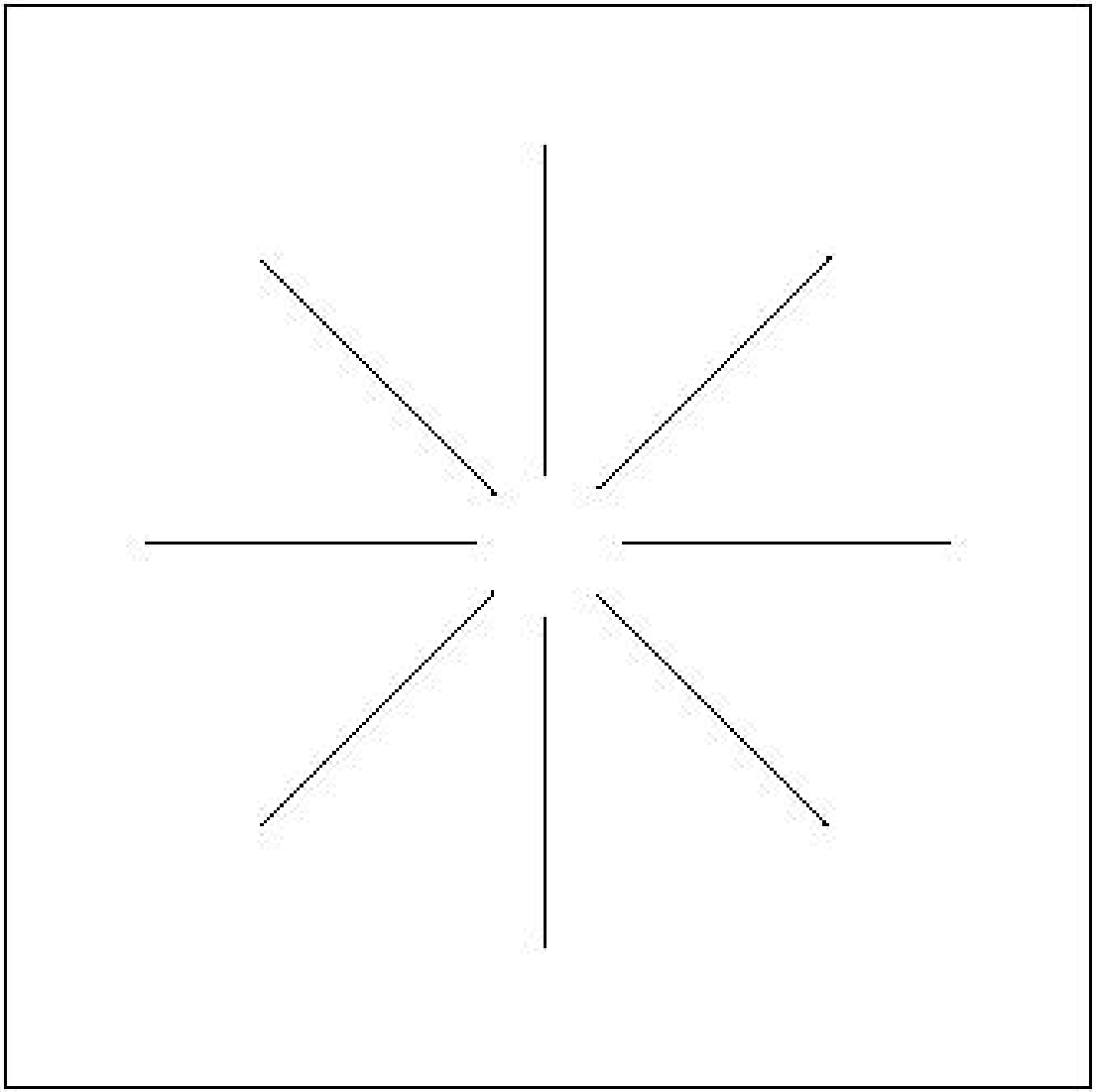
a b c

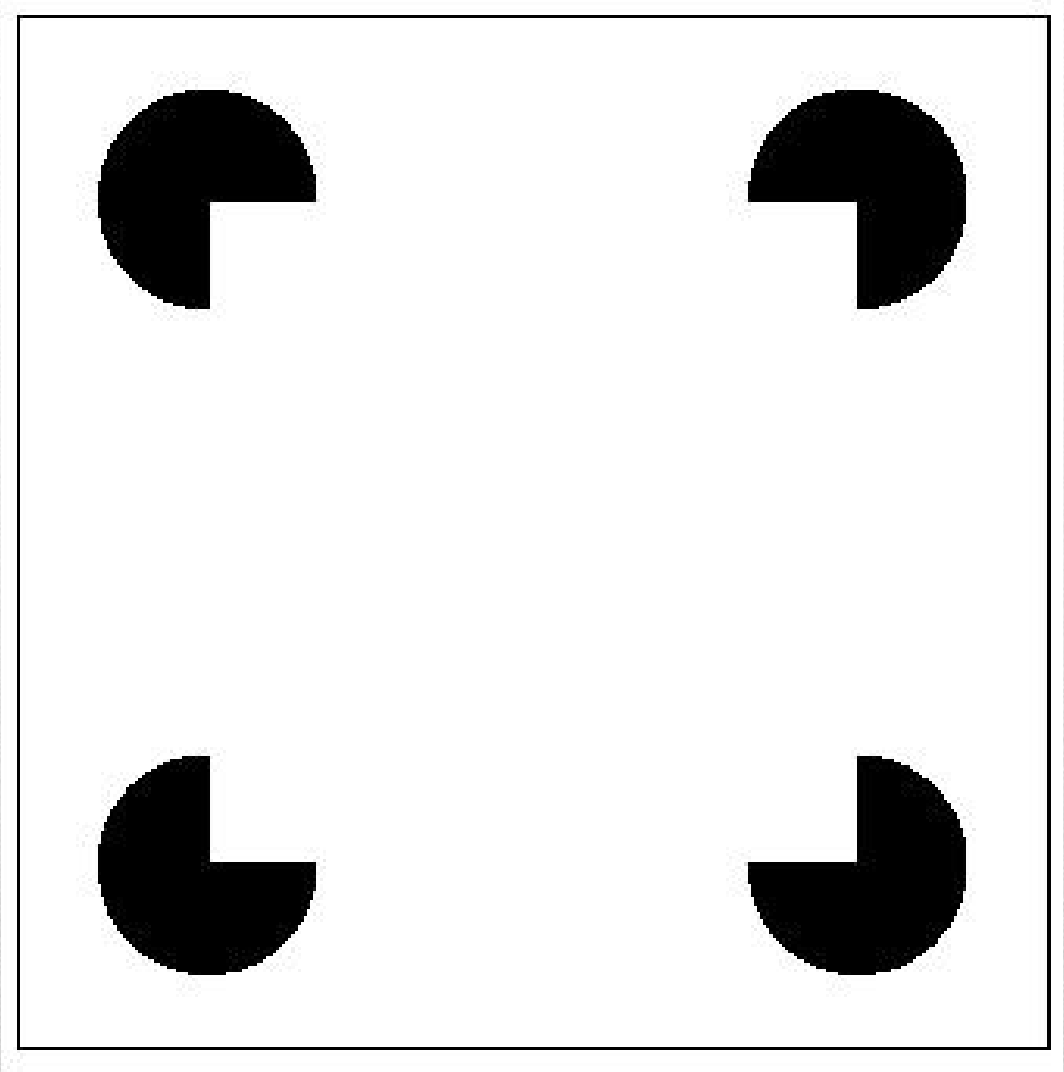
FIGURE 2.8 Examples of simultaneous contrast. All the inner squares have the same intensity, but they appear progressively darker as the background becomes lighter.

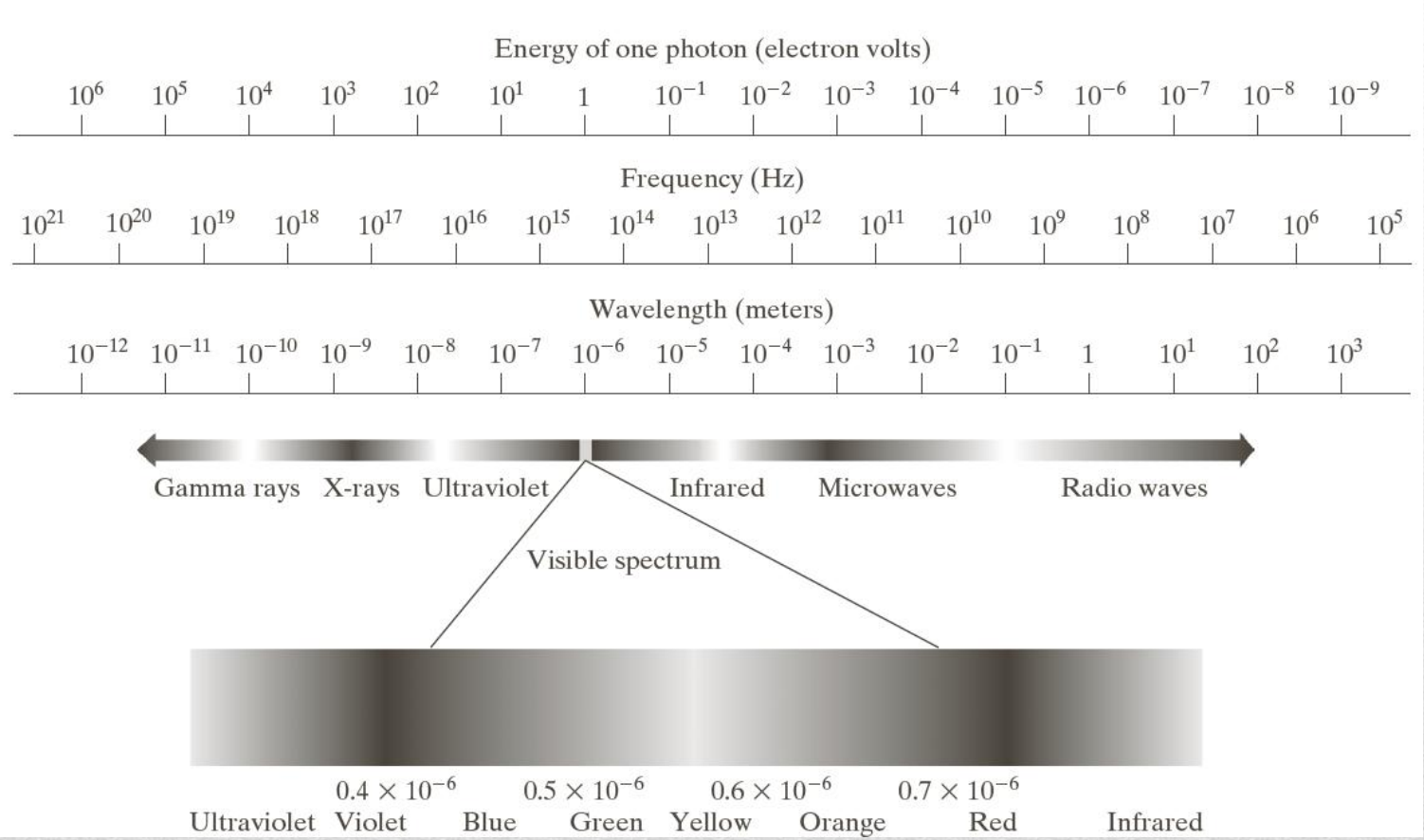
Göz Yanılgıları





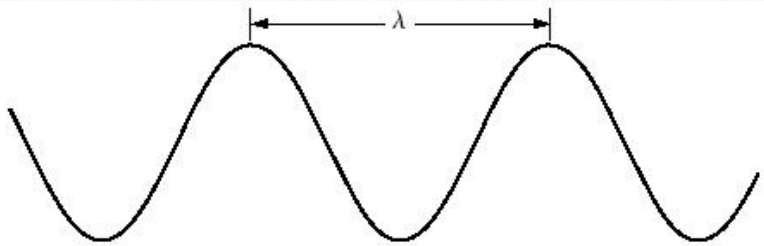






Elektromanyetik Spektrum

FIGURE 2.11
Graphical representation of one wavelength.



$$\lambda = c/v$$

λ =Dalga Boyu
c= Işık Hızı (2998.10^8 m/sn)
V=frekans (1/sn)(Hz)

$$E = hv$$

h = Plank Sabiti
E= Enerji
V=frekans

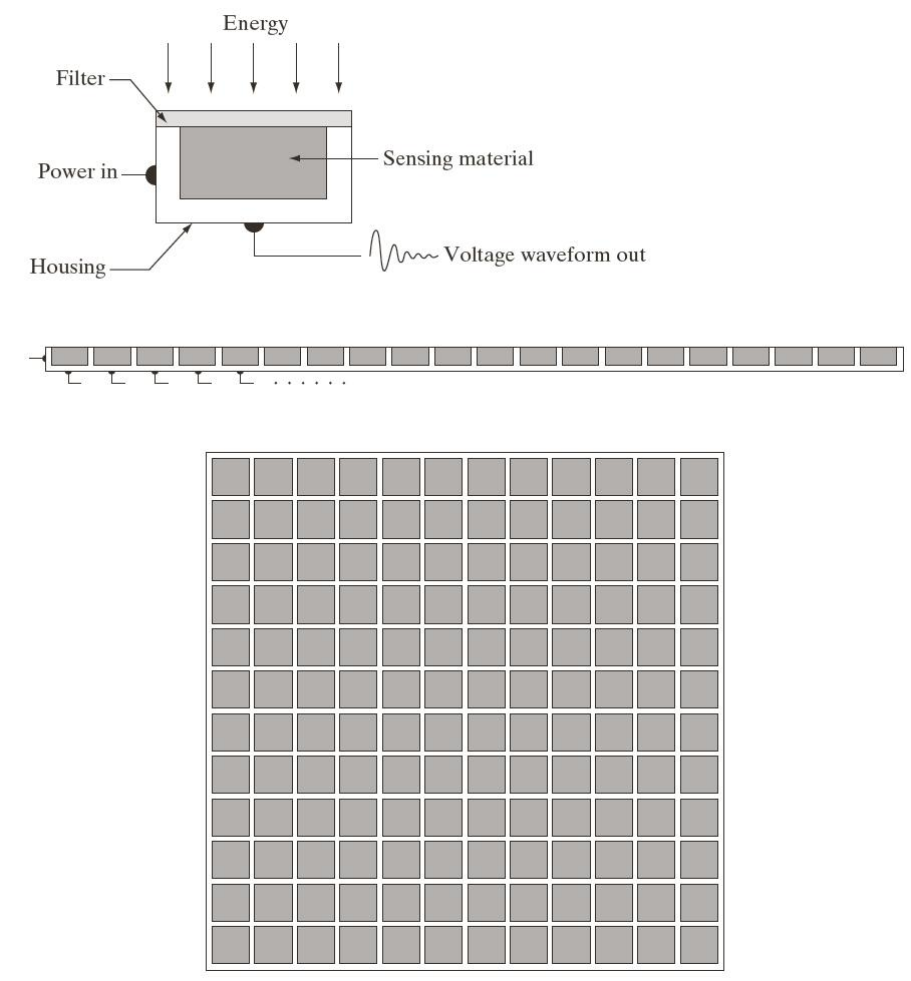
- Renk bilgisine sahip olmayan ışık “Monochromatic” ışık olarak isimlendirilir.
- Bu tür ışığın tek niteliği yoğunluk (intensity) veya miktarıdır (amount).
- Monochromatic ışığın yoğunluğu siyahtan beyaza doğru farklı grilik seviyelerinde olduğundan Gri-seviyeli terimi (Gray-Scale) kullanılır.

- Chromatic ışıklar ise monochromatic ışığın tersine renk bilgisini de barındırırlar. 3 temel ölçüt bu tarz ışık kaynağını tanımlamak için kullanılır.

- **Radiance :** Işık kaynağından yayılan enerjinin toplam miktarıdır. Genellikle watt (W) ile gösterilir.

- **Lumminance:** Lümen birimi ile ifade edilir. Gözlemcinin, ışık kaynağından gelen enerjinin algıladığı miktarı belirtir.

- **Brightness:** Bu değer ise gözlemciden gözlemciye değişebilen ve ölçümlenmesi zor olan bir özelliktir.



a
b
c

FIGURE 2.12
(a) Single imaging sensor.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.

Sensörler

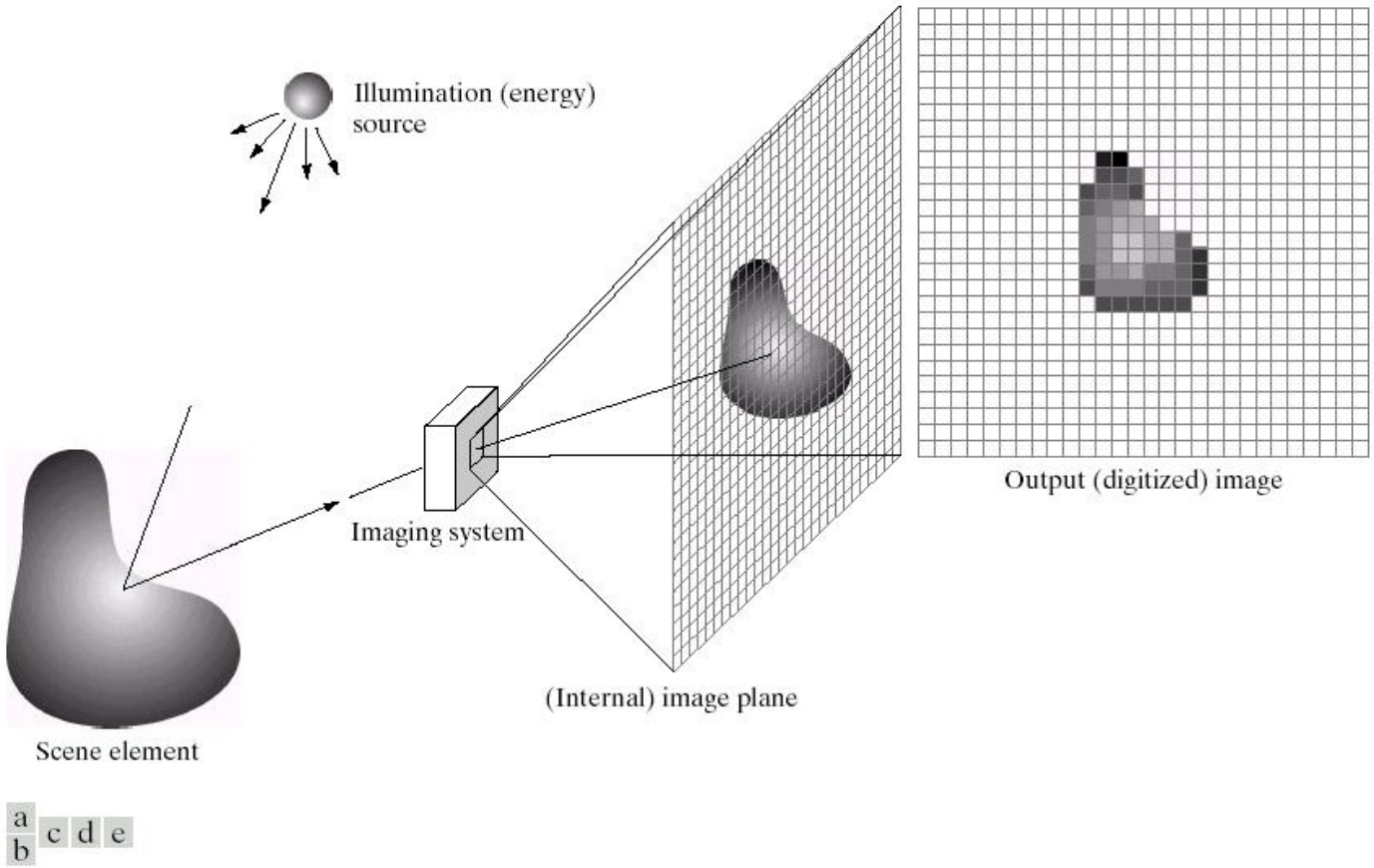
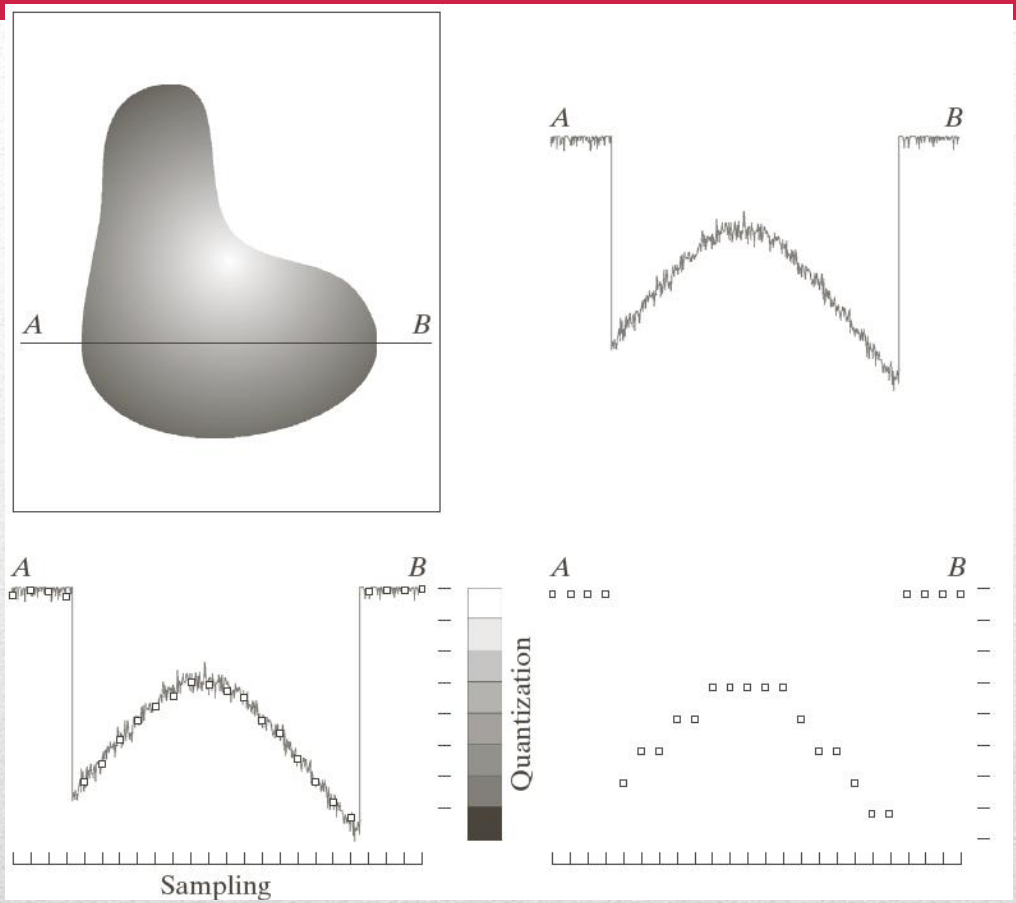
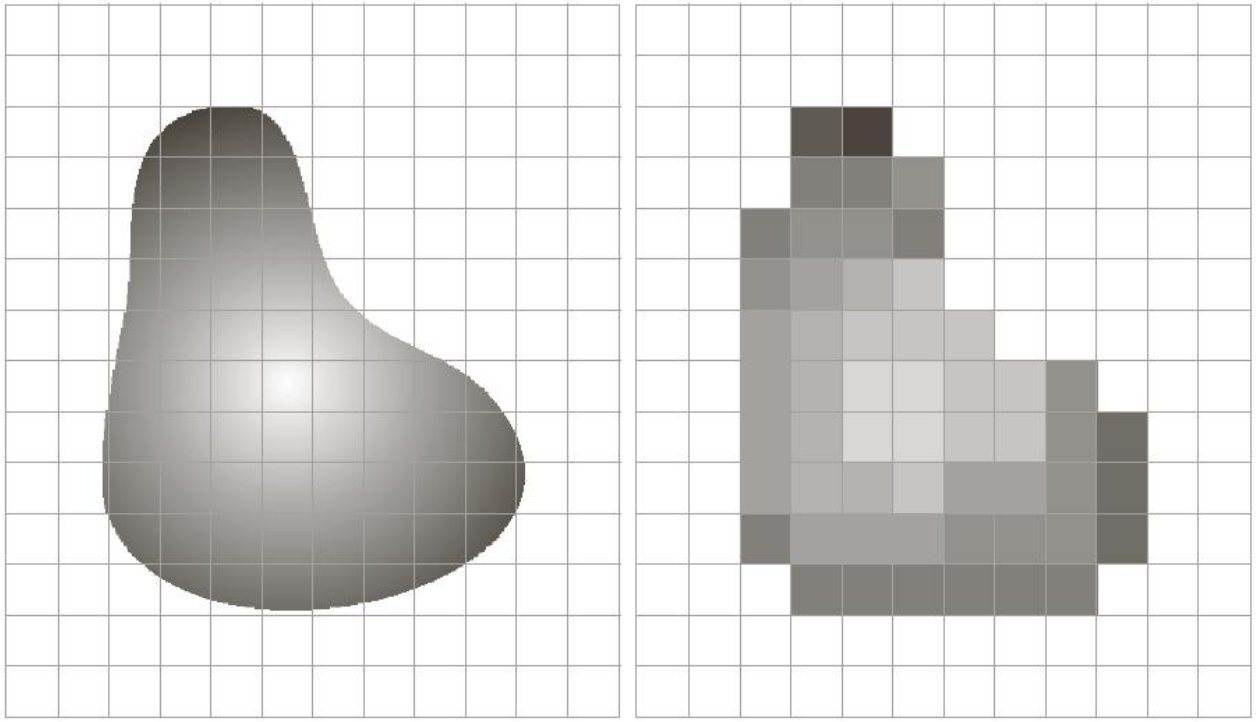


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy ("illumination") source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Görme Süreci

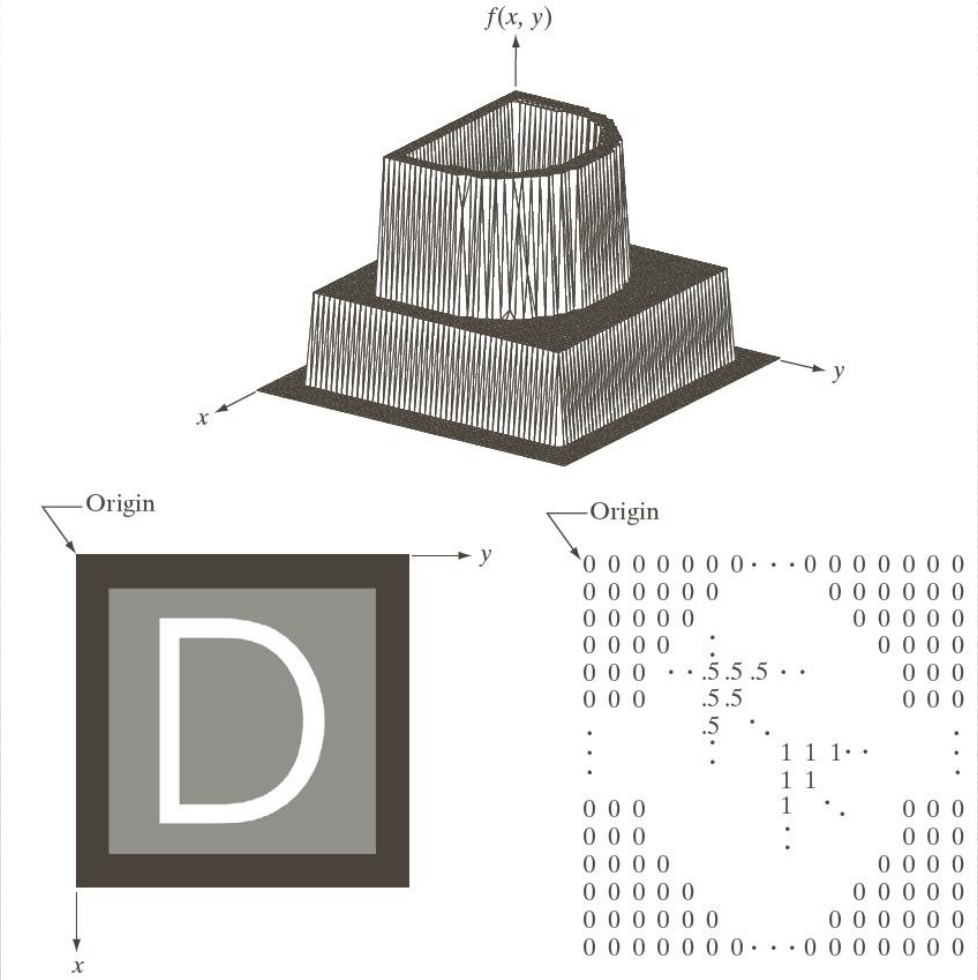


Sampling & Quantization



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.


f(x, y)
x
y
Origin
y
x
Origin

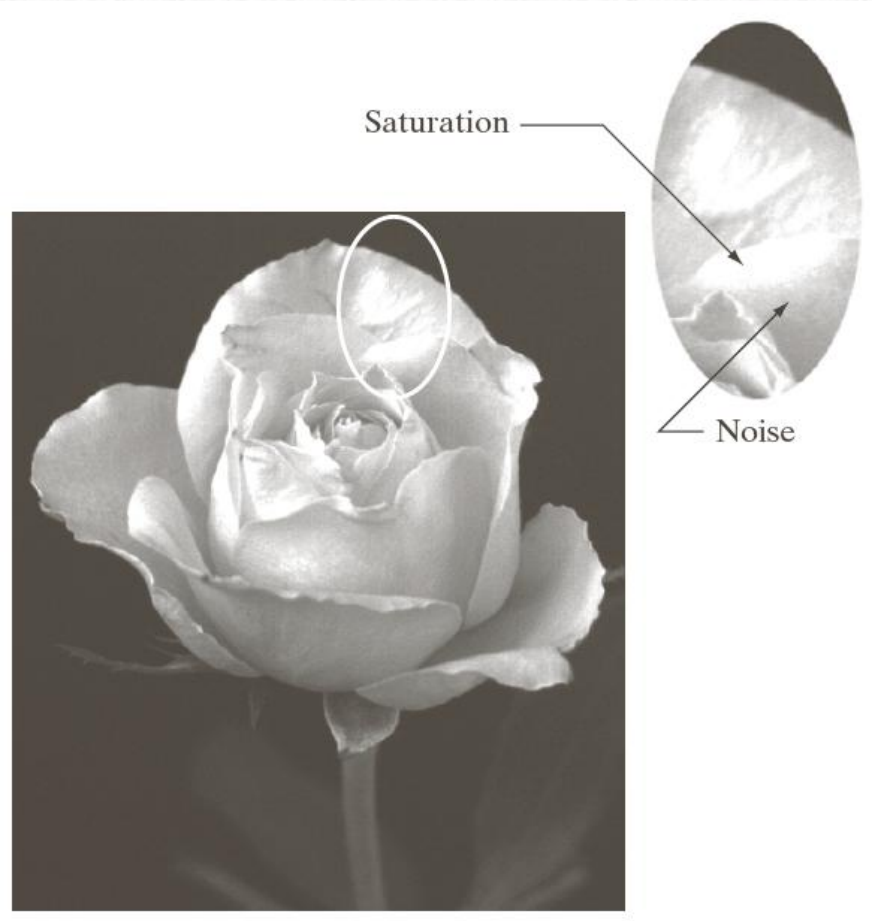


FIGURE 2.19 An image exhibiting saturation and noise. Saturation is the highest value beyond which all intensity levels are clipped (note how the entire saturated area has a high, *constant* intensity level). Noise in this case appears as a grainy texture pattern. Noise, especially in the darker regions of an image (e.g., the stem of the rose) masks the lowest detectable true intensity level.

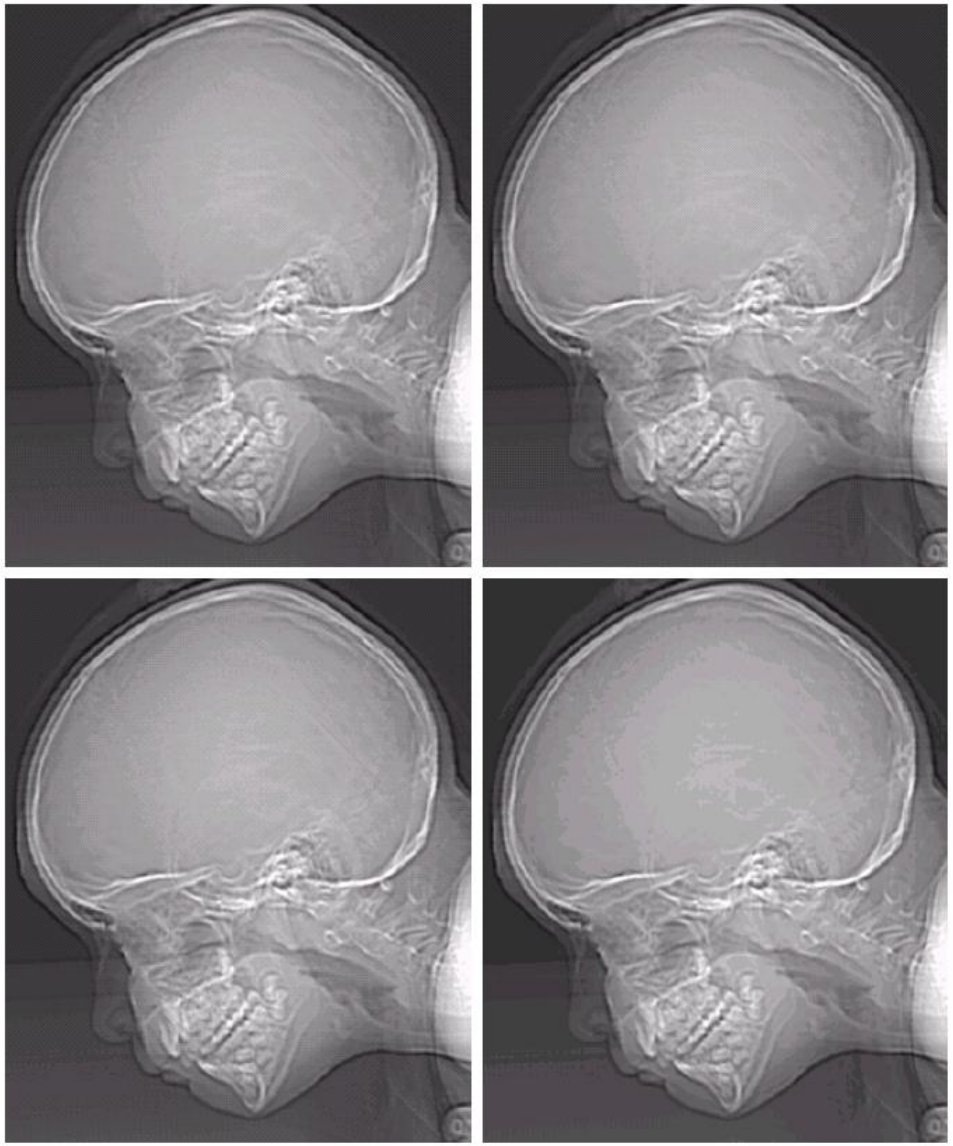
- Spatial (yersel) çözünürlük, görüntüdeki ayırt edilebilen detayın bir ölçüsüdür. Farklı şekillerde ölçümlenebilir.

- Görüntünün boyutu (size), görüntünün tümü hakkında çok şey ifade etmeyebilir. Örn: 1024x1024 çözünürlüklü bir görüntünün eğer yersel çözünürlüğü bilinmiyorsa çok fazla bir şey ifade etmeyebilir.

- Benzer şekilde, intensity (yoğuluk) çözünürlüğü ise yoğunluk seviyesindeki en ufak ayırt edilebilir farka işaret eder.

Spatial and Intensity Resolution

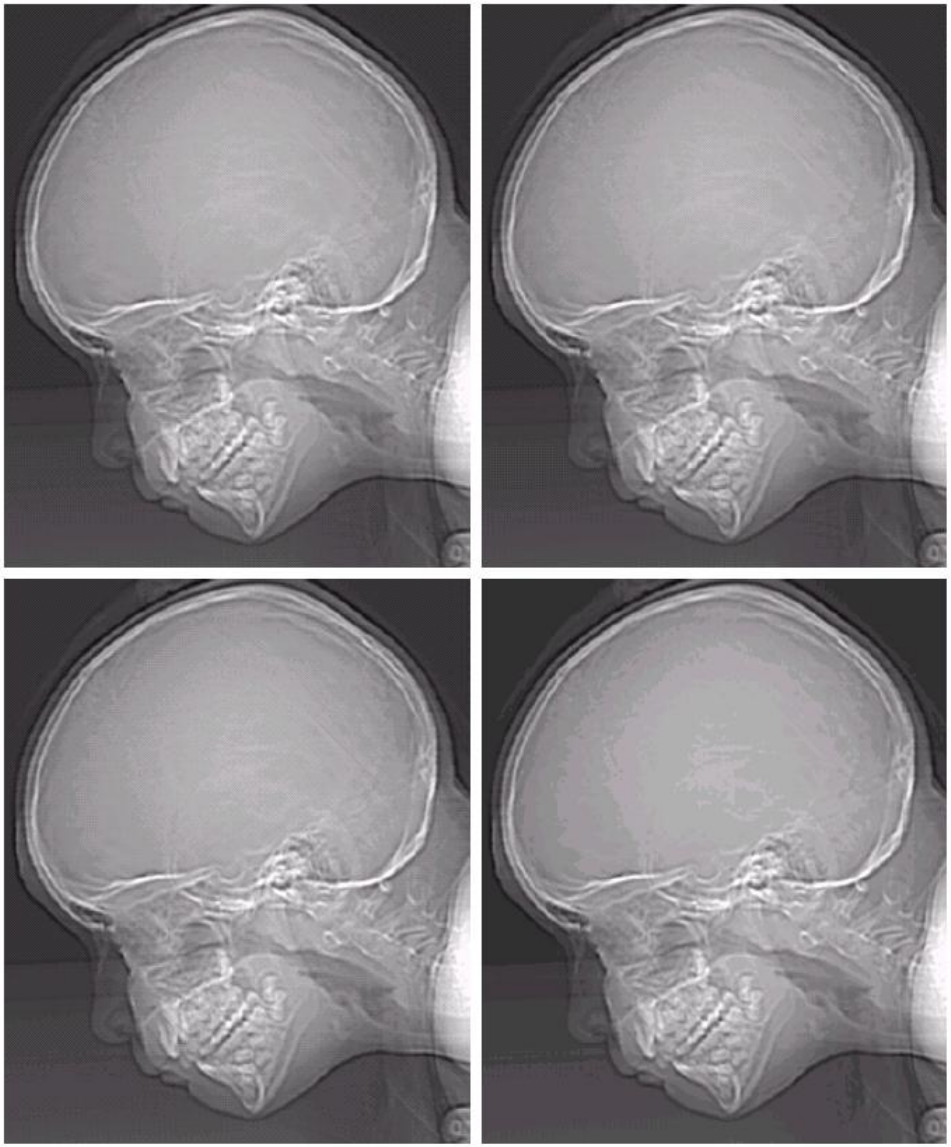
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.



a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Fark nedir ?



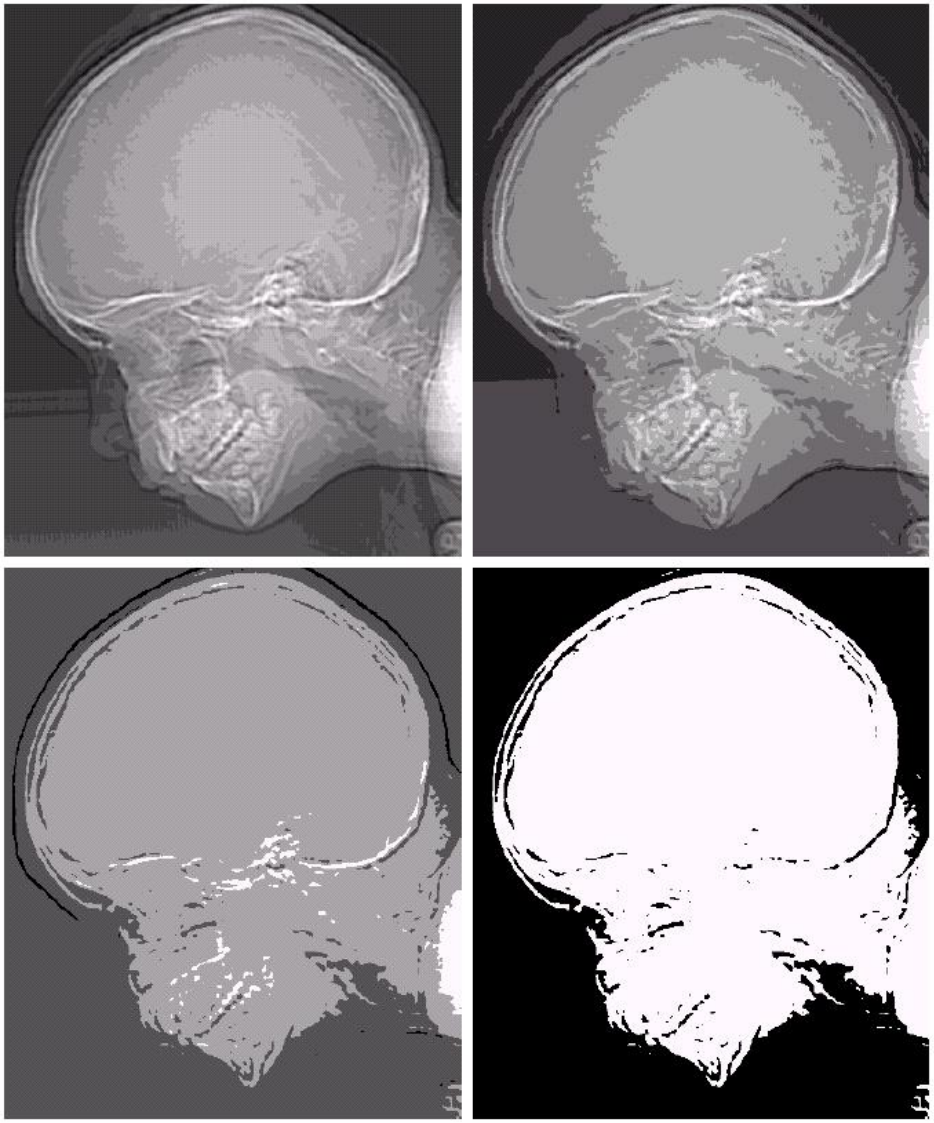
a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Temel olarak çözünürlük yeterince yüksek ise fark oluşmaz

e f
g h

FIGURE 2.21 *(Continued)* (e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



- Enterpolasyon, yakınlaştırma (zooming), döndürme (rotation) ve geometrik düzeltme (geometric correction) gibi işlemlerde yaygın bir şekilde kullanılan bir araçtır.

- Temel olarak enterpolasyon, bilinen bilgileri kullanarak bilinmeyen bölgelerdeki değerlerin hesaplanması işlemidir.

Görüntü Enterpolasyonu (Image Interpolation)

- 500x500 boyutlarındaki bir görüntünün 750x750 boyutlarına getirilmek istenmektedir (yaklaşık 1.5 kat büyütülmek istenmektedir.).

- Bu işlemin en kolay yolu 750x750 ebatlarında ve piksel genişliği aynı değere sahip olan bir görüntü oluşturmak ve ardından ise orijinal görüntünün üzerine uyacak şekilde ufaltmaktır.

Bu işlemi yaparken ne tip bir sorunla karşılaşılabilir?

Örnek

- Burada, açıkça görülmektedir ki ufaltılan (daraltılan) 750x 750'lik görüntüdeki piksel genişliği orijinal görüntüden daha az olacaktır.
- Bu yeni piksellere parlaklık seviyeleri atanırken literatürdeki farklı yöntemlerden faydalanılır.

- Oluşturulan yeni görüntüdeki her pikselin parlaklık değeri hesaplanırken orijinal görüntüdeki en yakın pikseller dikkate alınarak işlem gerçekleştirilir. Piksellerin yeni parlaklık değerleri atandıktan sonra görüntüyü istenilen büyüklükte genişletiriz ve böylelikle yakınlaştırılmış (zoom edilmiş) görüntümüz ortaya çıkar. Bu yöntem en yakın komşu (nearest neighbor) olarak bilinmektedir.

- En yakın komşu yöntemi, oldukça basit olmasına rağmen, oluşan yeni görüntüde bazı gürültüler ve istenmeyen etkilere neden olduğundan birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirir. Bu yüzden sıklıkla tercih edilmez.

- Yeni piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise bilinear interpolation yöntemidir. Bu yöntemde oluşturulan pikselin parlaklık değeri çevresindeki en yakın 4 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d$$

V (x,y) x,y koordinatlarındaki pikselin parlaklık değeri

Bu denklemdeki 4 adet bilinmeyen sabit (a,b,c,d), (x,y) noktasının en yakın 4 komşusundan elde edilecek 4 farklı eşitlik sonucunda hesaplanır.

Bilinear enterpolasyon daha fazla hesaplama gereksinmesine rağmen bu yöntem ile elde edilen sonuçlar en yakın komşu yöntemine göre daha başarılıdır.

- Üçüncü bir yöntem ise bicubic enterpolasyondur. Bu yöntemde ise yeni pikselin parlaklık değeri orijinal görüntüdeki konumuna en yakın 16 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} x^i y^j$$

a b c
d e f

FIGURE 2.24 (a) Image reduced to 72 dpi and zoomed back to its original size (3692 × 2812 pixels) using nearest neighbor interpolation. This figure is the same as Fig. 2.20(d). (b) Image shrunk and zoomed using bilinear interpolation. (c) Same as (b) but using bicubic interpolation. (d)–(f) Same sequence, but shrinking down to 150 dpi instead of 72 dpi [Fig. 2.24(d) is the same as Fig. 2.20(c)]. Compare Figs. 2.24(e) and (f), especially the latter, with the original image in Fig. 2.20(a).

- (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin 4 yatay ve 4 dikey komşusunun koordinatları aşağıdaki gibidir:

$$(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)$$

(x,y) bu piksel seti p noktasının 4 komşusu olarak ifade edilir ve $N_4(p)$ olarak gösterilir.

Pikseller Üzerinde Temel İşlemler (Bir Pikselin Komşuları)

- Yine, (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin çapraz komşularının koordinatları:

$$(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$$

olup $N_D(p)$ olarak ifade edilir. Bu çapraz komşular dörtlü komşular ile birlikte 8'li komşuları oluştururlar ve $N_8(p)$ olarak ifade edilirler.

- Matris İşlemleri
- Linear ve Non-Linear İşlemler
- Aritmetik İşlemler
- Kümesel ve Mantıksal İşlemler
- Yersel İşlemler
- Vektör ve Matris Operasyonları
- Görüntü Dönüşümleri

Sayısal Görüntü İşlemede Kullanılan Matematiksel Araçlar

- Daha önce de belirtildiği gibi sayısal görüntünün ifade edilmesinde matris tabanlı gösterim kullanılmaktadır.

- İki görüntü üzerinde gerçekleştirilen matris tabanlı işlemler iki görüntünün pikselleri üzerinde teker teker gerçekleştirilir.

Matris İşlemleri

- Örneğin 2x2 boyutlu bir görüntü üzerinde gerçekleştirilen işlem sonucu oluşan dizi aşağıdaki gibi ifade edilir:

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

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

Linear ve Non-Linear İşlemle

- Girdi f(x,y) görüntüsünü alan ve çıktı görüntüsü olarak g(x,y) görüntüsünü üreten H genel operatörünü göz önüne alalım.

$$H\left[f(x, y)\right] = g(x, y)$$

Eğer H aşağıdaki şartı sağlıyorsa doğrusal (linear) bir operatördür.

$$\begin{aligned} H\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] &= a_i H\left[f_i(x, y)\right] + a_j H\left[f_j(x, y)\right] \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

- Örneğin, H'nin toplam operatörü olduğunu düşünelim. Bu operatörün lineer olup olmadığını test etmek için, sol taraftan işlem yapılmaya başlar ve bu sol tarafın sağ tarafa eşit olduğu ispatlanmaya çalışılır.

$$\sum\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] = \sum a_i f_i(x, y) + \sum a_j f_j(x, y)$$

$$= a_i \sum f_i(x, y) + a_j \sum f_j(x, y)$$

$$= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y)$$

- Diğer bir örnek ise Max için verilsin. Bu operatör ise verilen piksel grubunun içinde değer max olanını bulmaktadır. Elimizde ise aşağıdaki şekilde 2 tane görüntü olsun.

$$f_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad f_2 = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

Katsayılarımız olan a1 ve a2 ise sırasıyla 1 ve -1 olsun.

- Doğrusallığı test etmek için yine sol taraftan işleme başlarız.

$$\max\left\{(1)\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix} + (-1)\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = \max\left\{\begin{bmatrix}-6 & -3\\ -2 & -4\end{bmatrix}\right\}$$

$$\boxed{= -2}$$

Test işlemini sağdan yapmaya başladığımızda ise:

$$(1)\max\left\{\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix}\right\} + (-1)\max\left\{\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = 3 + (-1)7$$

$$\boxed{= -4}$$

Max operatörü için doğrusal bir durumdan bahsetmek mümkün değildir.

- Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen temel aritmetiksel işlemler:

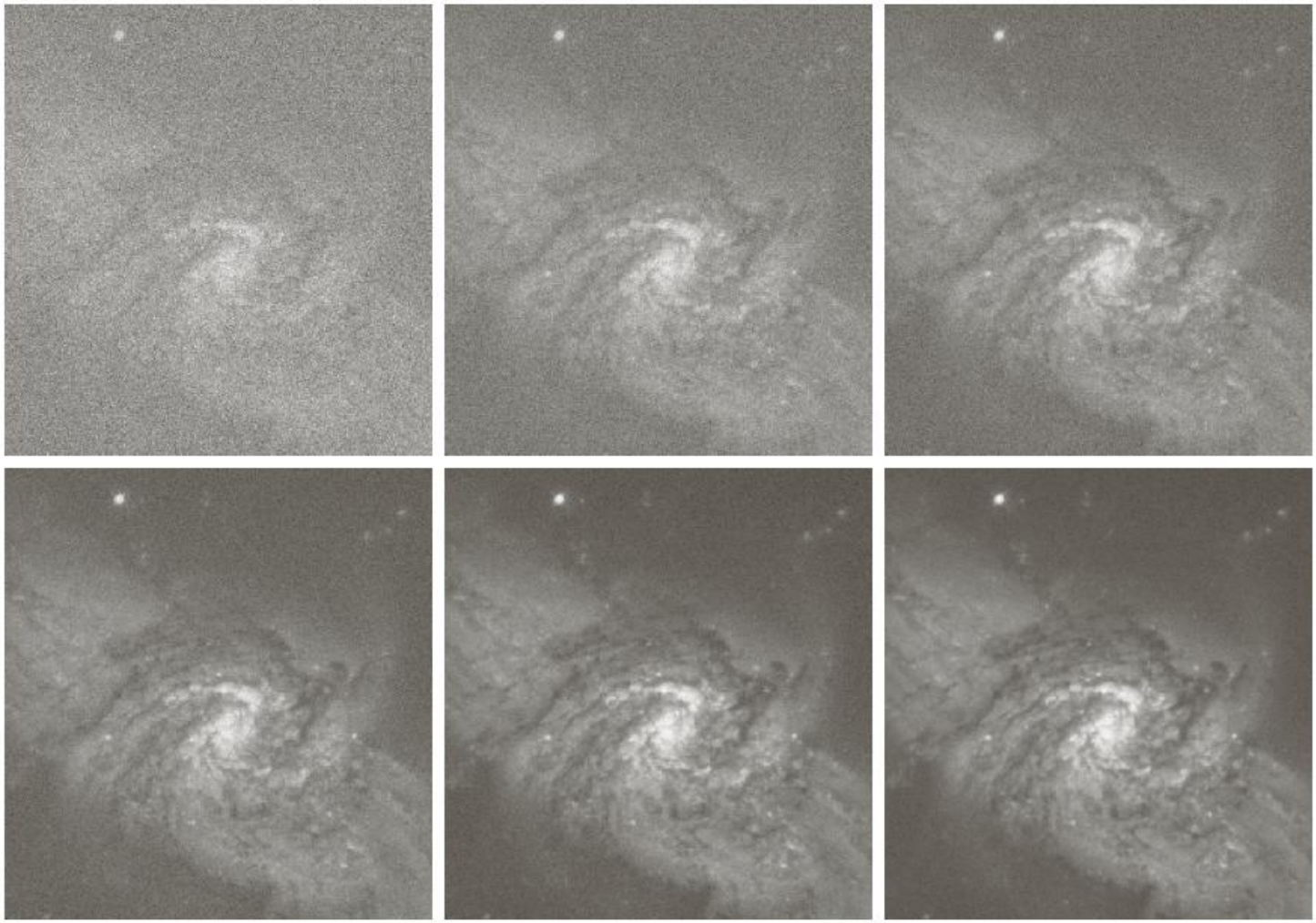
$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

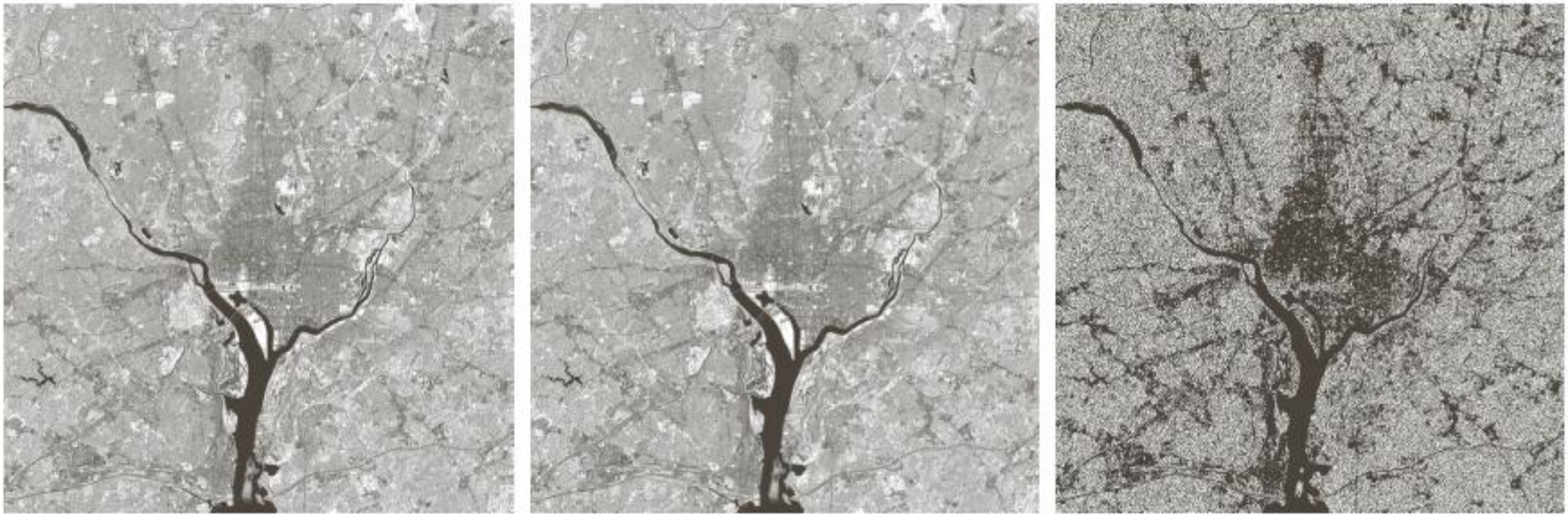
$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

Aritmetik İşlemler



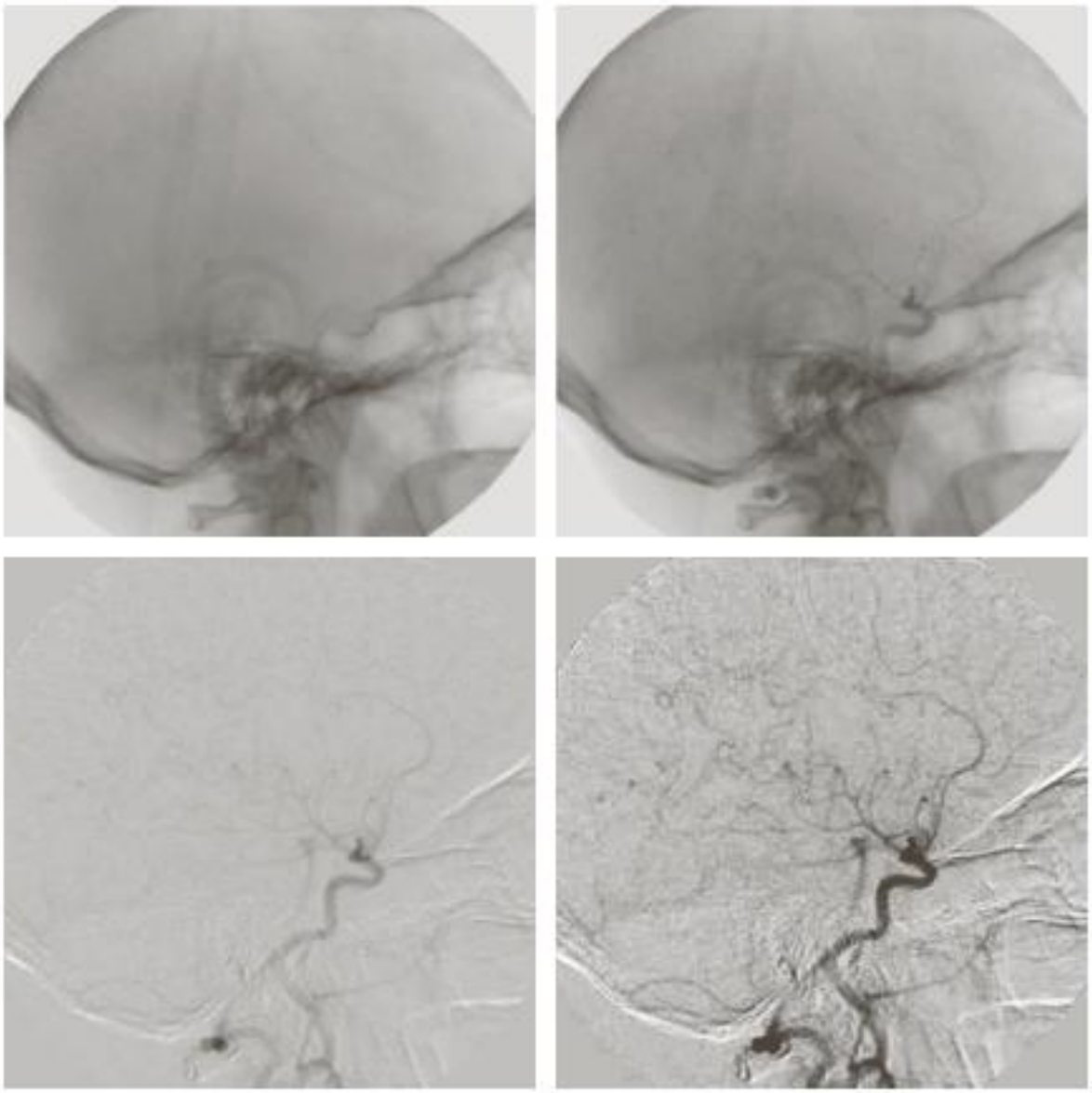
a b c
d e f

FIGURE 2.26 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)–(f) Results of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. (Original image courtesy of NASA.)



a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

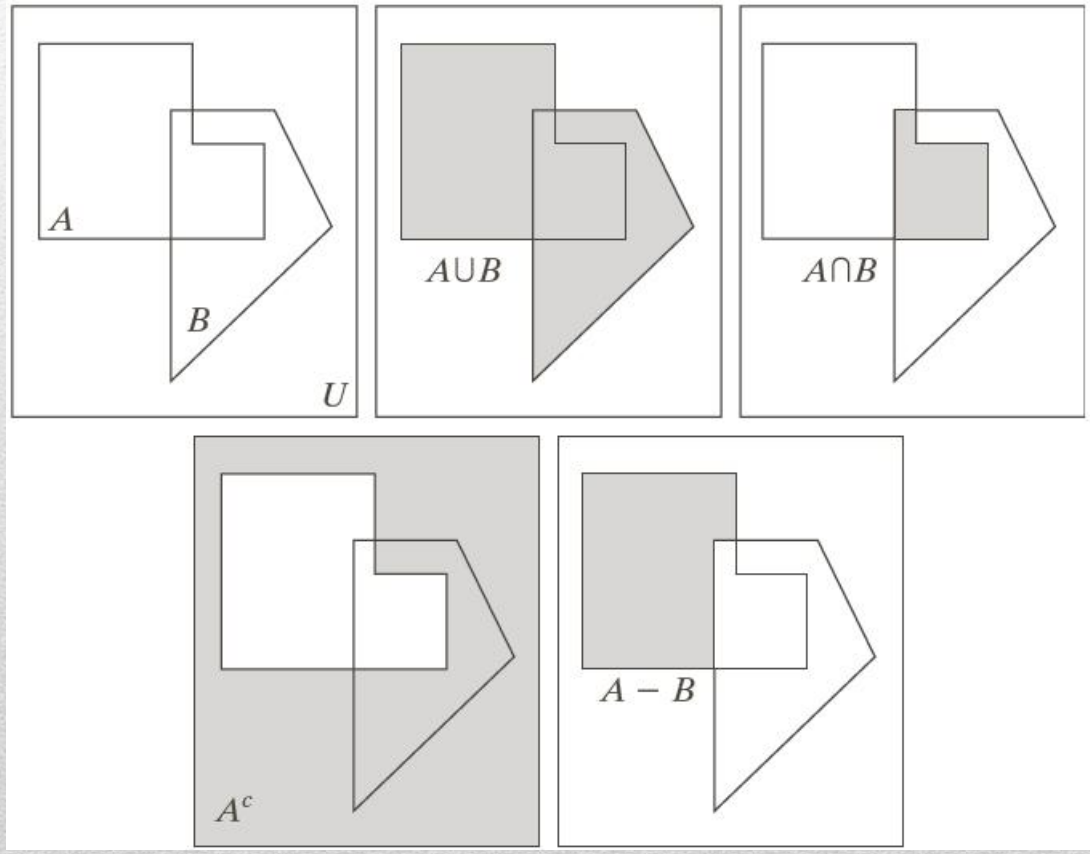


a b
c d

FIGURE 2.28 Digital subtraction angiography. (a) Mask image. (b) A live image. (c) Difference between (a) and (b). (d) Enhanced difference image. (Figures (a) and (b) courtesy of The Image Sciences Institute, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands.)

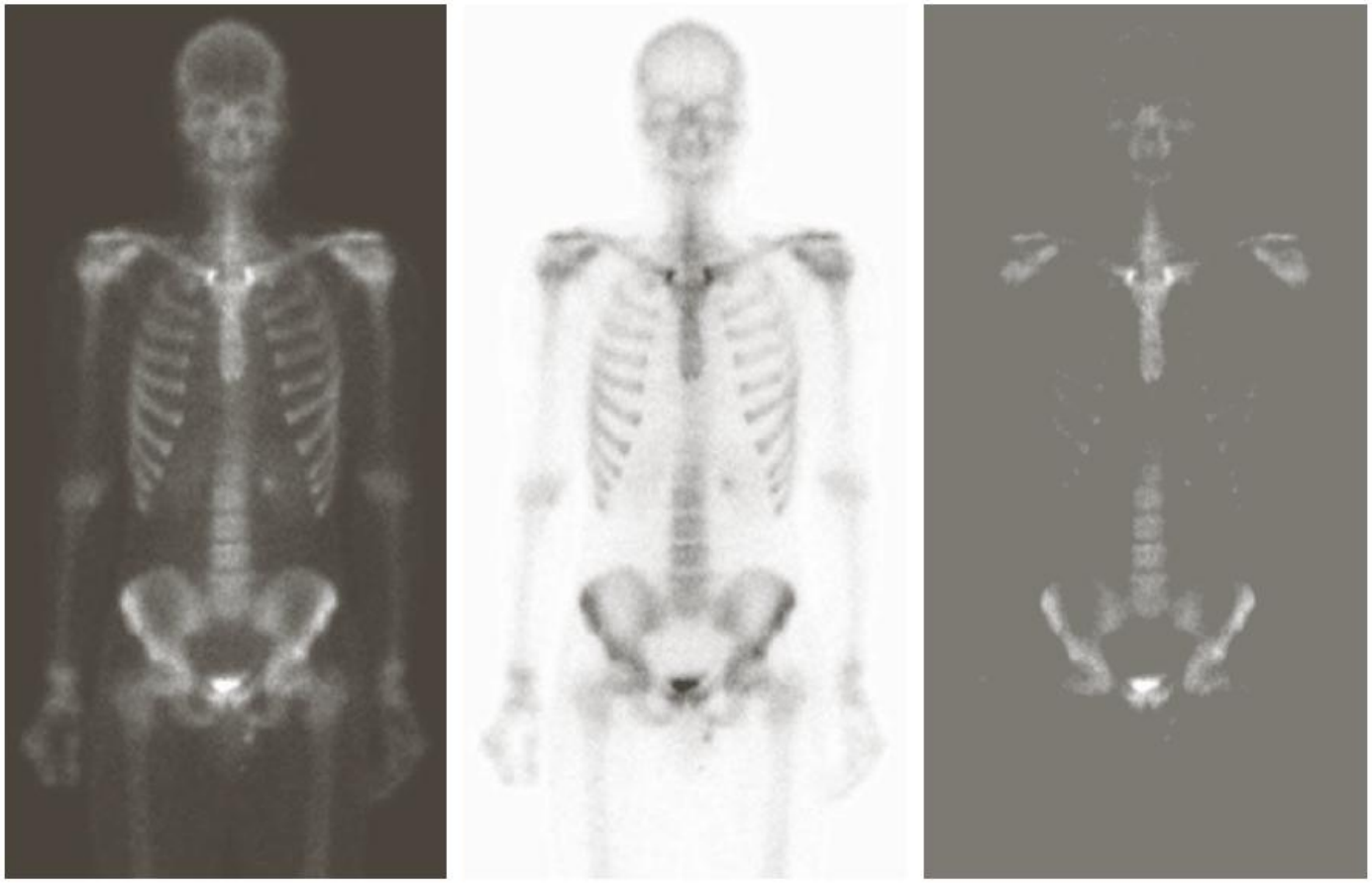
a b c

FIGURE 2.30 (a) Digital dental X-ray image. (b) ROI mask for isolating teeth with fillings (white corresponds to 1 and black corresponds to 0). (c) Product of (a) and (b).



a b c
d e

FIGURE 2.31 (a) Two sets of coordinates, A and B, in 2-D space. (b) The union of A and B. (c) The intersection of A and B. (d) The complement of A. (e) The difference between A and B. In (b)–(e) the shaded areas represent the member of the set operation indicated.



a b c

FIGURE 2.32 Set operations involving gray-scale images. (a) Original image. (b) Image negative obtained using set complementation. (c) The union of (a) and a constant image. (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)

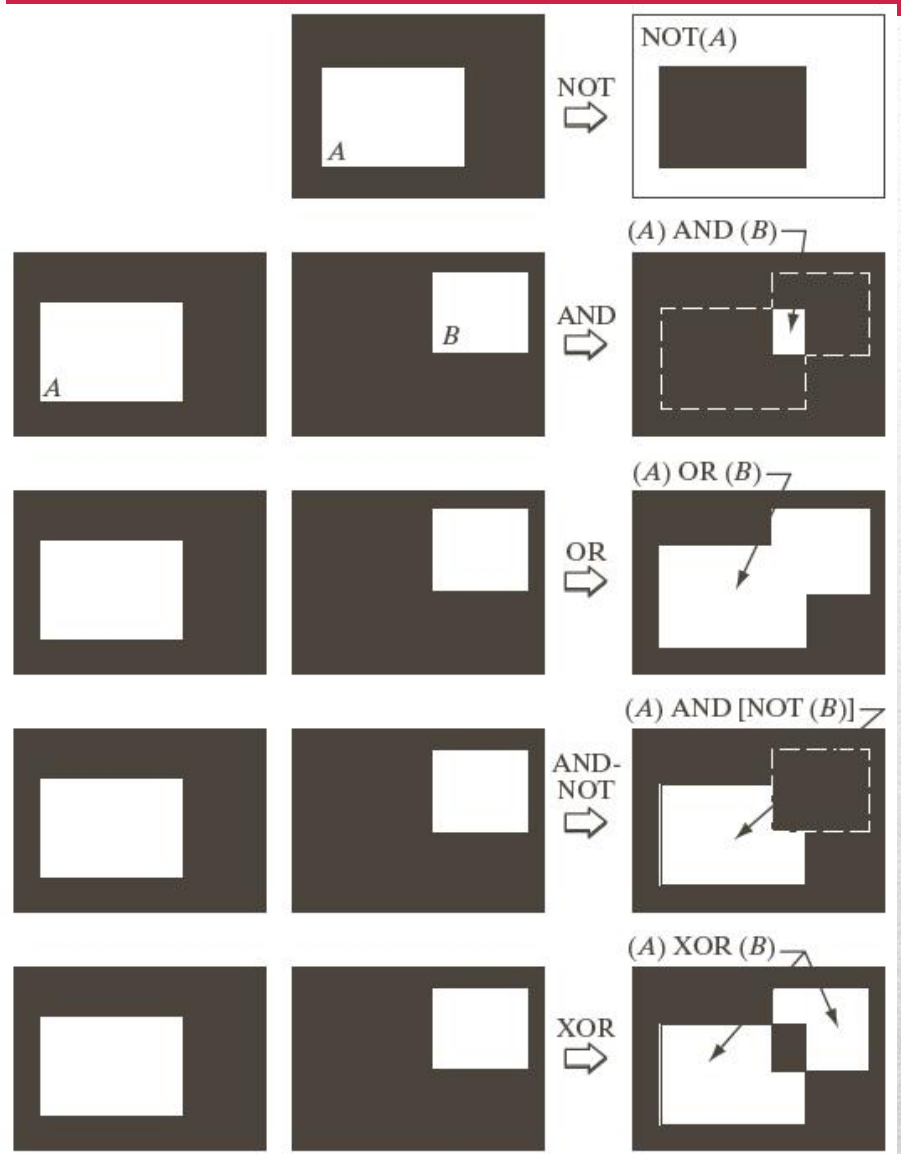


FIGURE 2.33 Illustration of logical operations involving foreground (white) pixels. Black represents binary 0s and white binary 1s. The dashed lines are shown for reference only. They are not part of the result.

Yersel işlemler, görüntü üzerindeki pikseller üzerinde gerçekleştirilirler. Yersel işlemleri 3 kategoride toplamak mümkündür:

- Tek piksel ile Yapılan İşlemler (Single Pixel Operations)
- Komşuluk İşlemleri (Neighborhood Operations)
- Geometrik Yersel Dönüşümler (Geometric Spatial Transformations)

Spatial (Yersel) İşlemler

Single Pixel Operations

- Sayısal bir görüntü üzerinde yapılacak en basit işlemlerden bir tanesi, piksellerin parlaklık değerlerinin değiştirilmesidir. Bu tür bir işlem bir dönüşüm fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$s = T(z)$$

z Orijinal görüntüdeki pikselin yoğunluğu

s İşlenerek elde edilen yeni görüntüdeki karşılık gelen pikselin yeni yoğunluk değeri

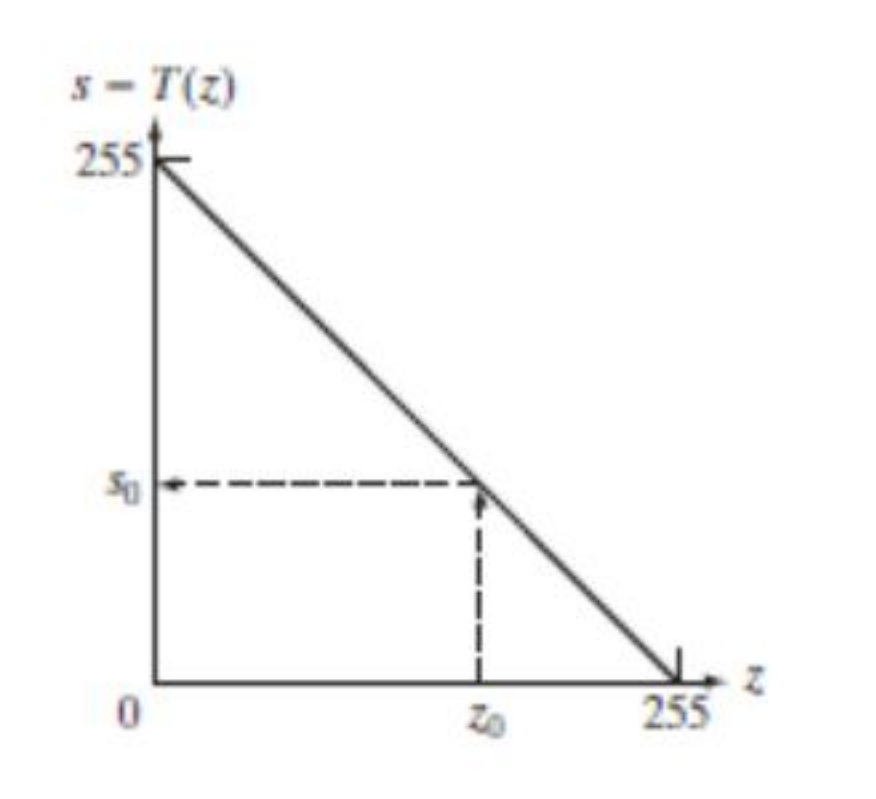


FIGURE 2.34 Intensity transformation function used to obtain the negative of an 8-bit image. The dashed arrows show transformation of an arbitrary input intensity value z_0 into its corresponding output value s_0.

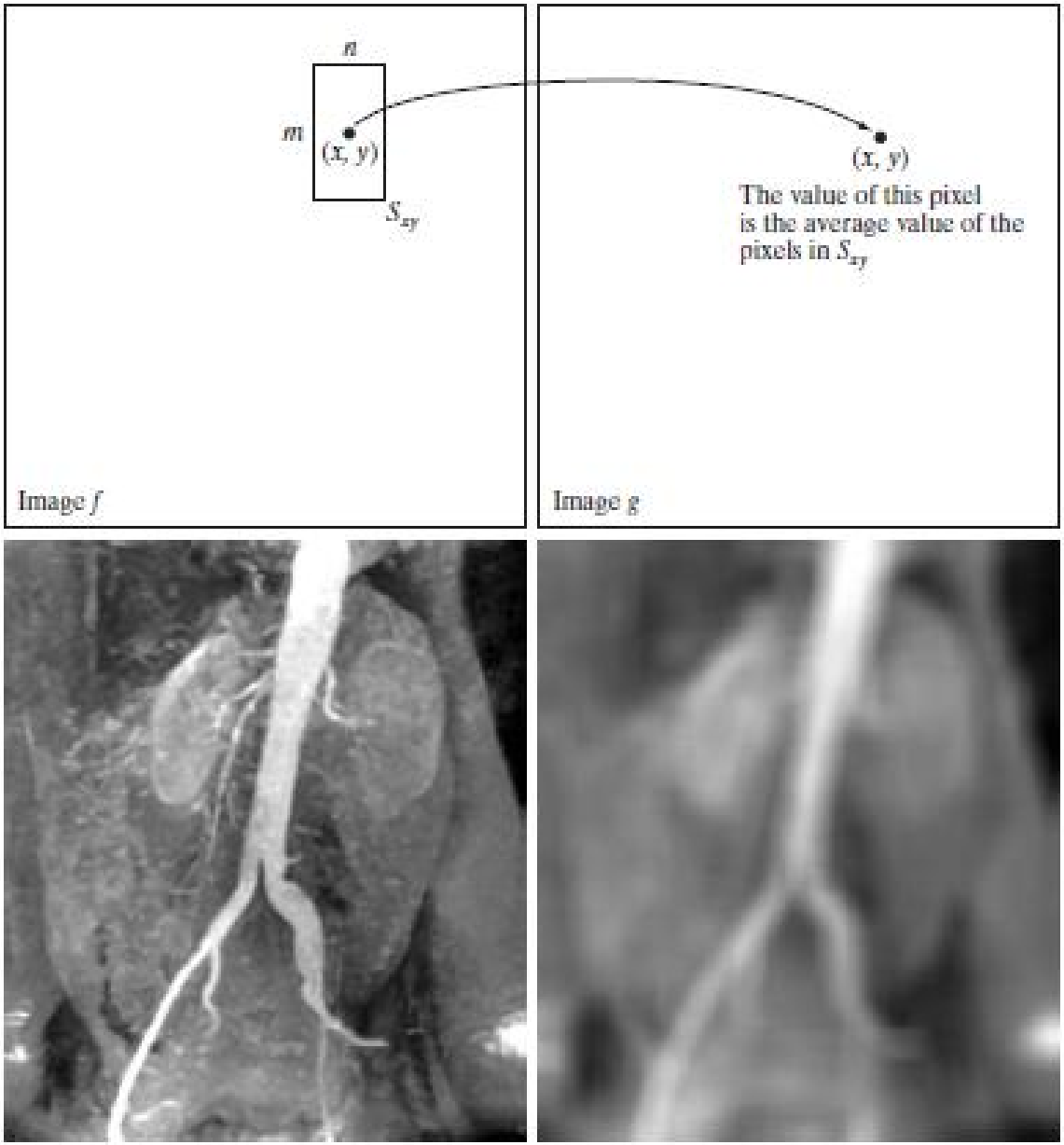
- S_{xy}, bir f görüntüsündeki keyfi bir x,y noktasının koordinat setini temsil etsin. Komşuluk işlemleri, girdi görüntüsünün(f), çıktı görüntüsünde (g) karşılık gelen pikselini üretir.

- G görüntüsündeki yeni pikselin parlaklık değeri de girdi görüntüsündeki S_{xy} deki koordinat bilgileri baz alınarak üretilir.

Neighborhood Operations

a b
c d

FIGURE 2.35 Local averaging using neighborhood processing. The procedure is illustrated in (a) and (b) for a rectangular neighborhood. (c) The aortic angiogram discussed in Section 1.3.2. (d) The result of using Eq. (2.6-21) with $m = n = 41$. The images are of size 790×686 pixels.



Geometrik dönüşümler, bir görüntüdeki pikseller arasındaki yersel ilişkiyi (spatial relationship) düzenler. Sayısal görüntü işlemede, geometrik dönüşümler 2 temel işlemden oluşurlar.

- Koordinatların yersel dönüşümleri (Spatial Transformation of Coordinates)
- Yoğunluk Enterpolasyonu (Intensity Interpolation)

Geometrik Yersel Dönüşümler

Koordinatların dönüşümü :

$$(x, y) = T\{(v, w)\}$$

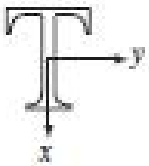
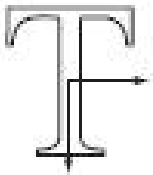
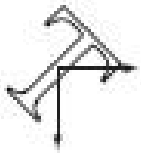
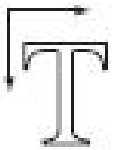
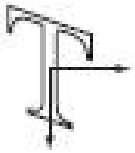
ile ifade edilir. (v,w) orijinal görüntüdeki piksel koordinatlarını ; (x,y) ise dönüşüm sağlanan görüntüdeki karşılık gelen piksel koordinatlarını belirtmektedir.

Literatürde, en yaygın olarak kullanılan yersel dönüşüm affine dönüşümü (affine transform)' dür (Wolberg,1990). Bu dönüşümü aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:

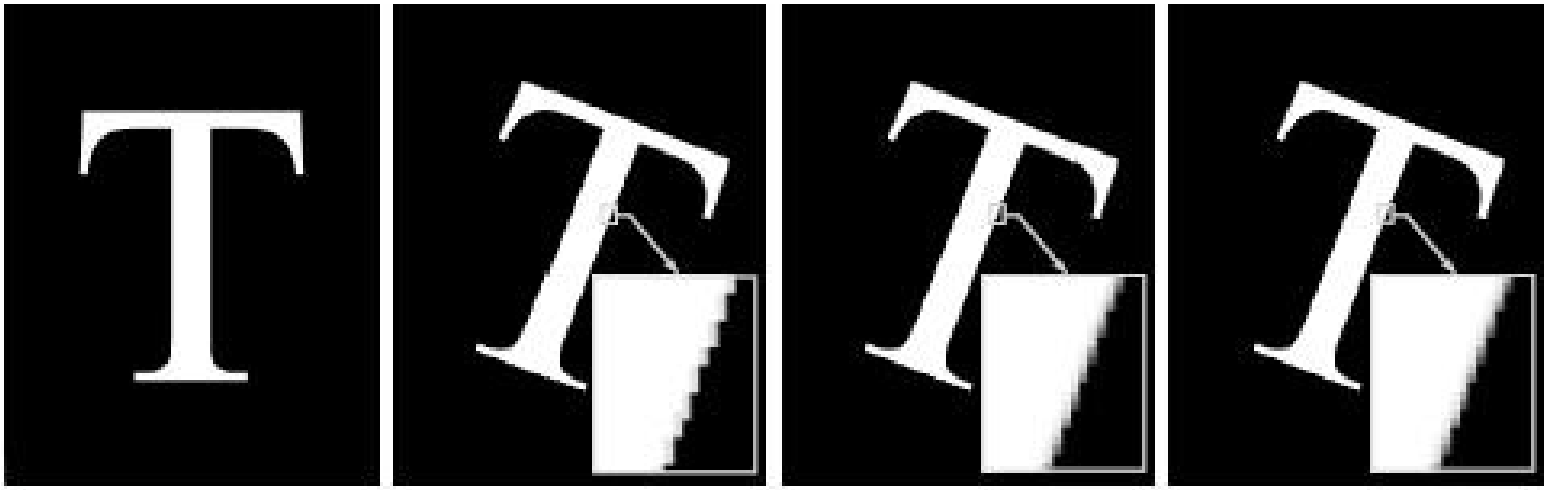
$$[x \;\; y \;\; 1] = [v \;\; w \;\; 1]\,\mathbf{T} = [v \;\; w \;\; 1]\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

TABLE 2.2

Affine transformations based on Eq. (2.6-23).

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\sin\theta$ $y = v\cos\theta + w\sin\theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

- Bu dönüşüm işlemi gerçekleştirildikten sonraki aşama ise daha evvel bahsedilmiş yöntemler ile (nearest neighbor, bilinear ,bicubic) yoğunluk enterpolasyonun gerçekleştirilmesidir.

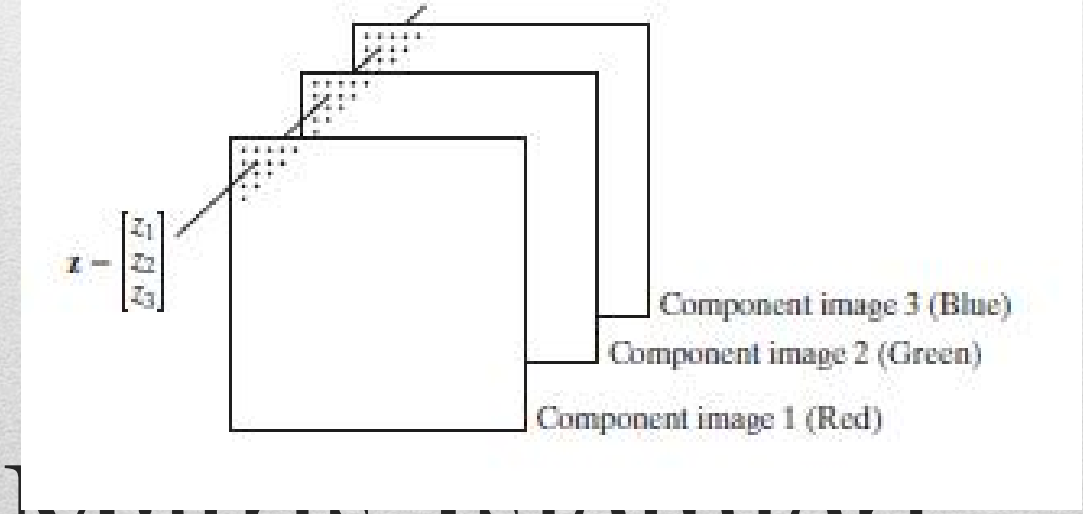


a b c d

FIGURE 2.36 (a) A 300 dpi image of the letter T. (b) Image rotated 21° using nearest neighbor interpolation to assign intensity values to the spatially transformed pixels. (c) Image rotated 21° using bilinear interpolation. (d) Image rotated 21° using bicubic interpolation. The enlarged sections show edge detail for the three interpolation approaches.

RGB ortamındaki her görüntü elemanın (pikselin) 3 temel bileşeni vardır:

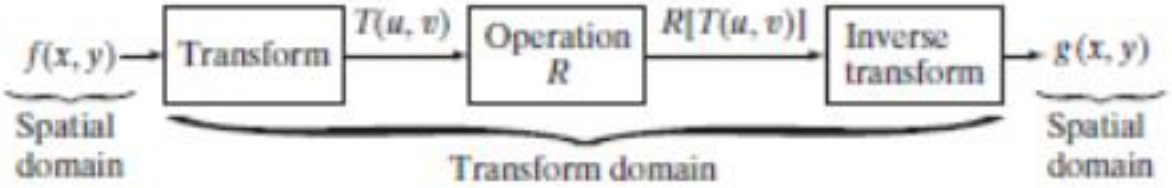
$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix}$$



Vektör Matris İşlemleri

- Buraya kadar bahsedilen görüntü işleme yöntemleri yersel ortamdaydı (spatial domain). Fakat farklı görüntü operasyonları bu ortamdan farklı bir ortamda da işletilebilir.

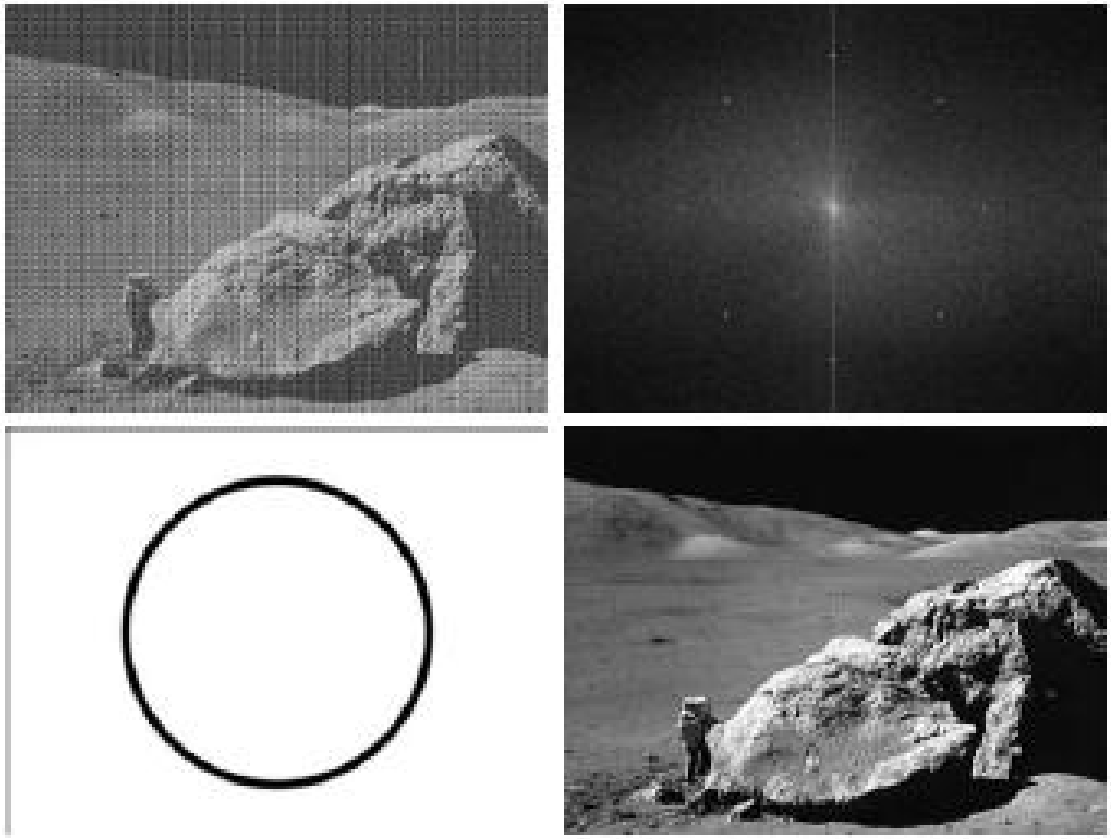
FIGURE 2.39 General approach for operating in the linear transform domain.



Görüntü Dönüşümleri

a b
c d

FIGURE 2.40
(a) Image corrupted by sinusoidal interference. (b) Magnitude of the Fourier transform showing the bursts of energy responsible for the interference. (c) Mask used to eliminate the energy bursts. (d) Result of computing the inverse of the modified Fourier transform. (Original image courtesy of NASA.)



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

İskenderun Teknik Üniversitesi

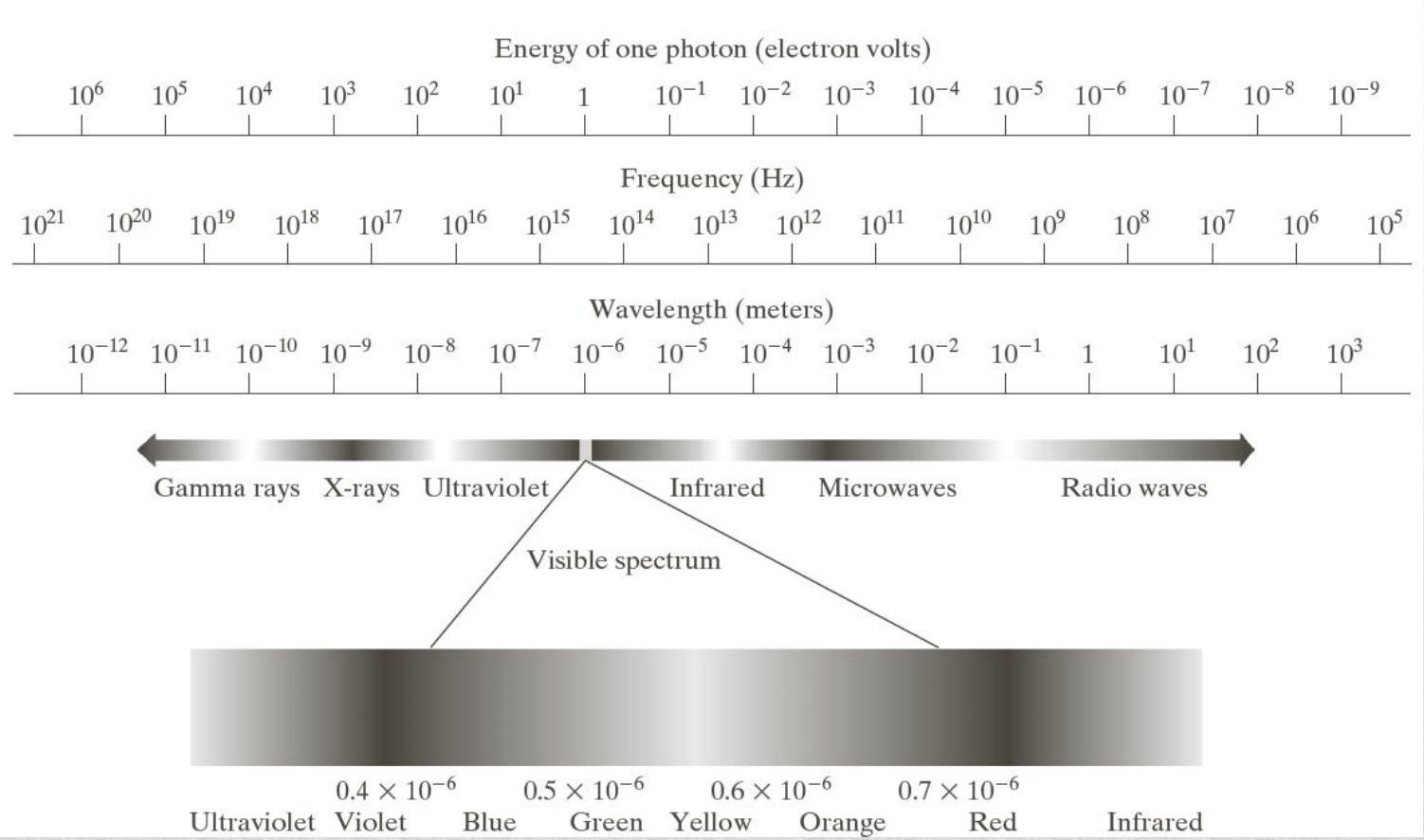
Fakülte: *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*

Bölüm: *Bilgisayar Mühendisliği*

Ders: Sayısal *Görüntü İşleme*

Dönem: *2020 – 2021 (Bahar)*

Öğretim üyesi: *Doç. Dr. Yakup KUTLU*



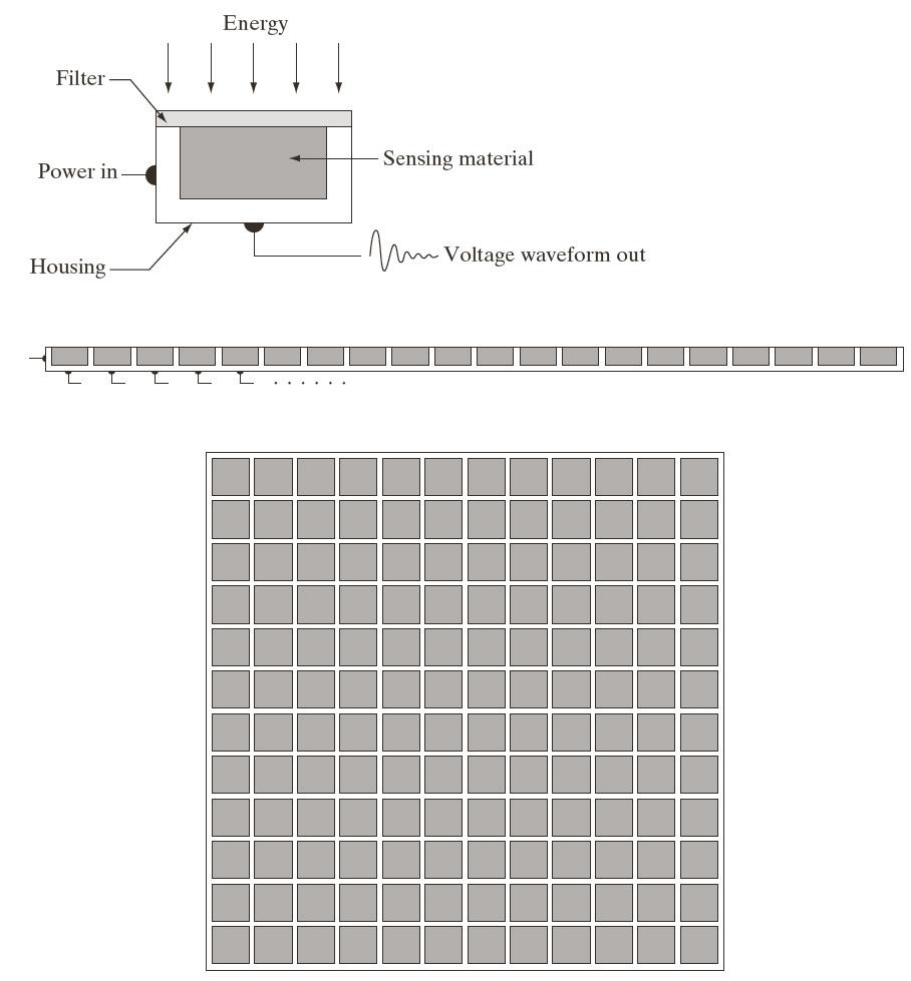
Elektromanyetik Spektrum

- Renk bilgisine sahip olmayan ışık “Monochromatic” ışık olarak isimlendirilir.
- Bu tür ışığın tek niteliği yoğunluk (intensity) veya miktarıdır (amount).
- Monochromatic ışığın yoğunluğu siyahtan beyaza doğru farklı grilik seviyelerinde olduğundan Gri-seviyeli terimi (Gray-Scale) kullanılır. s
- Chromatic ışıklar ise monochromatic ışığın tersine renk bilgisini de barındırırlar. 3 temel ölçüt bu tarz ışık kaynağını tanımlamak için kullanılır.

- **Radiance :** Işık kaynağından yayılan enerjinin toplam miktarıdır. Genellikle watt (W) ile gösterilir.

- **Lumminance:** Lümen birimi ile ifade edilir. Gözlemcinin, ışık kaynağından gelen enerjinin algıladığı miktarı belirtir.

- **Brightness:** Bu değer ise gözlemciden gözlemciye değişebilen ve ölçümlenmesi zor olan bir özelliktir.



a
b
c

FIGURE 2.12
(a) Single imaging sensor.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.

Sensörler

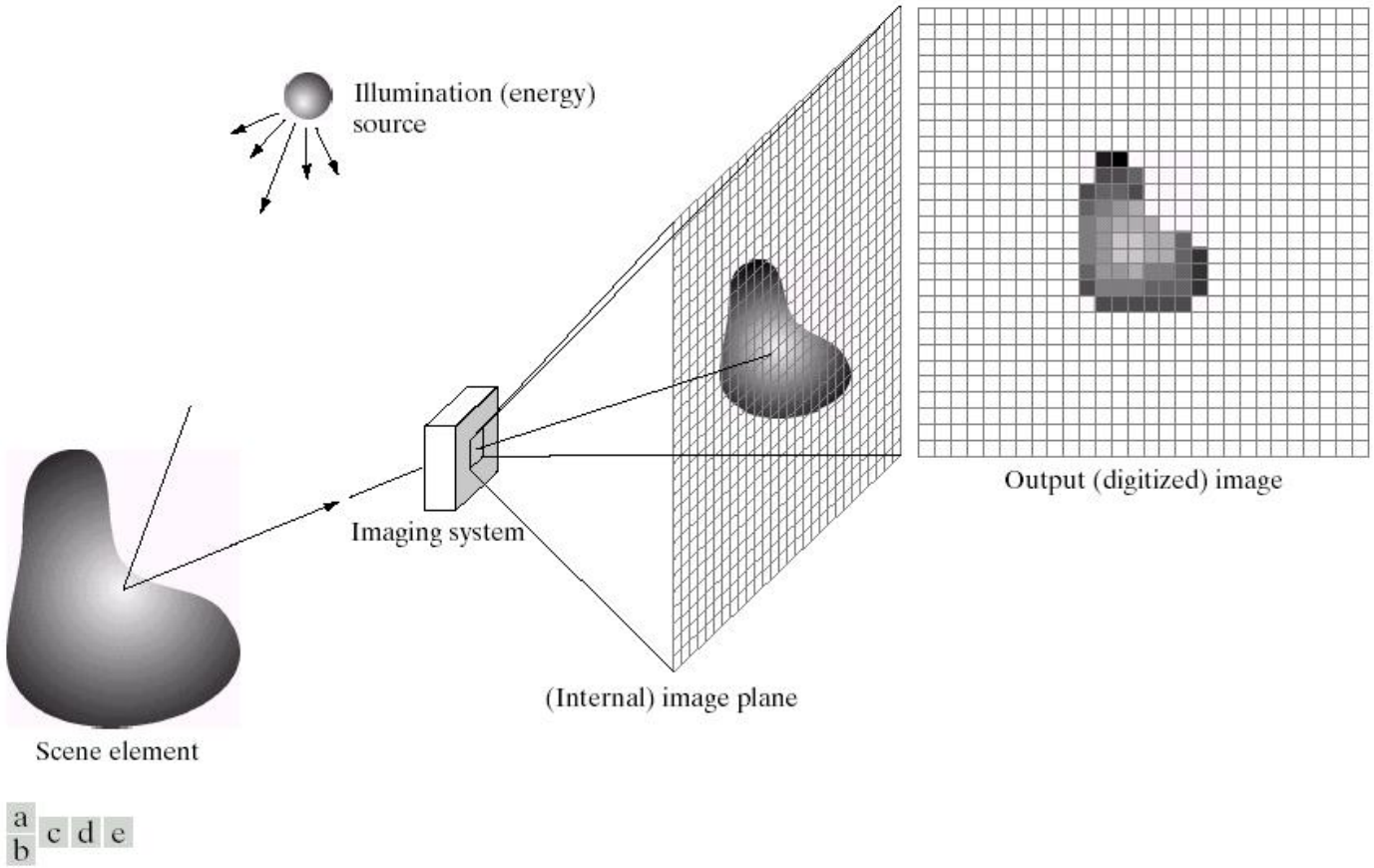
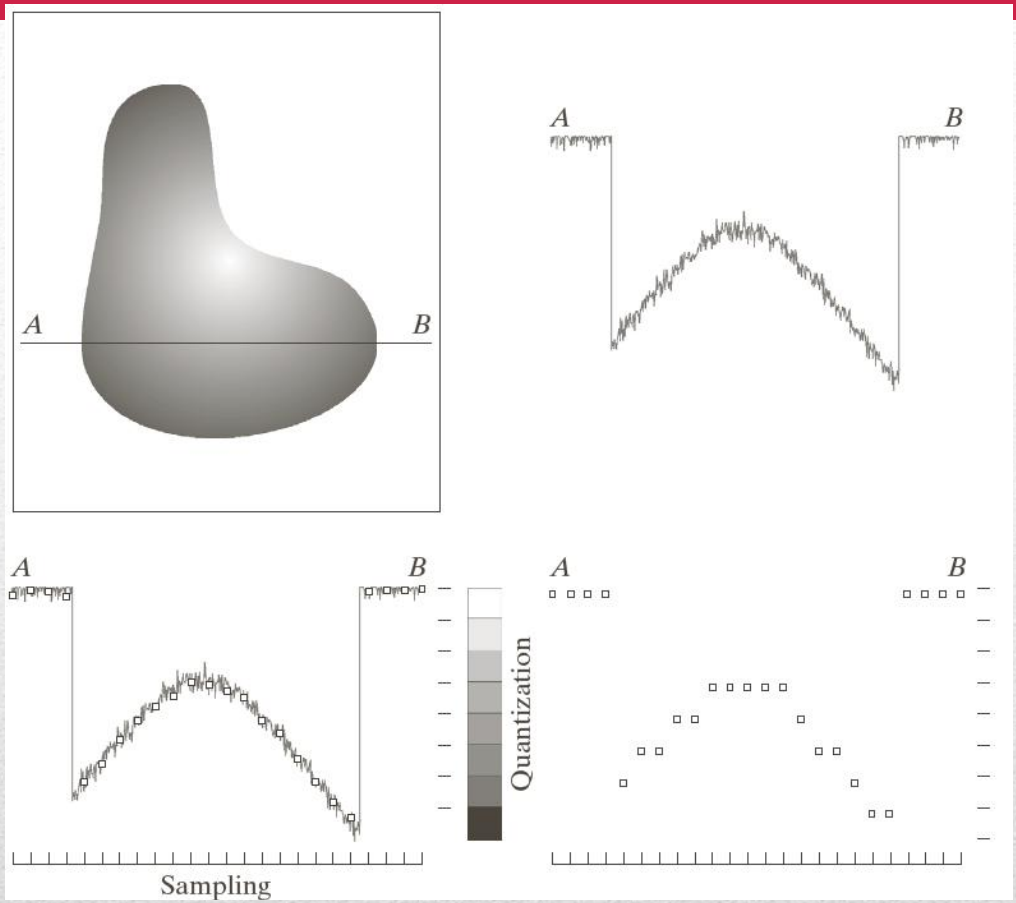
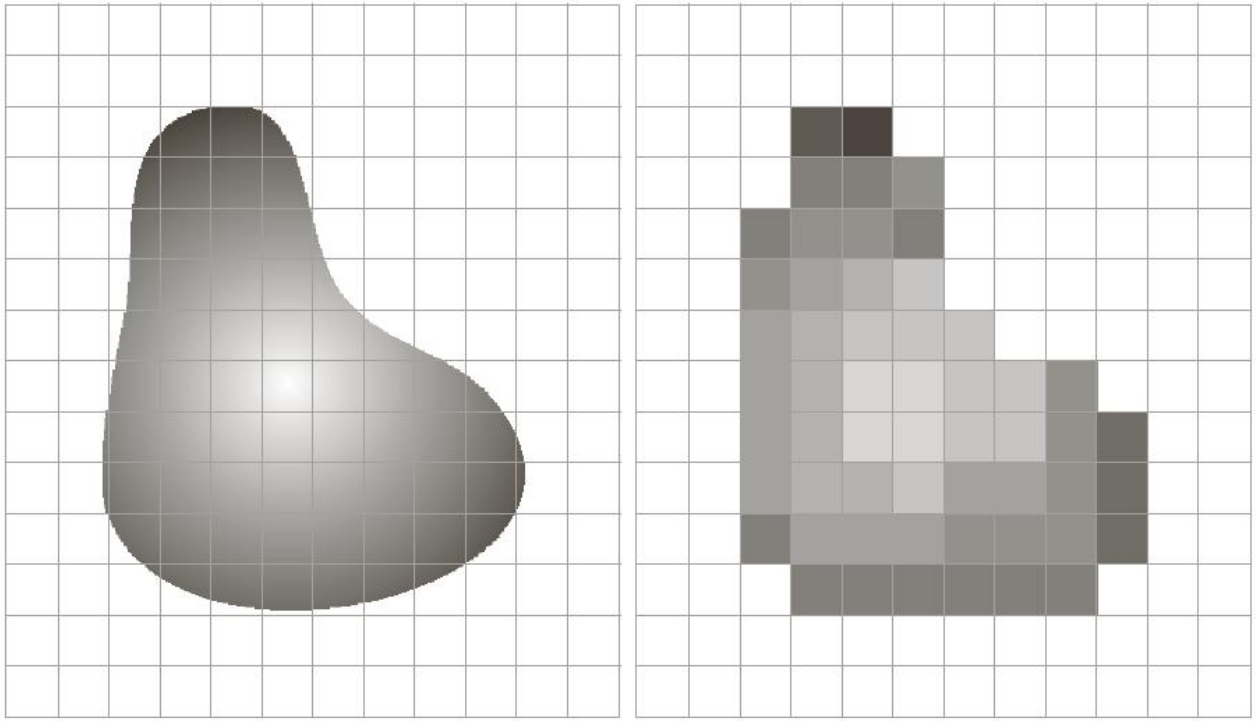


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy ("illumination") source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Görme Süreci

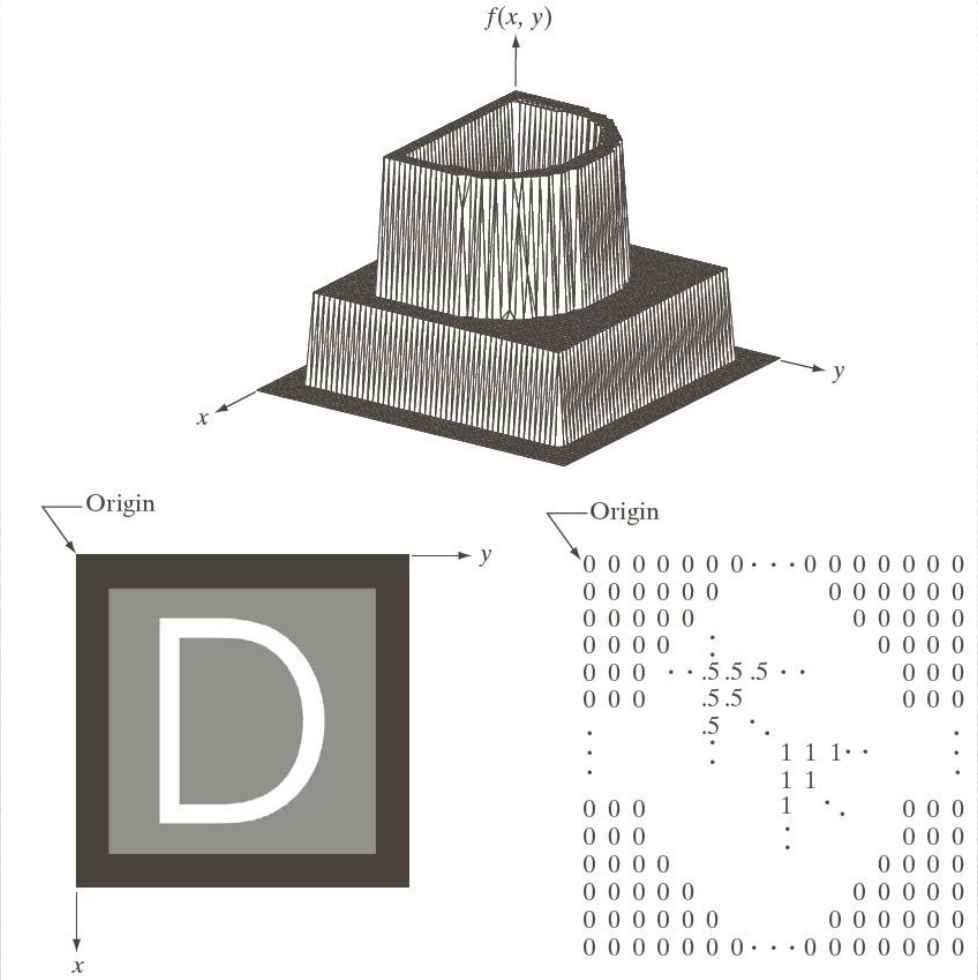


Sampling & Quantization



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.


f(x, y)
x
y
Origin
y
x
Origin

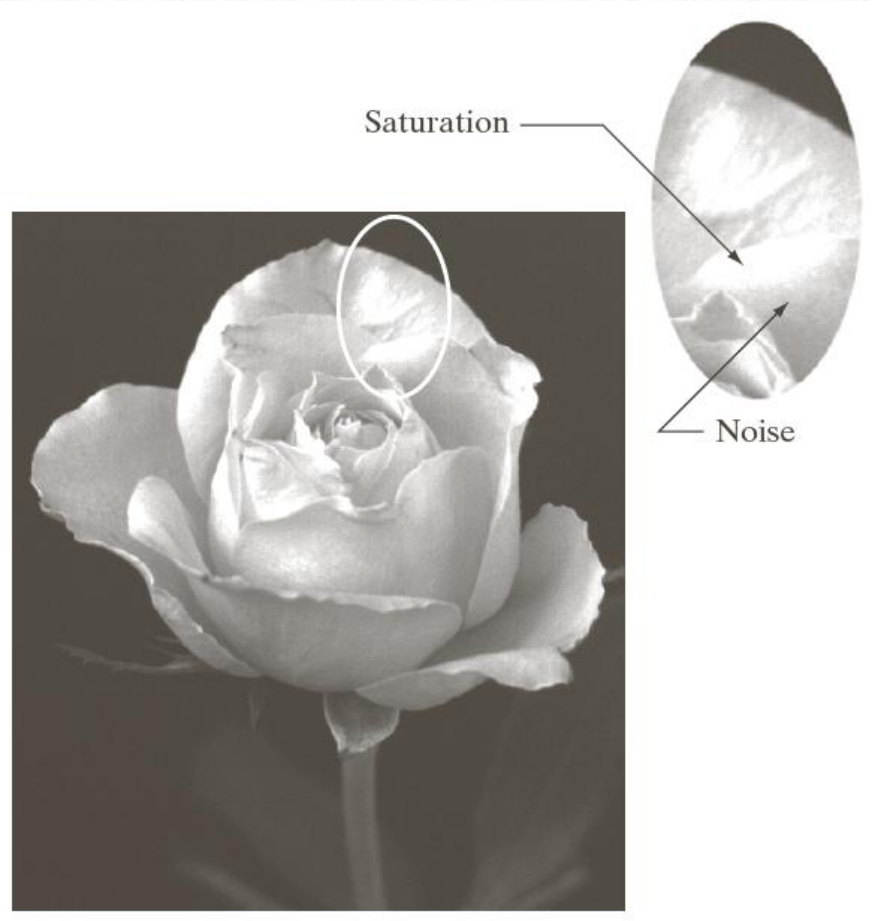


FIGURE 2.19 An image exhibiting saturation and noise. Saturation is the highest value beyond which all intensity levels are clipped (note how the entire saturated area has a high, *constant* intensity level). Noise in this case appears as a grainy texture pattern. Noise, especially in the darker regions of an image (e.g., the stem of the rose) masks the lowest detectable true intensity level.

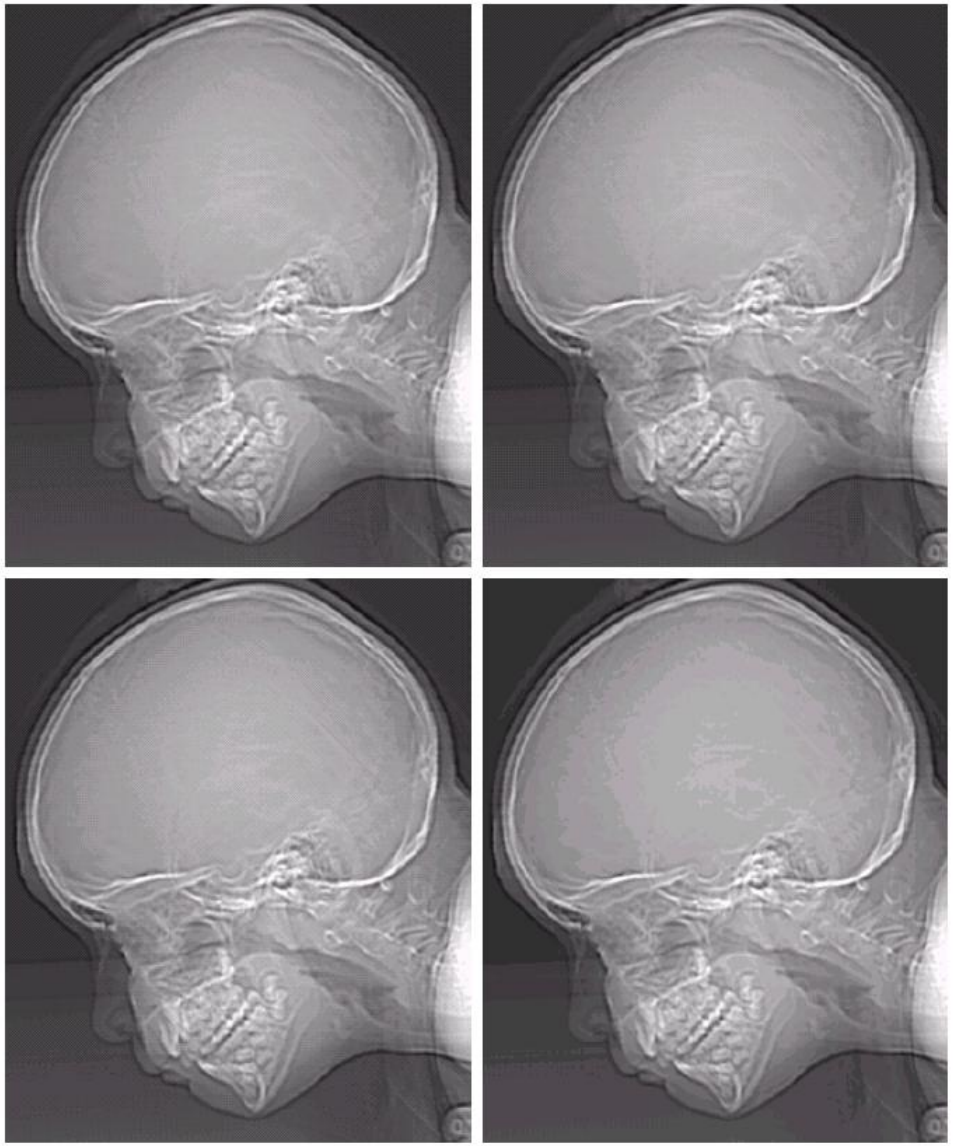
- Spatial (yersel) çözünürlük, görüntüdeki ayırt edilebilen detayın bir ölçüsüdür. Farklı şekillerde ölçümlenebilir.

- Görüntünün boyutu (size), görüntünün tümü hakkında çok şey ifade etmeyebilir. Örn: 1024x1024 çözünürlüklü bir görüntünün eğer yersel çözünürlüğü bilinmiyorsa çok fazla bir şey ifade etmeyebilir.

- Benzer şekilde, intensity (yoğuluk) çözünürlüğü ise yoğunluk seviyesindeki en ufak ayırt edilebilir farka işaret eder.

Spatial and Intensity Resolution

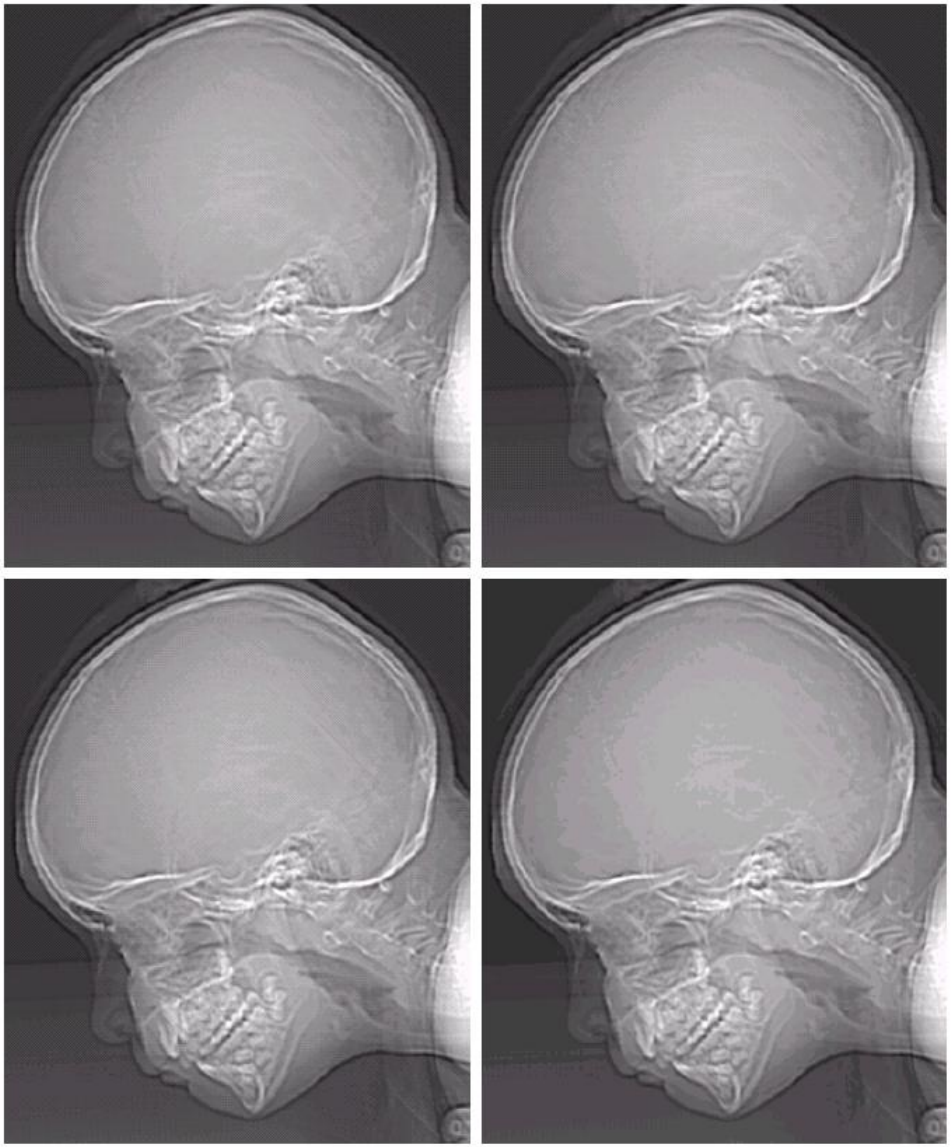
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.



a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Fark nedir ?



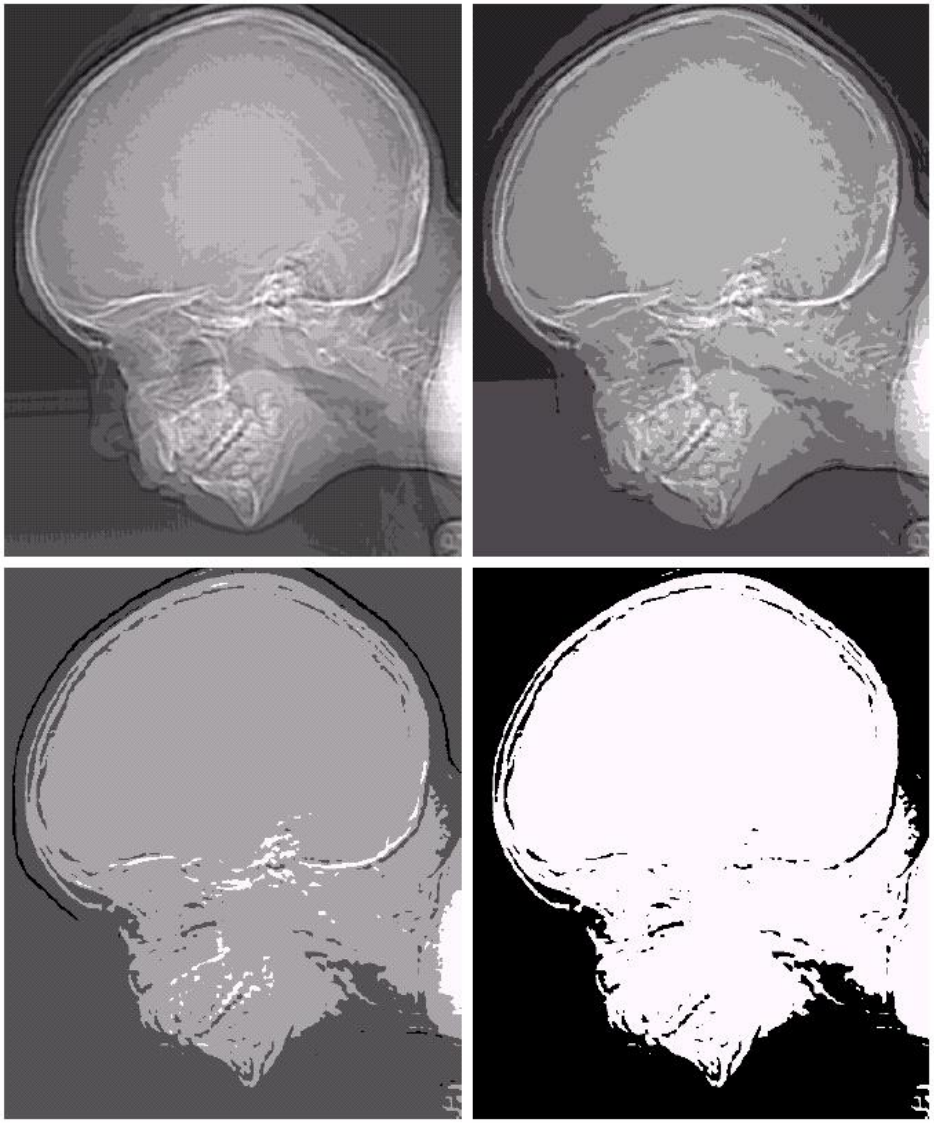
a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Temel olarak çözünürlük yeterince yüksek ise fark oluşmaz

e f
g h

FIGURE 2.21 *(Continued)* (e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



- Enterpolasyon, yakınlaştırma (zooming), döndürme (rotation) ve geometrik düzeltme (geometric correction) gibi işlemlerde yaygın bir şekilde kullanılan bir araçtır.

- Temel olarak enterpolasyon, bilinen bilgileri kullanarak bilinmeyen bölgelerdeki değerlerin hesaplanması işlemidir.

Görüntü Enterpolasyonu (Image Interpolation)

- 500x500 boyutlarındaki bir görüntünün 750x750 boyutlarına getirilmek istenmektedir (yaklaşık 1.5 kat büyütülmek istenmektedir.).

- Bu işlemin en kolay yolu 750x750 ebatlarında ve piksel genişliği aynı değere sahip olan bir görüntü oluşturmak ve ardından ise orijinal görüntünün üzerine uyacak şekilde ufaltmaktır.

Bu işlemi yaparken ne tip bir sorunla karşılaşılabilir?

Örnek

- Burada, açıkça görülmektedir ki ufaltılan (daraltılan) 750x 750'lik görüntüdeki piksel genişliği orijinal görüntüden daha az olacaktır.
- Bu yeni piksellere parlaklık seviyeleri atanırken literatürdeki farklı yöntemlerden faydalanılır.

- Oluşturulan yeni görüntüdeki her pikselin parlaklık değeri hesaplanırken orijinal görüntüdeki en yakın pikseller dikkate alınarak işlem gerçekleştirilir. Piksellerin yeni parlaklık değerleri atandıktan sonra görüntüyü istenilen büyüklükte genişletiriz ve böylelikle yakınlaştırılmış (zoom edilmiş) görüntümüz ortaya çıkar. Bu yöntem en yakın komşu (nearest neighbor) olarak bilinmektedir.

- En yakın komşu yöntemi, oldukça basit olmasına rağmen, oluşan yeni görüntüde bazı gürültüler ve istenmeyen etkilere neden olduğundan birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirir. Bu yüzden sıklıkla tercih edilmez.

- Yeni piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise bilinear interpolation yöntemidir. Bu yöntemde oluşturulan pikselin parlaklık değeri çevresindeki en yakın 4 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d$$

V (x,y) x,y koordinatlarındaki pikselin parlaklık değeri

Bu denklemdeki 4 adet bilinmeyen sabit (a,b,c,d), (x,y) noktasının en yakın 4 komşusundan elde edilecek 4 farklı eşitlik sonucunda hesaplanır.

Bilinear enterpolasyon daha fazla hesaplama gereksinmesine rağmen bu yöntem ile elde edilen sonuçlar en yakın komşu yöntemine göre daha başarılıdır.

- Üçüncü bir yöntem ise bicubic enterpolasyondur. Bu yöntemde ise yeni pikselin parlaklık değeri orijinal görüntüdeki konumuna en yakın 16 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} x^i y^j$$

a b c
d e f

FIGURE 2.24 (a) Image reduced to 72 dpi and zoomed back to its original size (3692 × 2812 pixels) using nearest neighbor interpolation. This figure is the same as Fig. 2.20(d). (b) Image shrunk and zoomed using bilinear interpolation. (c) Same as (b) but using bicubic interpolation. (d)–(f) Same sequence, but shrinking down to 150 dpi instead of 72 dpi [Fig. 2.24(d) is the same as Fig. 2.20(c)]. Compare Figs. 2.24(e) and (f), especially the latter, with the original image in Fig. 2.20(a).

- (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin 4 yatay ve 4 dikey komşusunun koordinatları aşağıdaki gibidir:

$$(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)$$

(x,y) bu piksel seti p noktasının 4 komşusu olarak ifade edilir ve $N_4(p)$ olarak gösterilir.

Pikseller Üzerinde Temel İşlemler (Bir Pikselin Komşuları)

- Yine, (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin çapraz komşularının koordinatları:

$$(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$$

olup $N_D(p)$ olarak ifade edilir. Bu çapraz komşular dörtlü komşular ile birlikte 8'li komşuları oluştururlar ve $N_8(p)$ olarak ifade edilirler.

- Matris İşlemleri
- Linear ve Non-Linear İşlemler
- Aritmetik İşlemler
- Kümesel ve Mantıksal İşlemler
- Yersel İşlemler
- Vektör ve Matris Operasyonları
- Görüntü Dönüşümleri

Sayısal Görüntü İşlemede Kullanılan Matematiksel Araçlar

- Daha önce de belirtildiği gibi sayısal görüntünün ifade edilmesinde matris tabanlı gösterim kullanılmaktadır.

- İki görüntü üzerinde gerçekleştirilen matris tabanlı işlemler iki görüntünün pikselleri üzerinde teker teker gerçekleştirilir.

Matris İşlemleri

- Örneğin 2x2 boyutlu bir görüntü üzerinde gerçekleştirilen işlem sonucu oluşan dizi aşağıdaki gibi ifade edilir:

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

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

Linear ve Non-Linear İşlemle

- Girdi f(x,y) görüntüsünü alan ve çıktı görüntüsü olarak g(x,y) görüntüsünü üreten H genel operatörünü göz önüne alalım.

$$H\left[f(x, y)\right] = g(x, y)$$

Eğer H aşağıdaki şartı sağlıyorsa doğrusal (linear) bir operatördür.

$$\begin{aligned} H\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] &= a_i H\left[f_i(x, y)\right] + a_j H\left[f_j(x, y)\right] \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

- Örneğin, H'nin toplam operatörü olduğunu düşünelim. Bu operatörün lineer olup olmadığını test etmek için, sol taraftan işlem yapılmaya başlar ve bu sol tarafın sağ tarafa eşit olduğu ispatlanmaya çalışılır.

$$\sum\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] = \sum a_i f_i(x, y) + \sum a_j f_j(x, y)$$

$$= a_i \sum f_i(x, y) + a_j \sum f_j(x, y)$$

$$= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y)$$

- Diğer bir örnek ise Max için verilsin. Bu operatör ise verilen piksel grubunun içinde değer max olanını bulmaktadır. Elimizde ise aşağıdaki şekilde 2 tane görüntü olsun.

$$f_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad f_2 = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

Katsayılarımız olan a1 ve a2 ise sırasıyla 1 ve -1 olsun.

- Doğrusallığı test etmek için yine sol taraftan işleme başlarız.

$$\max\left\{(1)\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix} + (-1)\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = \max\left\{\begin{bmatrix}-6 & -3\\ -2 & -4\end{bmatrix}\right\}$$

$$\boxed{= -2}$$

Test işlemini sağdan yapmaya başladığımızda ise:

$$(1)\max\left\{\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix}\right\} + (-1)\max\left\{\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = 3 + (-1)7$$

$$\boxed{= -4}$$

Max operatörü için doğrusal bir durumdan bahsetmek mümkün değildir.

- Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen temel aritmetiksel işlemler:

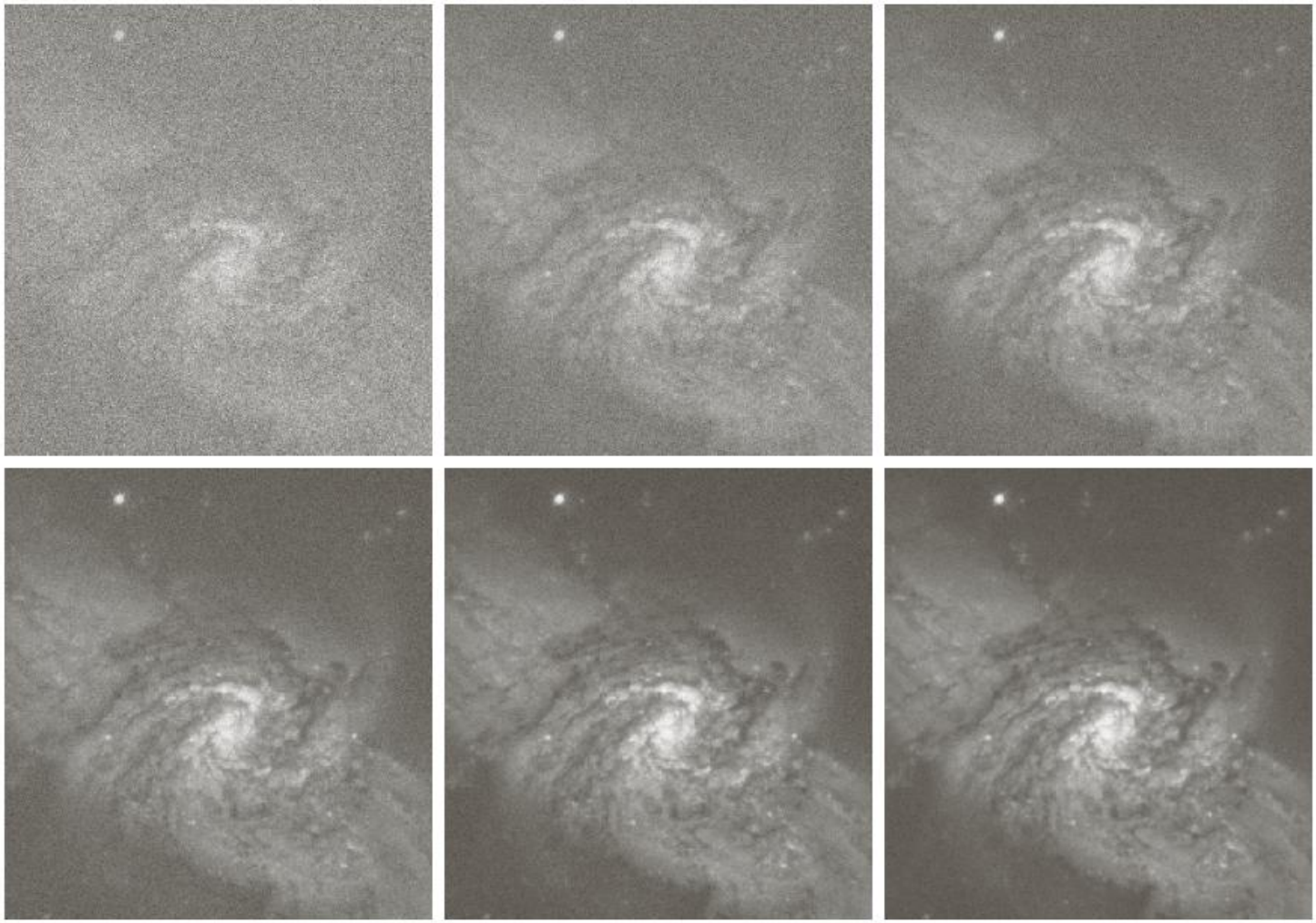
$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

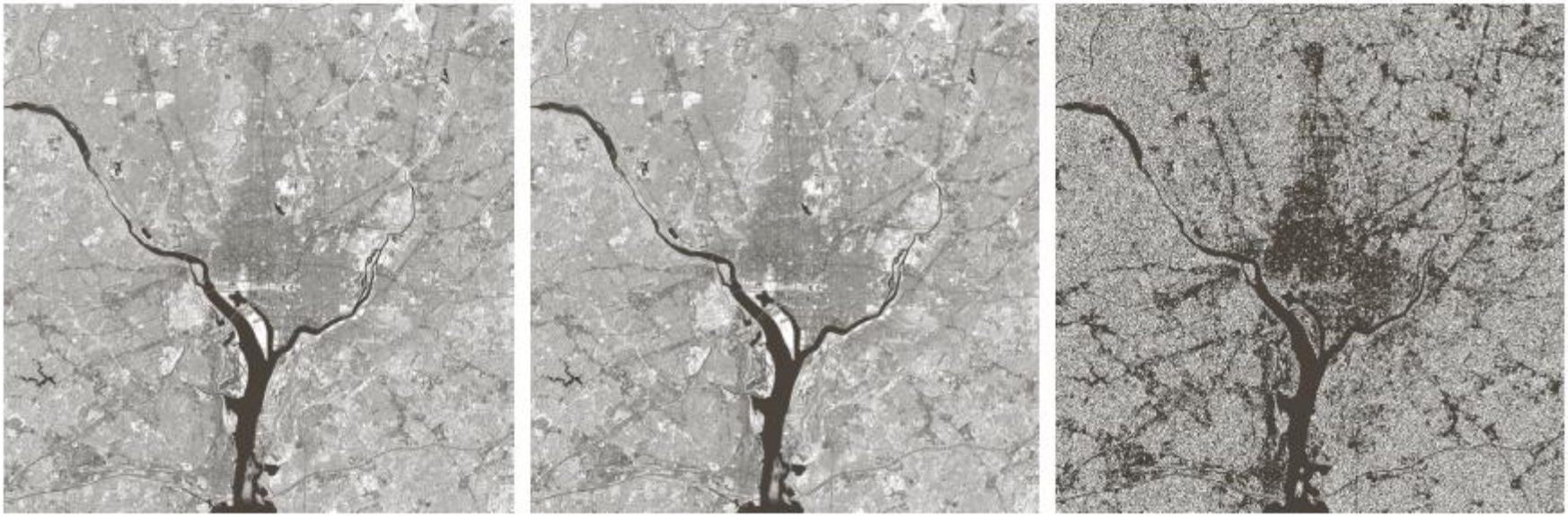
$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

Aritmetik İşlemler



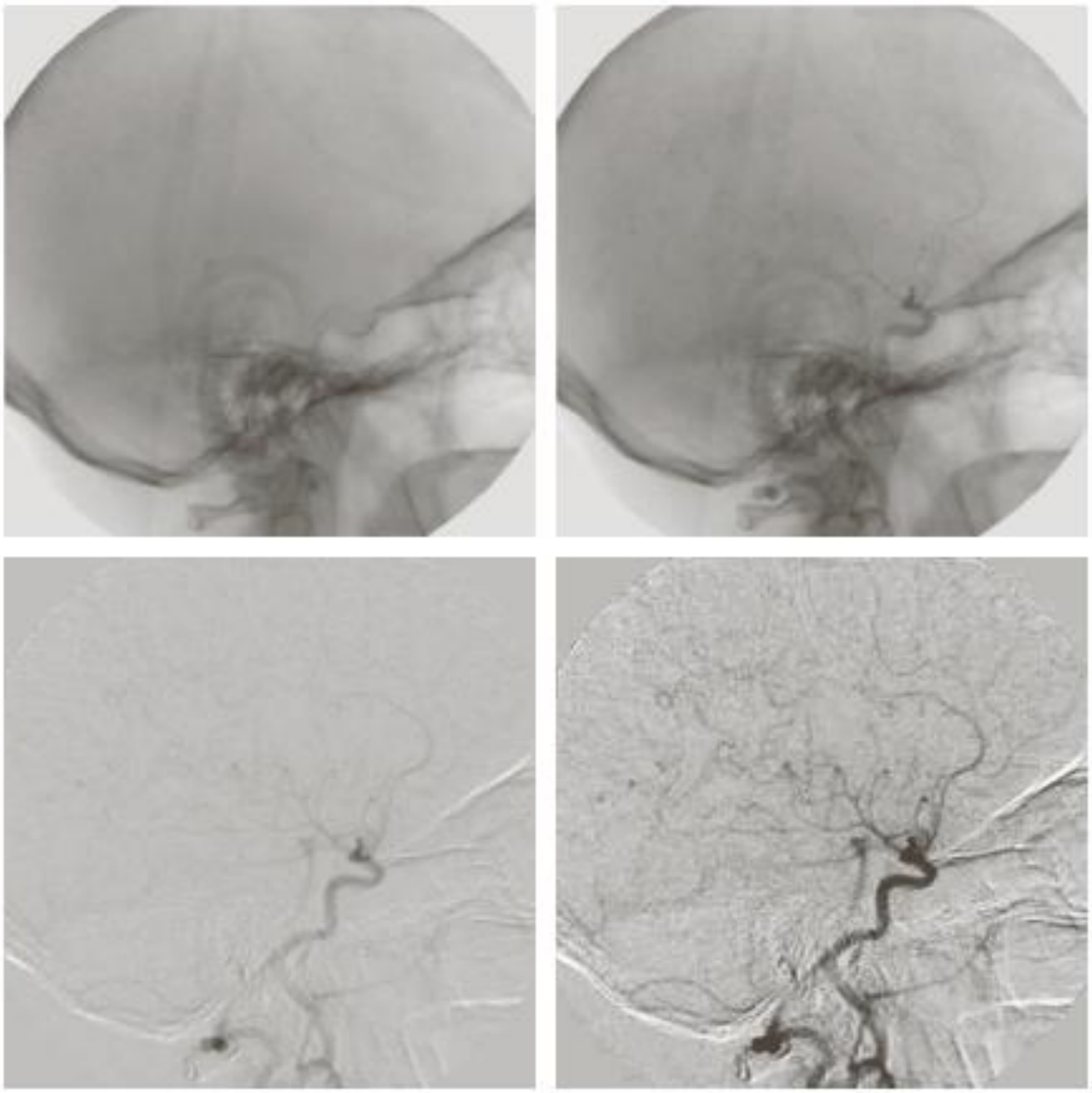
a b c
d e f

FIGURE 2.26 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)–(f) Results of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. (Original image courtesy of NASA.)



a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

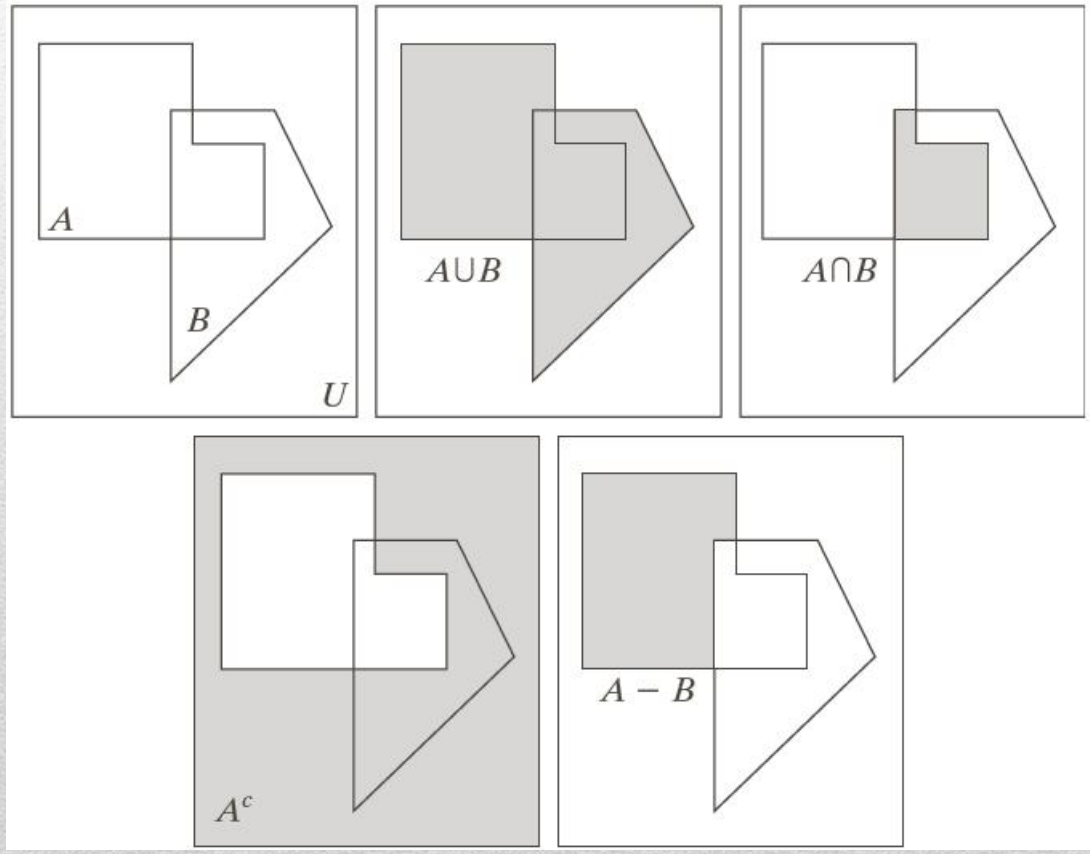


a b
c d

FIGURE 2.28 Digital subtraction angiography. (a) Mask image. (b) A live image. (c) Difference between (a) and (b). (d) Enhanced difference image. (Figures (a) and (b) courtesy of The Image Sciences Institute, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands.)

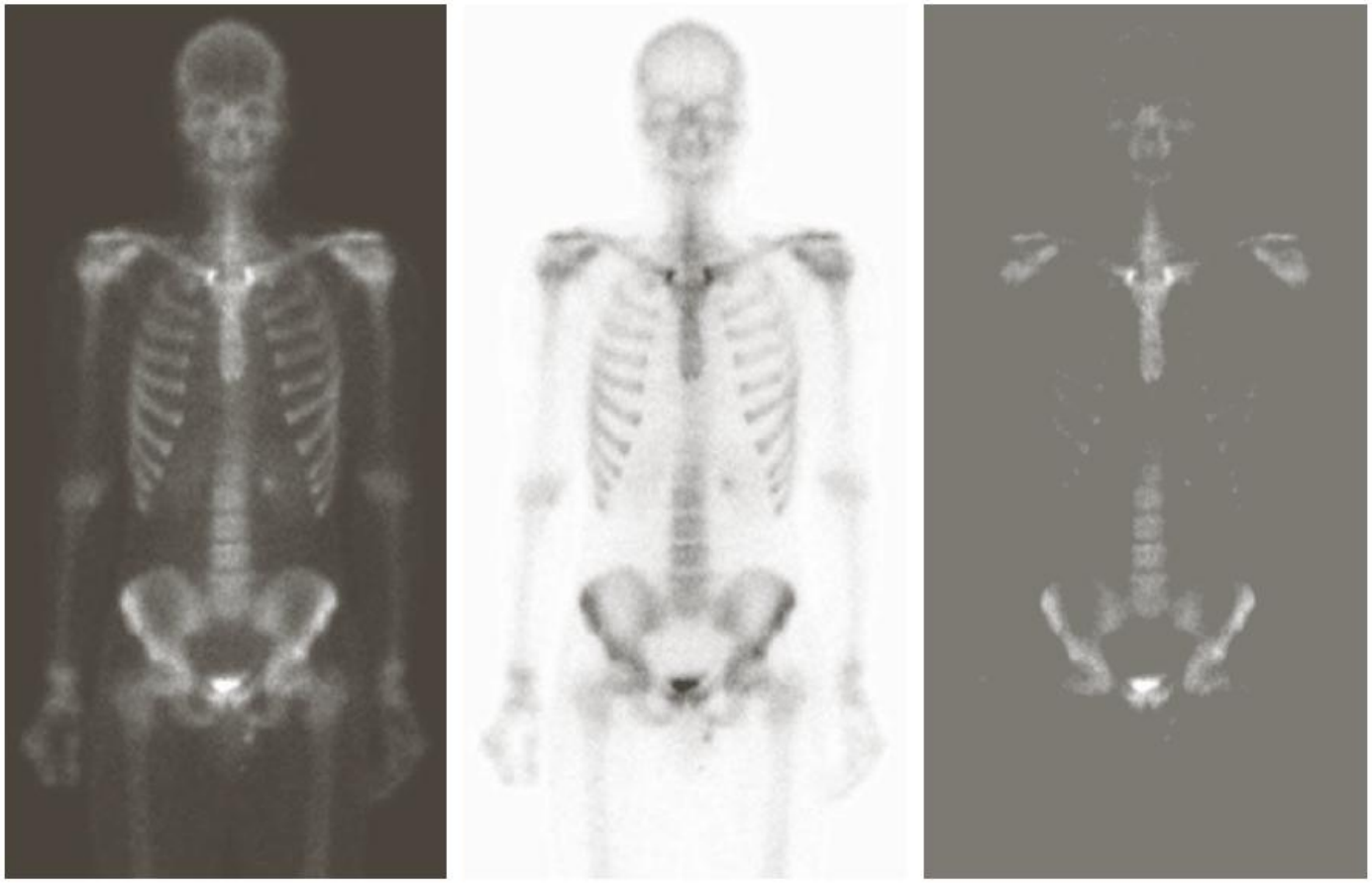
a b c

FIGURE 2.30 (a) Digital dental X-ray image. (b) ROI mask for isolating teeth with fillings (white corresponds to 1 and black corresponds to 0). (c) Product of (a) and (b).



a b c
d e

FIGURE 2.31 (a) Two sets of coordinates, A and B, in 2-D space. (b) The union of A and B. (c) The intersection of A and B. (d) The complement of A. (e) The difference between A and B. In (b)–(e) the shaded areas represent the member of the set operation indicated.



a b c

FIGURE 2.32 Set operations involving gray-scale images. (a) Original image. (b) Image negative obtained using set complementation. (c) The union of (a) and a constant image. (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)

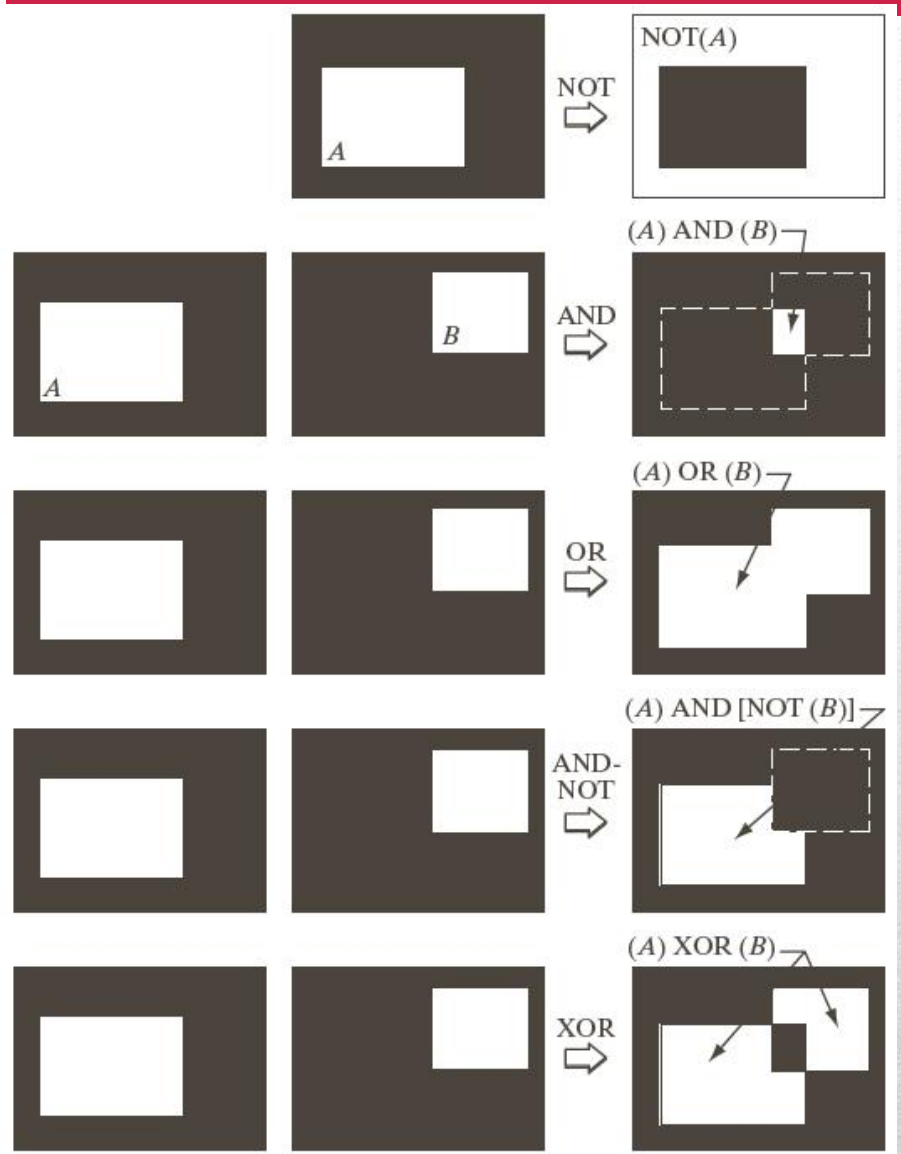


FIGURE 2.33 Illustration of logical operations involving foreground (white) pixels. Black represents binary 0s and white binary 1s. The dashed lines are shown for reference only. They are not part of the result.

Yersel işlemler, görüntü üzerindeki pikseller üzerinde gerçekleştirilirler. Yersel işlemleri 3 kategoride toplamak mümkündür:

- Tek piksel ile Yapılan İşlemler (Single Pixel Operations)
- Komşuluk İşlemleri (Neighborhood Operations)
- Geometrik Yersel Dönüşümler (Geometric Spatial Transformations)

Spatial (Yersel) İşlemler

Single Pixel Operations

- Sayısal bir görüntü üzerinde yapılacak en basit işlemlerden bir tanesi, piksellerin parlaklık değerlerinin değiştirilmesidir. Bu tür bir işlem bir dönüşüm fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$s = T(z)$$

z Orijinal görüntüdeki pikselin yoğunluğu

s İşlenerek elde edilen yeni görüntüdeki karşılık gelen pikselin yeni yoğunluk değeri

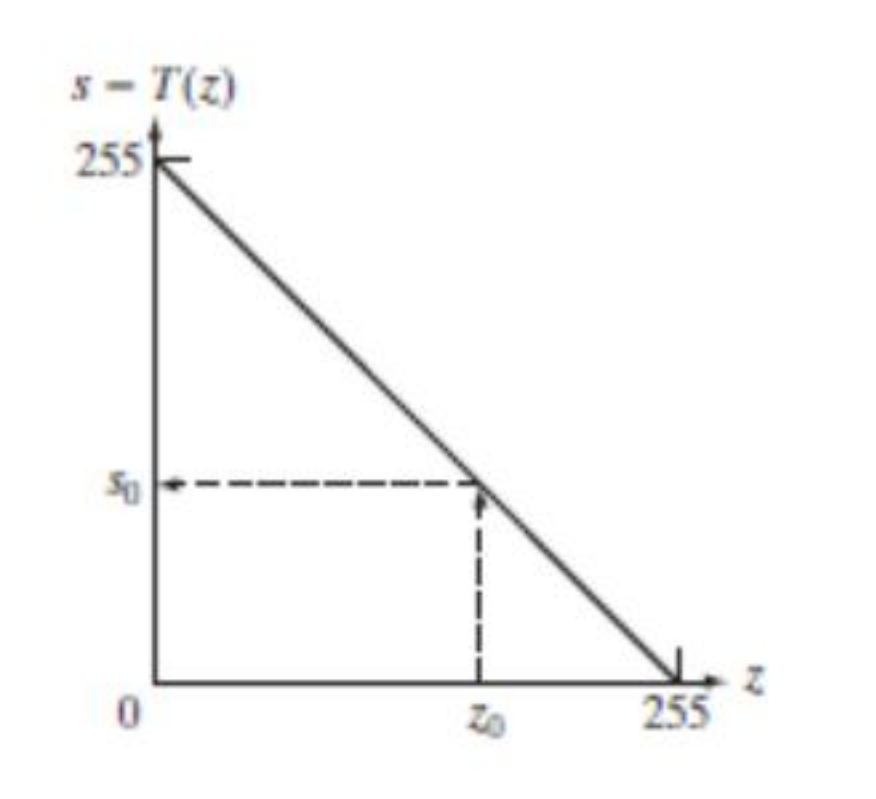


FIGURE 2.34 Intensity transformation function used to obtain the negative of an 8-bit image. The dashed arrows show transformation of an arbitrary input intensity value z_0 into its corresponding output value s_0.

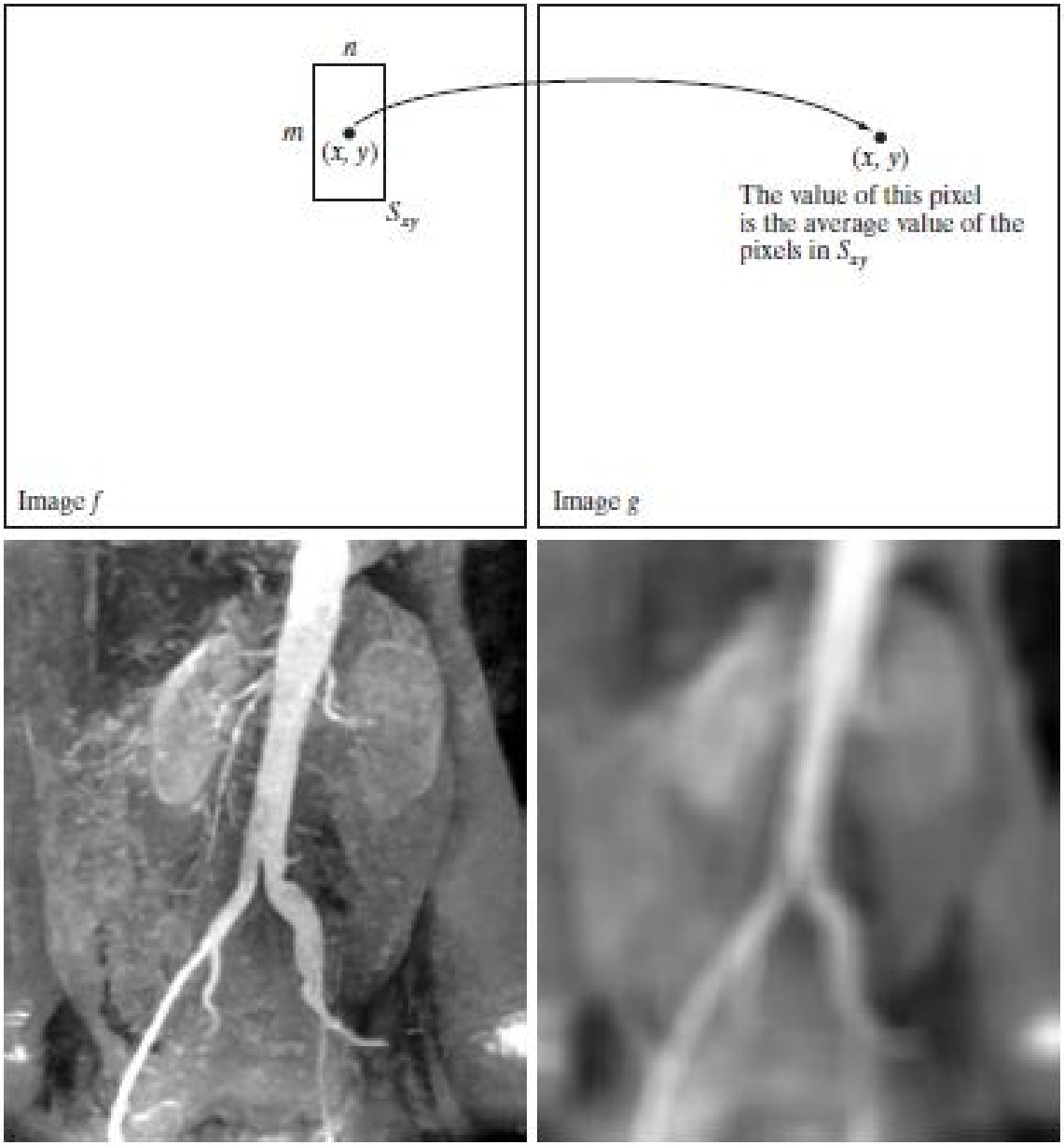
- S_{xy}, bir f görüntüsündeki keyfi bir x,y noktasının koordinat setini temsil etsin. Komşuluk işlemleri, girdi görüntüsünün(f), çıktı görüntüsünde (g) karşılık gelen pikselini üretir.

- G görüntüsündeki yeni pikselin parlaklık değeri de girdi görüntüsündeki S_{xy} deki koordinat bilgileri baz alınarak üretilir.

Neighborhood Operations

a b
c d

FIGURE 2.35 Local averaging using neighborhood processing. The procedure is illustrated in (a) and (b) for a rectangular neighborhood. (c) The aortic angiogram discussed in Section 1.3.2. (d) The result of using Eq. (2.6-21) with $m = n = 41$. The images are of size 790×686 pixels.



Geometrik dönüşümler, bir görüntüdeki pikseller arasındaki yersel ilişkiyi (spatial relationship) düzenler. Sayısal görüntü işlemede, geometrik dönüşümler 2 temel işlemden oluşurlar.

- Koordinatların yersel dönüşümleri (Spatial Transformation of Coordinates)
- Yoğunluk Enterpolasyonu (Intensity Interpolation)

Geometrik Yersel Dönüşümler

Koordinatların dönüşümü :

$$(x, y) = T\{(v, w)\}$$

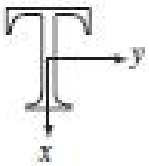
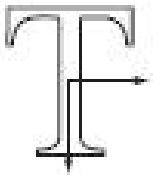
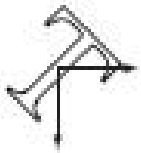
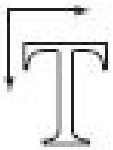
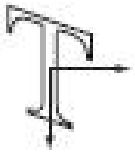
ile ifade edilir. (v,w) orijinal görüntüdeki piksel koordinatlarını ; (x,y) ise dönüşüm sağlanan görüntüdeki karşılık gelen piksel koordinatlarını belirtmektedir.

Literatürde, en yaygın olarak kullanılan yersel dönüşüm affine dönüşümü (affine transform)' dür (Wolberg,1990). Bu dönüşümü aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:

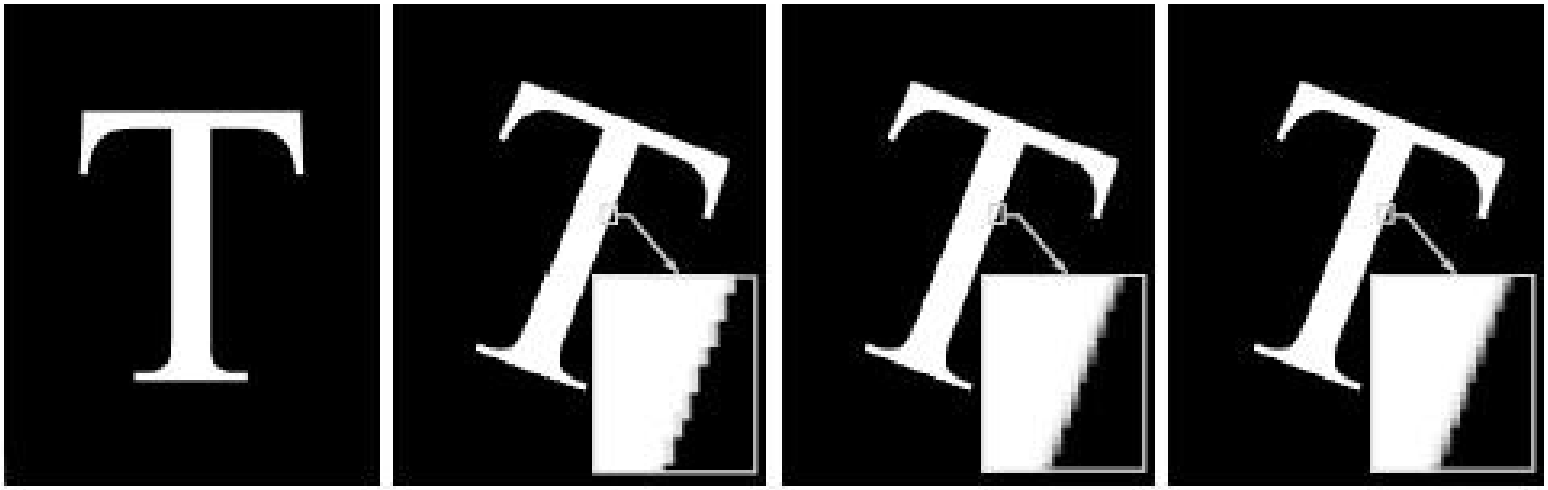
$$[x \;\; y \;\; 1] = [v \;\; w \;\; 1]\,\mathbf{T} = [v \;\; w \;\; 1]\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

TABLE 2.2

Affine transformations based on Eq. (2.6-23).

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\sin\theta$ $y = v\cos\theta + w\sin\theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

- Bu dönüşüm işlemi gerçekleştirildikten sonraki aşama ise daha evvel bahsedilmiş yöntemler ile (nearest neighbor, bilinear ,bicubic) yoğunluk enterpolasyonun gerçekleştirilmesidir.

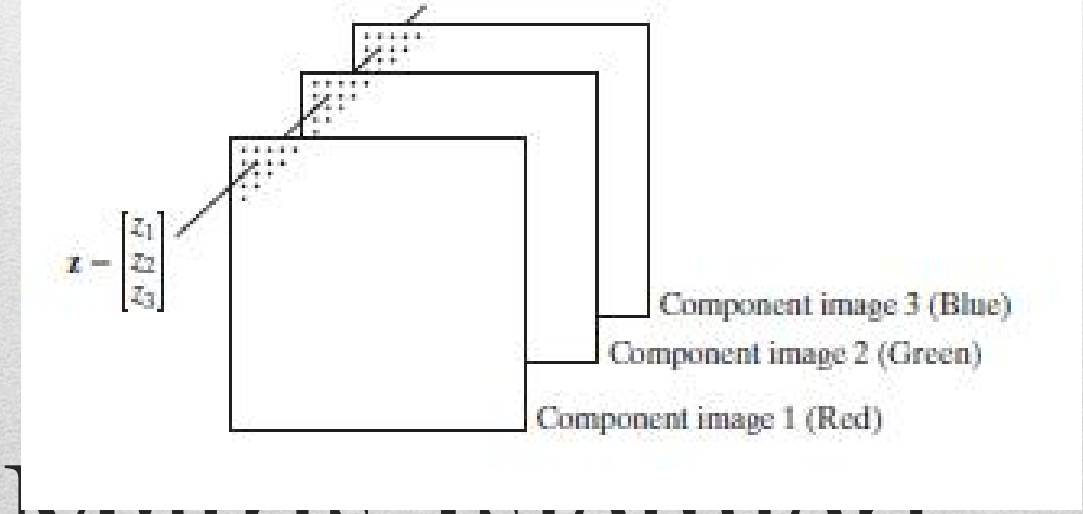


a b c d

FIGURE 2.36 (a) A 300 dpi image of the letter T. (b) Image rotated 21° using nearest neighbor interpolation to assign intensity values to the spatially transformed pixels. (c) Image rotated 21° using bilinear interpolation. (d) Image rotated 21° using bicubic interpolation. The enlarged sections show edge detail for the three interpolation approaches.

RGB ortamındaki her görüntü elemanın (pikselin) 3 temel bileşeni vardır:

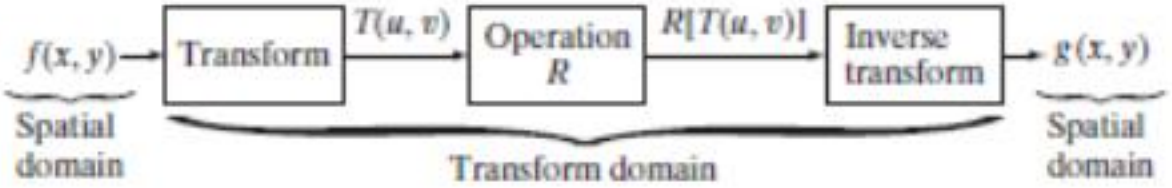
$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix}$$



Vektör Matris İşlemleri

- Buraya kadar bahsedilen görüntü işleme yöntemleri yersel ortamdaydı (spatial domain). Fakat farklı görüntü operasyonları bu ortamdan farklı bir ortamda da işletilebilir.

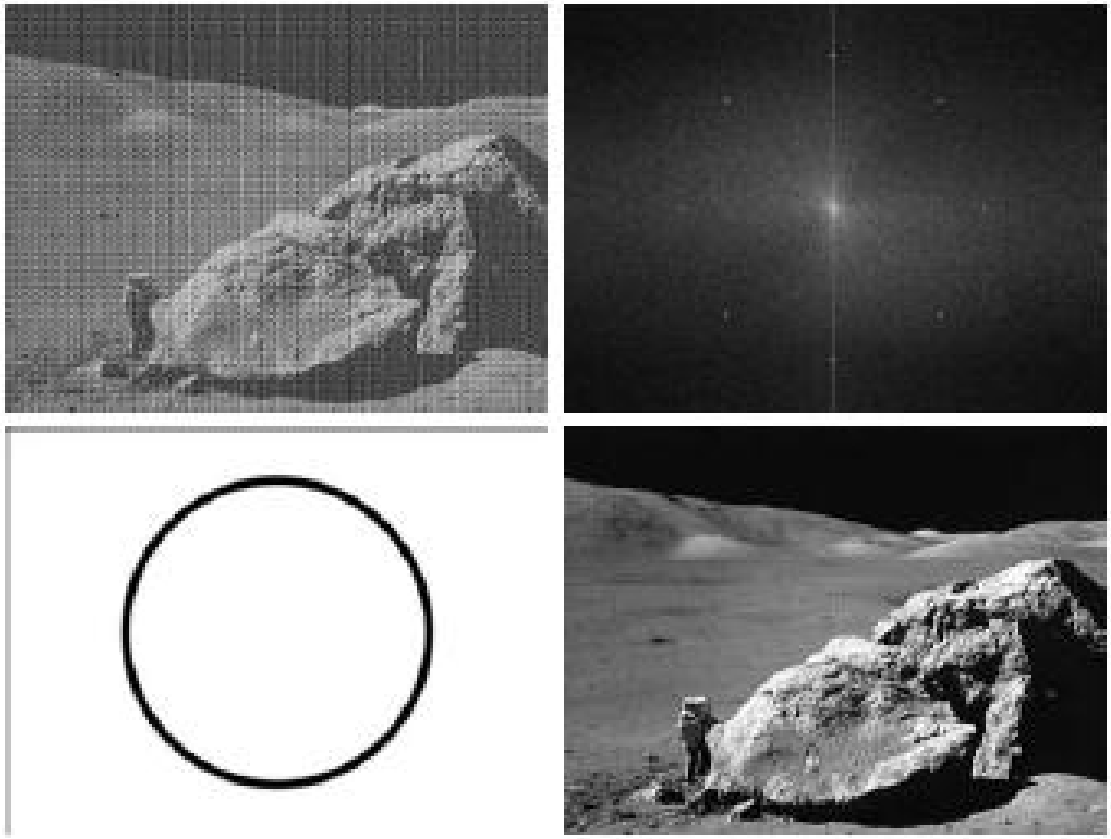
FIGURE 2.39 General approach for operating in the linear transform domain.



Görüntü Dönüşümleri

a b
c d

FIGURE 2.40
(a) Image corrupted by sinusoidal interference. (b) Magnitude of the Fourier transform showing the bursts of energy responsible for the interference. (c) Mask used to eliminate the energy bursts. (d) Result of computing the inverse of the modified Fourier transform. (Original image courtesy of NASA.)



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

İskenderun Teknik Üniversitesi

Fakülte: *Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi*

Bölüm: *Bilgisayar Mühendisliği*

Ders: Sayısal *Görüntü İşleme*

Dönem: *2020 – 2021 (Bahar)*

Öğretim üyesi: *Doç. Dr. Yakup KUTLU*

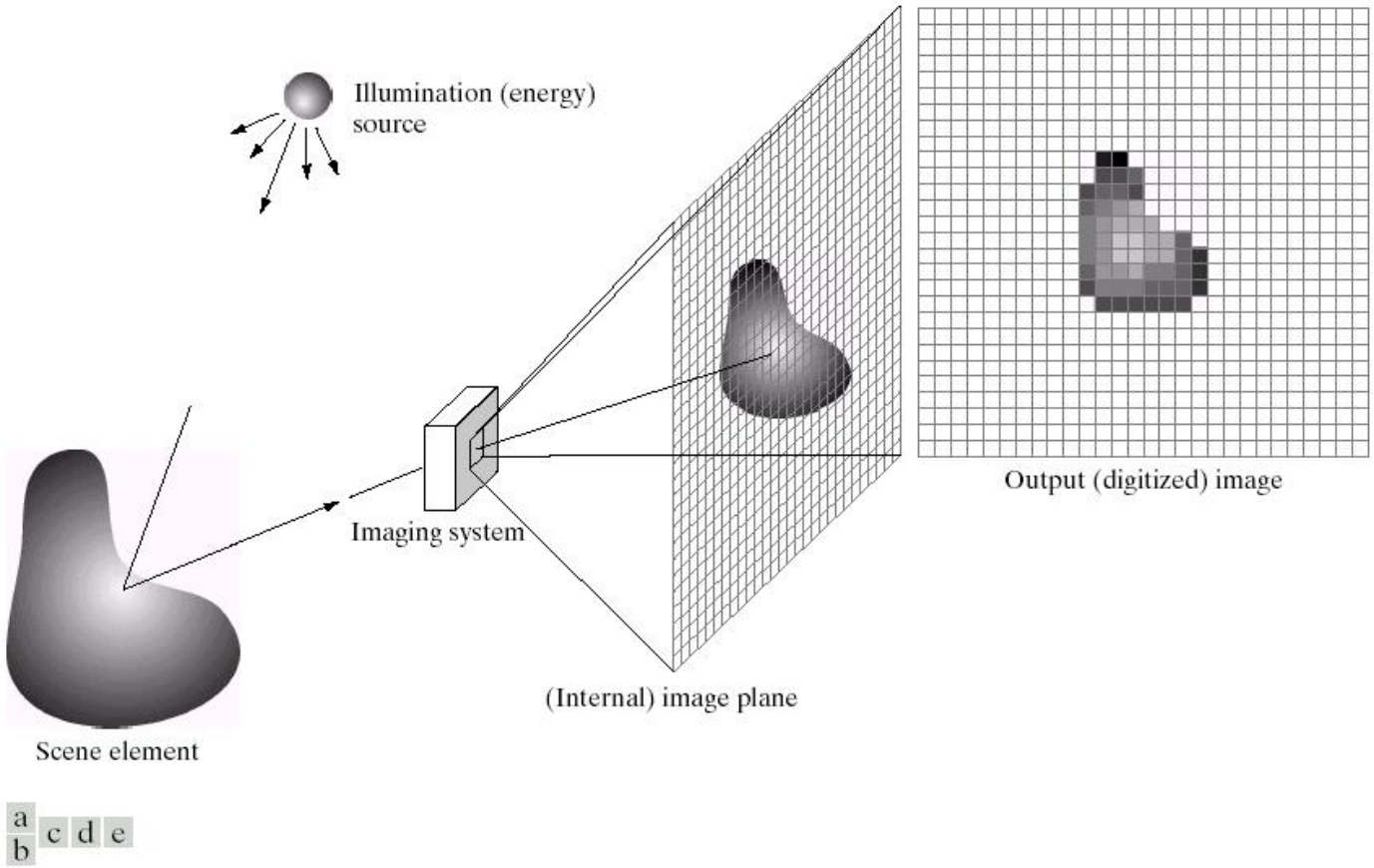
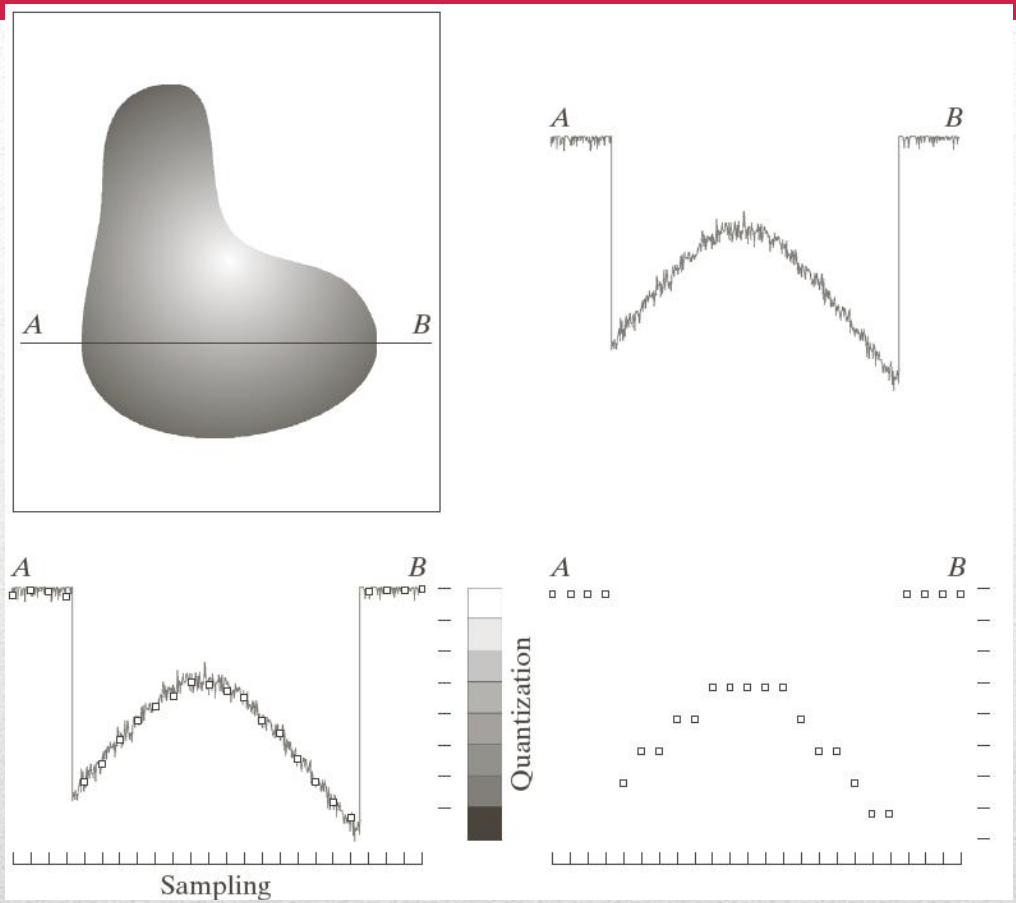
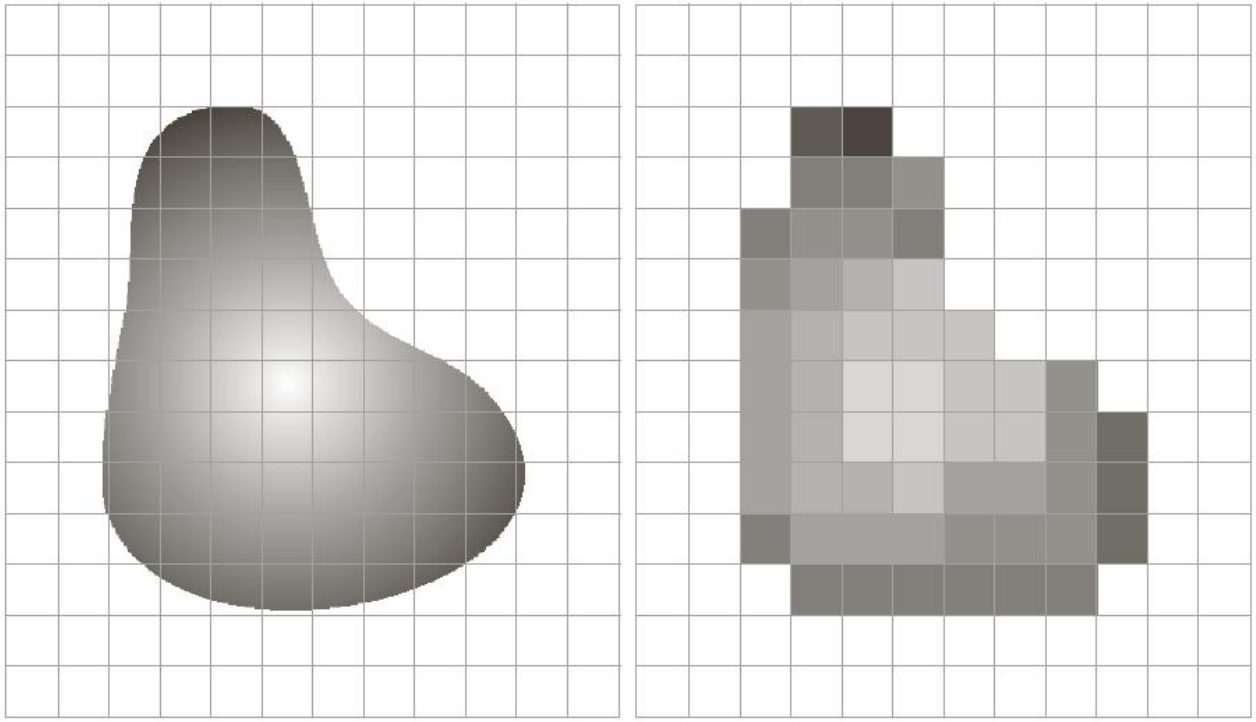


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy ("illumination") source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Görme Süreci

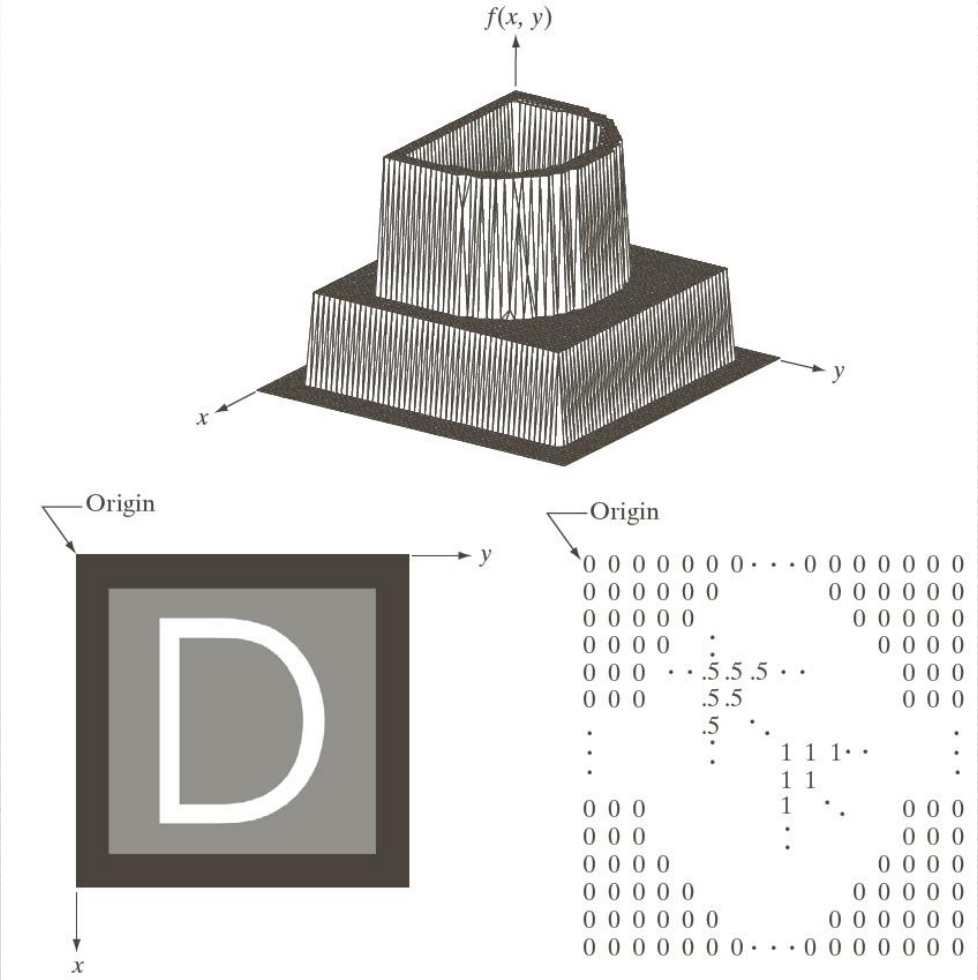


Sampling & Quantization



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.


f(x, y)
x
y
Origin
y
x
Origin

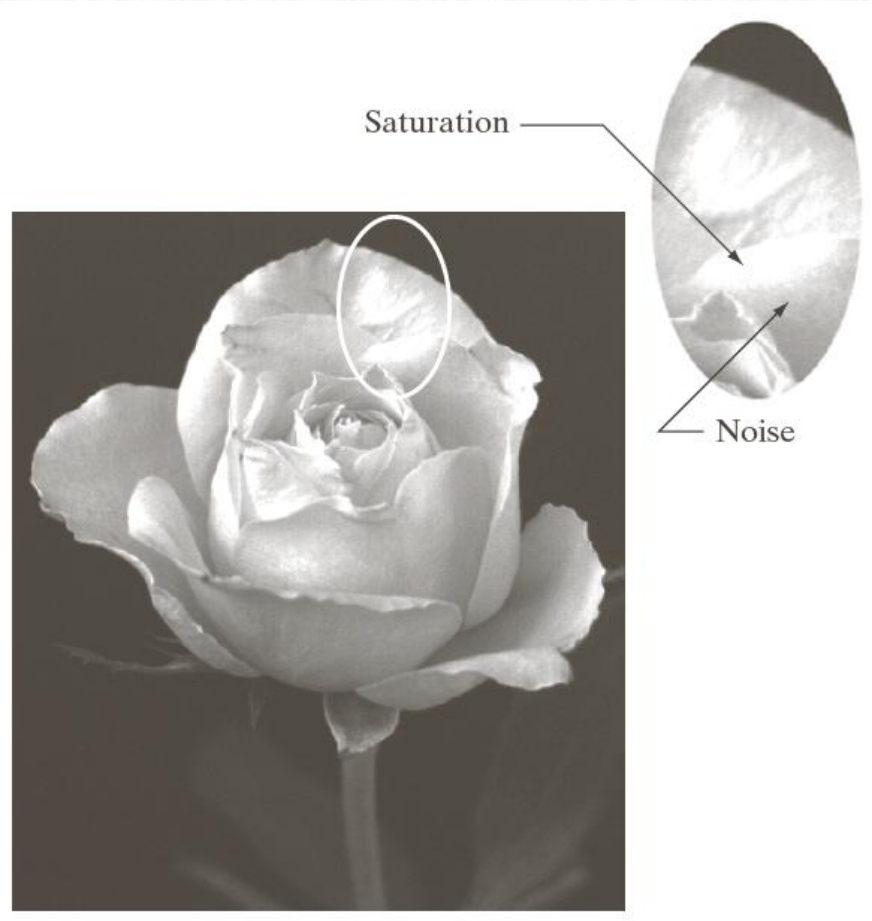


FIGURE 2.19 An image exhibiting saturation and noise. Saturation is the highest value beyond which all intensity levels are clipped (note how the entire saturated area has a high, *constant* intensity level). Noise in this case appears as a grainy texture pattern. Noise, especially in the darker regions of an image (e.g., the stem of the rose) masks the lowest detectable true intensity level.

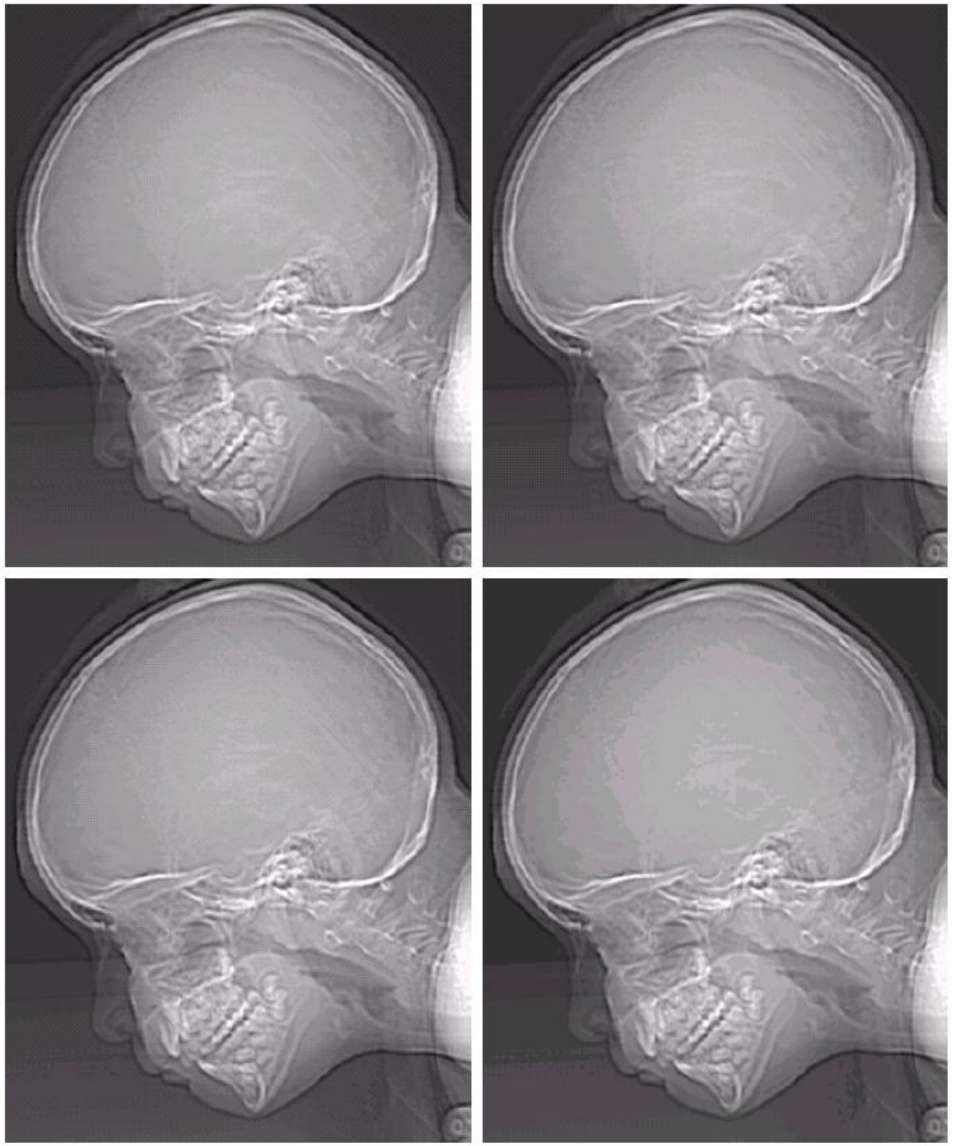
- Spatial (yersel) çözünürlük, görüntüdeki ayırt edilebilen detayın bir ölçüsüdür. Farklı şekillerde ölçümlenebilir.

- Görüntünün boyutu (size), görüntünün tümü hakkında çok şey ifade etmeyebilir. Örn: 1024x1024 çözünürlüklü bir görüntünün eğer yersel çözünürlüğü bilinmiyorsa çok fazla bir şey ifade etmeyebilir.

- Benzer şekilde, intensity (yoğuluk) çözünürlüğü ise yoğunluk seviyesindeki en ufak ayırt edilebilir farka işaret eder.

Spatial and Intensity Resolution

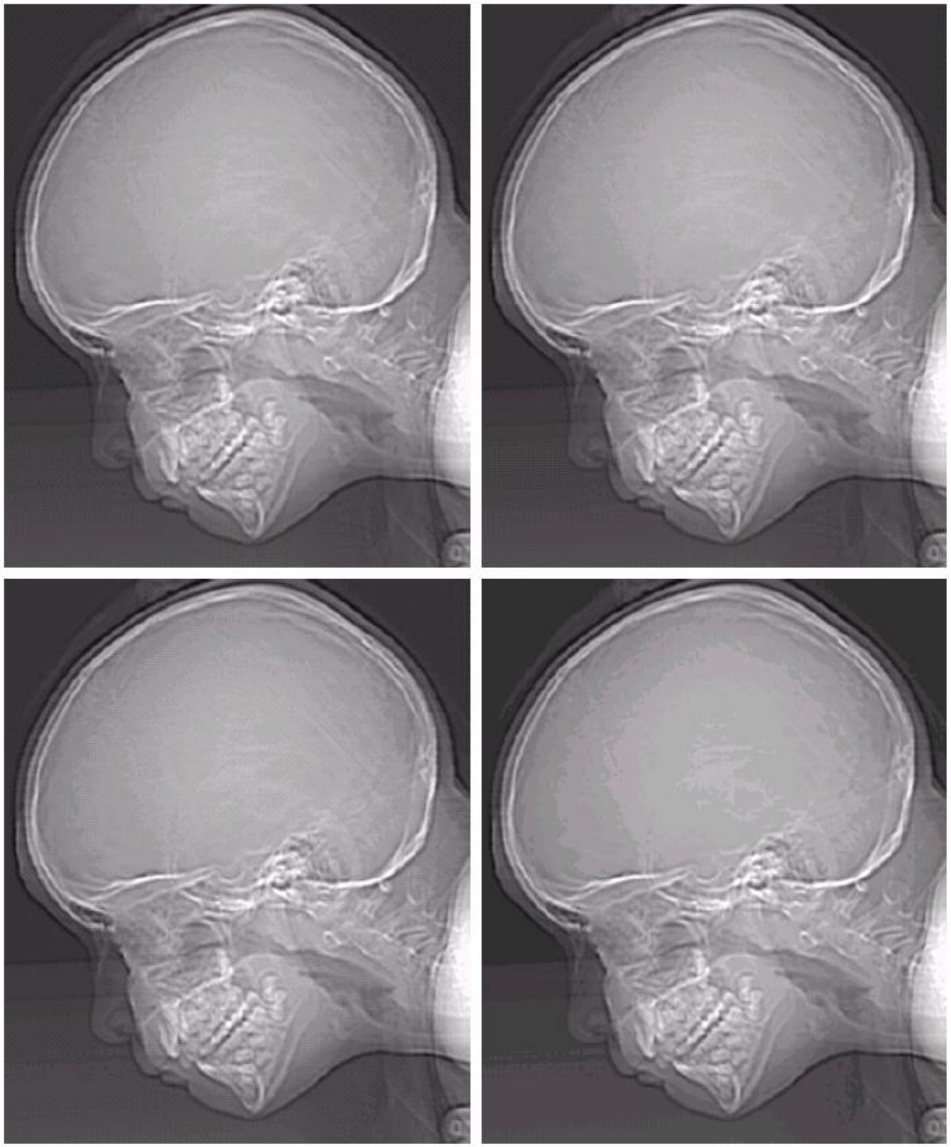
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.



a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Fark nedir ?



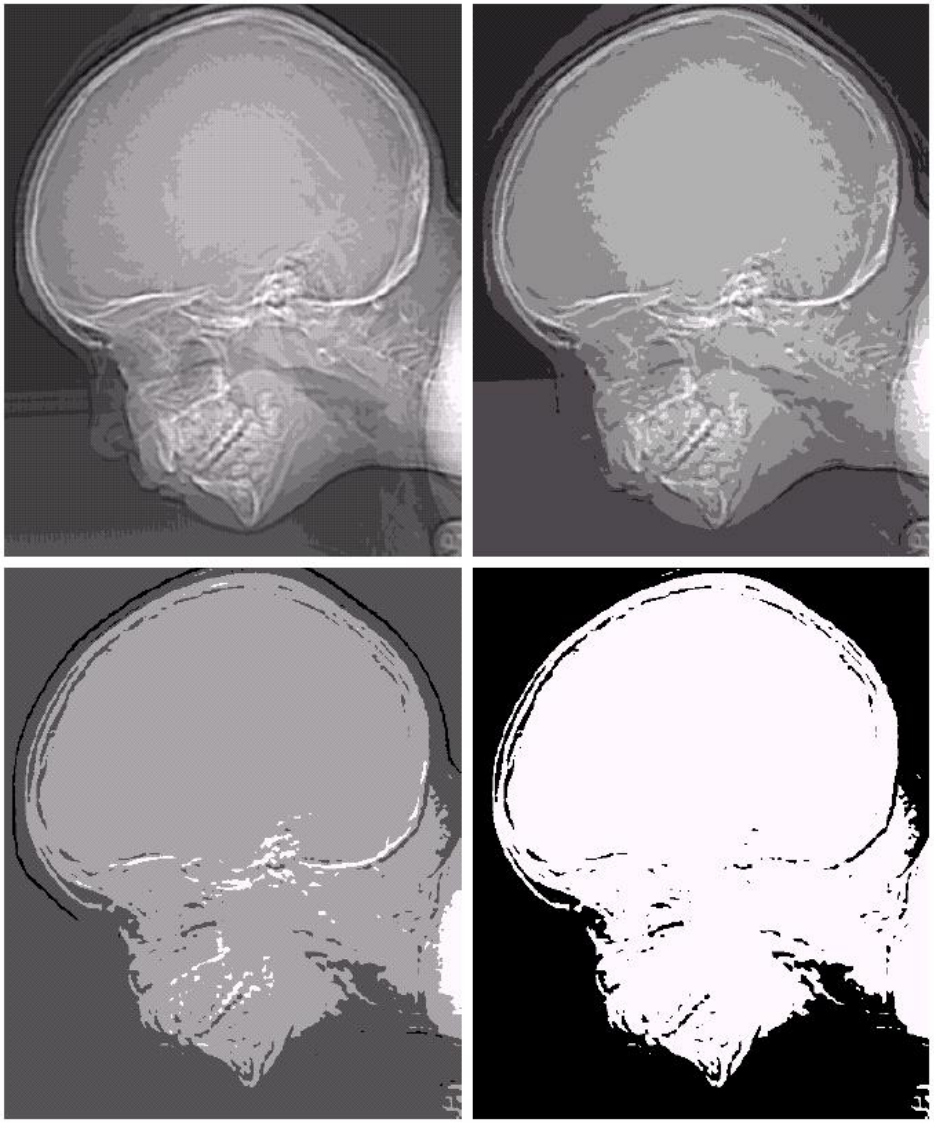
a b
c d

FIGURE 2.21 (a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 gray levels, while keeping the spatial resolution constant.

Temel olarak çözünürlük yeterince yüksek ise fark oluşmaz

e f
g h

FIGURE 2.21 *(Continued)* (e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 gray levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)



- Enterpolasyon, yakınlaştırma (zooming), döndürme (rotation) ve geometrik düzeltme (geometric correction) gibi işlemlerde yaygın bir şekilde kullanılan bir araçtır.

- Temel olarak enterpolasyon, bilinen bilgileri kullanarak bilinmeyen bölgelerdeki değerlerin hesaplanması işlemidir.

Görüntü Enterpolasyonu (Image Interpolation)

- 500x500 boyutlarındaki bir görüntünün 750x750 boyutlarına getirilmek istenmektedir (yaklaşık 1.5 kat büyütülmek istenmektedir.).

- Bu işlemin en kolay yolu 750x750 ebatlarında ve piksel genişliği aynı değere sahip olan bir görüntü oluşturmak ve ardından ise orijinal görüntünün üzerine uyacak şekilde ufaltmaktır.

Bu işlemi yaparken ne tip bir sorunla karşılaşılabilir?

Örnek

- Burada, açıkça görülmektedir ki ufaltılan (daraltılan) 750x 750'lik görüntüdeki piksel genişliği orijinal görüntüden daha az olacaktır.
- Bu yeni piksellere parlaklık seviyeleri atanırken literatürdeki farklı yöntemlerden faydalanılır.

- Oluşturulan yeni görüntüdeki her pikselin parlaklık değeri hesaplanırken orijinal görüntüdeki en yakın pikseller dikkate alınarak işlem gerçekleştirilir. Piksellerin yeni parlaklık değerleri atandıktan sonra görüntüyü istenilen büyüklükte genişletiriz ve böylelikle yakınlaştırılmış (zoom edilmiş) görüntümüz ortaya çıkar. Bu yöntem en yakın komşu (nearest neighbor) olarak bilinmektedir.

- En yakın komşu yöntemi, oldukça basit olmasına rağmen, oluşan yeni görüntüde bazı gürültüler ve istenmeyen etkilere neden olduğundan birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirir. Bu yüzden sıklıkla tercih edilmez.

- Yeni piksellerin parlaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem ise bilinear interpolation yöntemidir. Bu yöntemde oluşturulan pikselin parlaklık değeri çevresindeki en yakın 4 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d$$

V (x,y) x,y koordinatlarındaki pikselin parlaklık değeri

Bu denklemdeki 4 adet bilinmeyen sabit (a,b,c,d), (x,y) noktasının en yakın 4 komşusundan elde edilecek 4 farklı eşitlik sonucunda hesaplanır.

Bilinear enterpolasyon daha fazla hesaplama gereksinmesine rağmen bu yöntem ile elde edilen sonuçlar en yakın komşu yöntemine göre daha başarılıdır.

- Üçüncü bir yöntem ise bicubic enterpolasyondur. Bu yöntemde ise yeni pikselin parlaklık değeri orijinal görüntüdeki konumuna en yakın 16 piksel baz alınarak hesaplanır.

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^{3} \sum_{j=0}^{3} a_{ij} x^i y^j$$

a b c
d e f

FIGURE 2.24 (a) Image reduced to 72 dpi and zoomed back to its original size (3692 × 2812 pixels) using nearest neighbor interpolation. This figure is the same as Fig. 2.20(d). (b) Image shrunk and zoomed using bilinear interpolation. (c) Same as (b) but using bicubic interpolation. (d)–(f) Same sequence, but shrinking down to 150 dpi instead of 72 dpi [Fig. 2.24(d) is the same as Fig. 2.20(c)]. Compare Figs. 2.24(e) and (f), especially the latter, with the original image in Fig. 2.20(a).

- (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin 4 yatay ve 4 dikey komşusunun koordinatları aşağıdaki gibidir:

$$(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)$$

(x,y) bu piksel seti p noktasının 4 komşusu olarak ifade edilir ve $N_4(p)$ olarak gösterilir.

Pikseller Üzerinde Temel İşlemler (Bir Pikselin Komşuları)

- Yine, (x,y) koordinatlarındaki bir p pikselin çapraz komşularının koordinatları:

$$(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$$

olup $N_D(p)$ olarak ifade edilir. Bu çapraz komşular dörtlü komşular ile birlikte 8'li komşuları oluştururlar ve $N_8(p)$ olarak ifade edilirler.

- Matris İşlemleri
- Linear ve Non-Linear İşlemler
- Aritmetik İşlemler
- Kümesel ve Mantıksal İşlemler
- Yersel İşlemler
- Vektör ve Matris Operasyonları
- Görüntü Dönüşümleri

Sayısal Görüntü İşlemede Kullanılan Matematiksel Araçlar

- Daha önce de belirtildiği gibi sayısal görüntünün ifade edilmesinde matris tabanlı gösterim kullanılmaktadır.

- İki görüntü üzerinde gerçekleştirilen matris tabanlı işlemler iki görüntünün pikselleri üzerinde teker teker gerçekleştirilir.

Matris İşlemleri

- Örneğin 2x2 boyutlu bir görüntü üzerinde gerçekleştirilen işlem sonucu oluşan dizi aşağıdaki gibi ifade edilir:

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

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

Linear ve Non-Linear İşlemle

- Girdi f(x,y) görüntüsünü alan ve çıktı görüntüsü olarak g(x,y) görüntüsünü üreten H genel operatörünü göz önüne alalım.

$$H\left[f(x, y)\right] = g(x, y)$$

Eğer H aşağıdaki şartı sağlıyorsa doğrusal (linear) bir operatördür.

$$\begin{aligned} H\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] &= a_i H\left[f_i(x, y)\right] + a_j H\left[f_j(x, y)\right] \\ &= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y) \end{aligned}$$

- Örneğin, H'nin toplam operatörü olduğunu düşünelim. Bu operatörün lineer olup olmadığını test etmek için, sol taraftan işlem yapılmaya başlar ve bu sol tarafın sağ tarafa eşit olduğu ispatlanmaya çalışılır.

$$\sum\left[a_i f_i(x, y) + a_j f_j(x, y)\right] = \sum a_i f_i(x, y) + \sum a_j f_j(x, y)$$

$$= a_i \sum f_i(x, y) + a_j \sum f_j(x, y)$$

$$= a_i g_i(x, y) + a_j g_j(x, y)$$

- Diğer bir örnek ise Max için verilsin. Bu operatör ise verilen piksel grubunun içinde değer max olanını bulmaktadır. Elimizde ise aşağıdaki şekilde 2 tane görüntü olsun.

$$f_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad f_2 = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

Katsayılarımız olan a1 ve a2 ise sırasıyla 1 ve -1 olsun.

- Doğrusallığı test etmek için yine sol taraftan işleme başlarız.

$$\max\left\{(1)\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix} + (-1)\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = \max\left\{\begin{bmatrix}-6 & -3\\ -2 & -4\end{bmatrix}\right\}$$

$$\boxed{= -2}$$

Test işlemini sağdan yapmaya başladığımızda ise:

$$(1)\max\left\{\begin{bmatrix}0 & 2\\ 2 & 3\end{bmatrix}\right\} + (-1)\max\left\{\begin{bmatrix}6 & 5\\ 4 & 7\end{bmatrix}\right\} = 3 + (-1)7$$

$$\boxed{= -4}$$

Max operatörü için doğrusal bir durumdan bahsetmek mümkün değildir.

- Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen temel aritmetiksel işlemler:

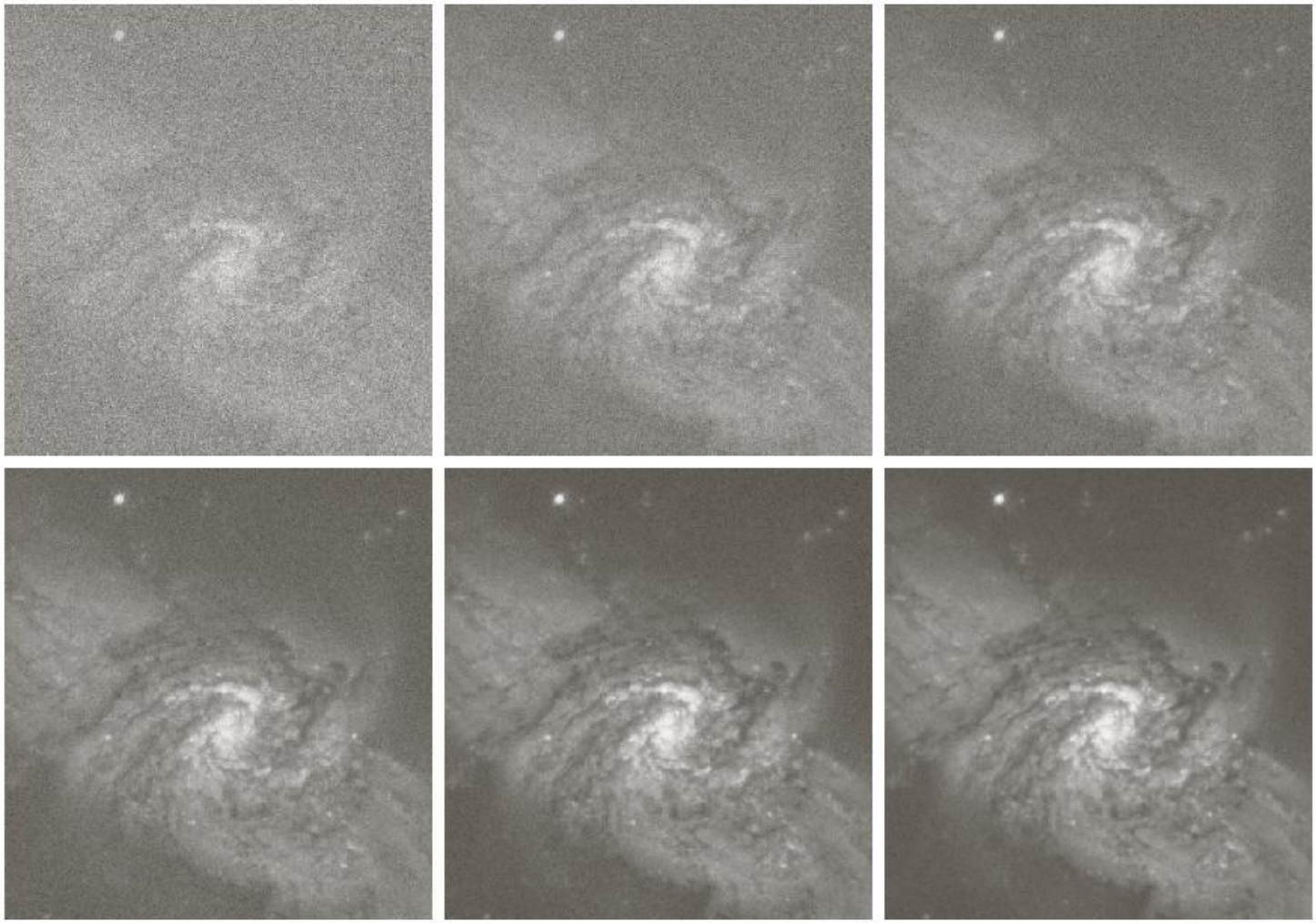
$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

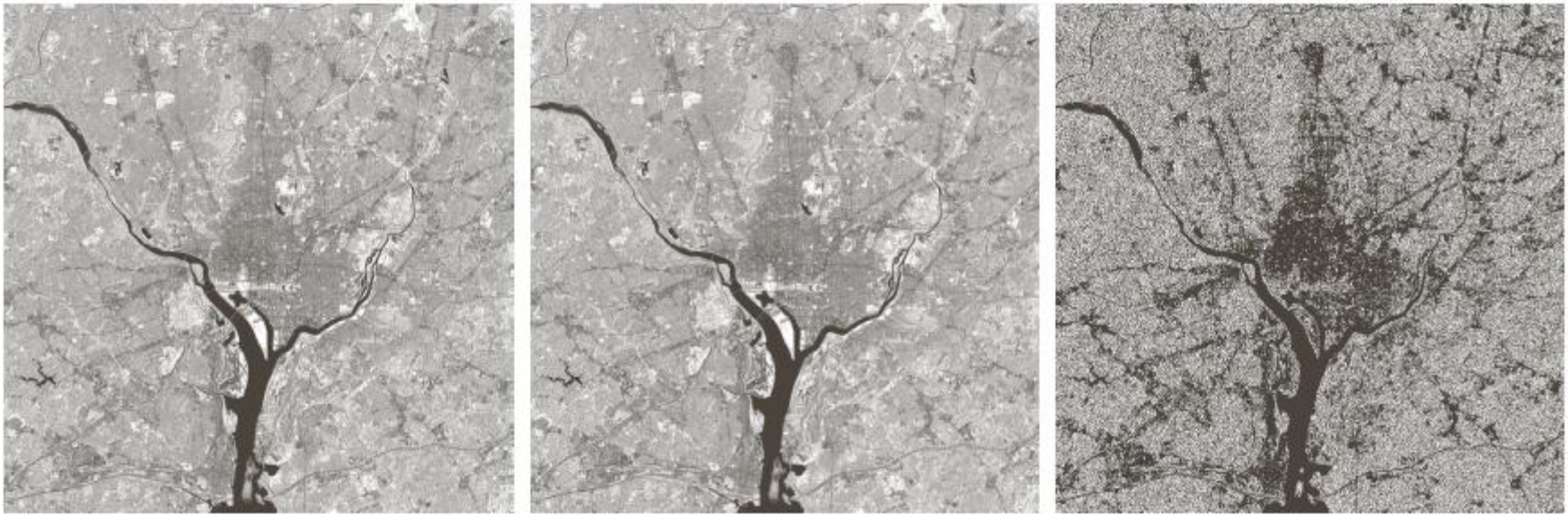
$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

Aritmetik İşlemler



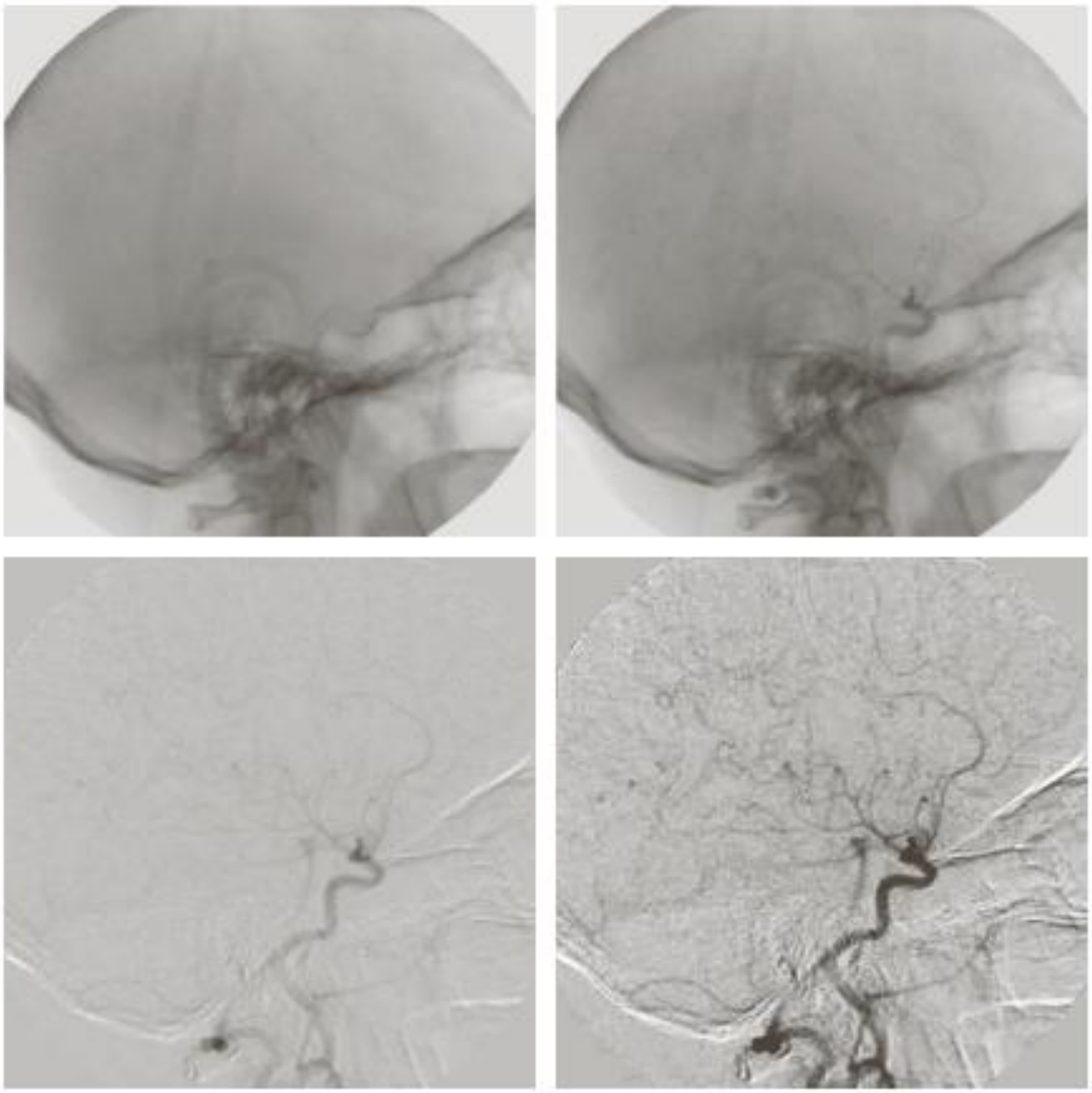
a b c
d e f

FIGURE 2.26 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)–(f) Results of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. (Original image courtesy of NASA.)



a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

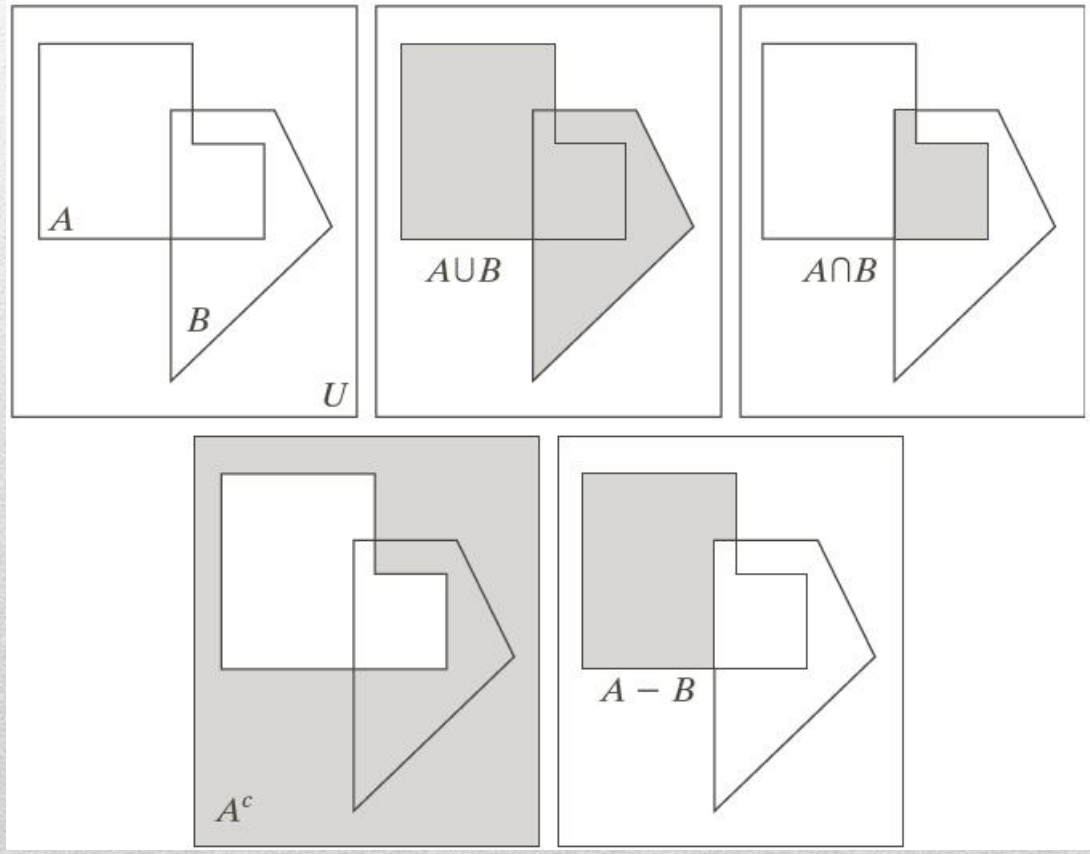


a b
c d

FIGURE 2.28 Digital subtraction angiography. (a) Mask image. (b) A live image. (c) Difference between (a) and (b). (d) Enhanced difference image. (Figures (a) and (b) courtesy of The Image Sciences Institute, University Medical Center, Utrecht, The Netherlands.)

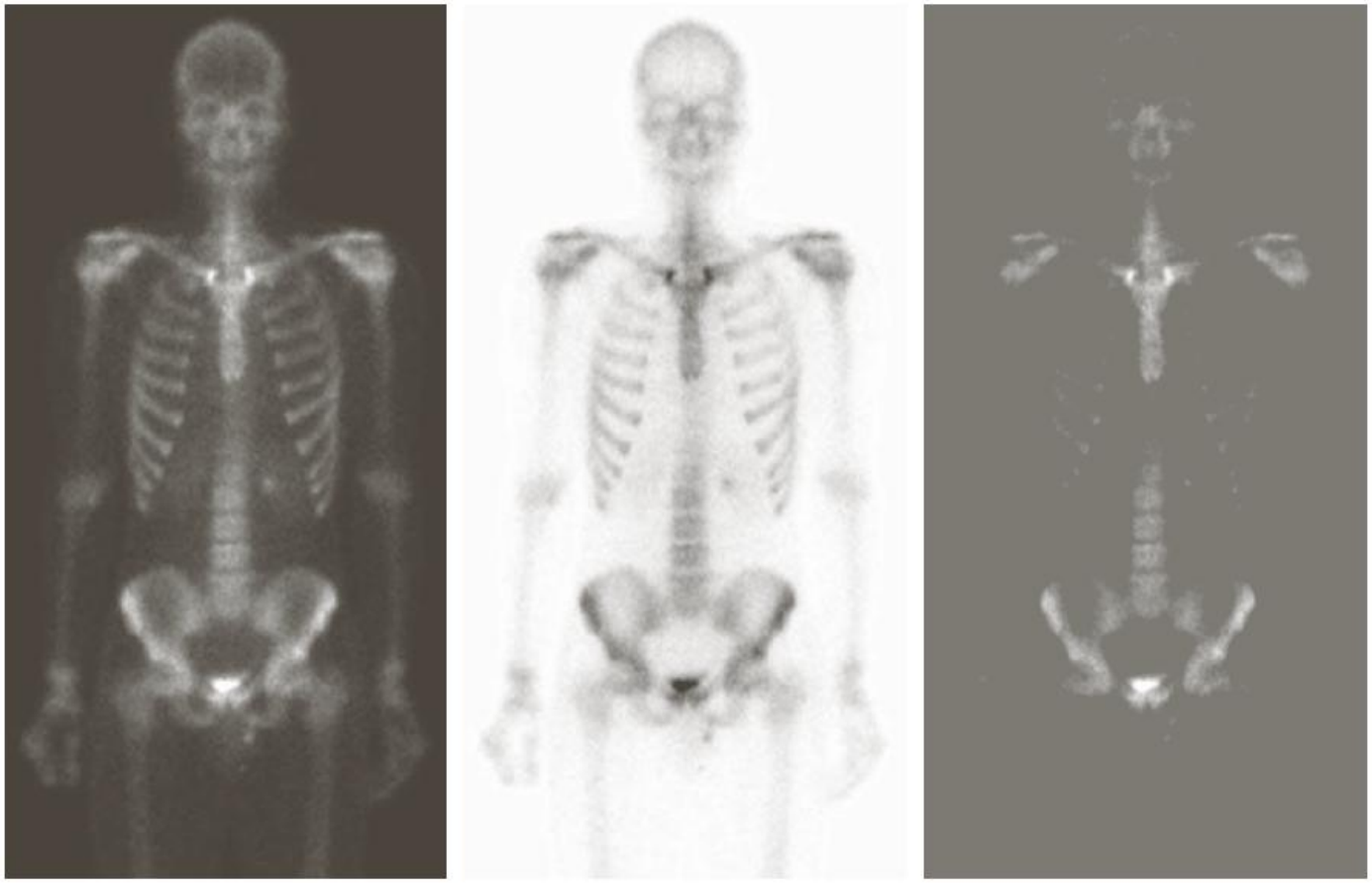
a b c

FIGURE 2.30 (a) Digital dental X-ray image. (b) ROI mask for isolating teeth with fillings (white corresponds to 1 and black corresponds to 0). (c) Product of (a) and (b).



a b c
d e

FIGURE 2.31 (a) Two sets of coordinates, A and B, in 2-D space. (b) The union of A and B. (c) The intersection of A and B. (d) The complement of A. (e) The difference between A and B. In (b)–(e) the shaded areas represent the member of the set operation indicated.



a b c

FIGURE 2.32 Set operations involving gray-scale images. (a) Original image. (b) Image negative obtained using set complementation. (c) The union of (a) and a constant image. (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)

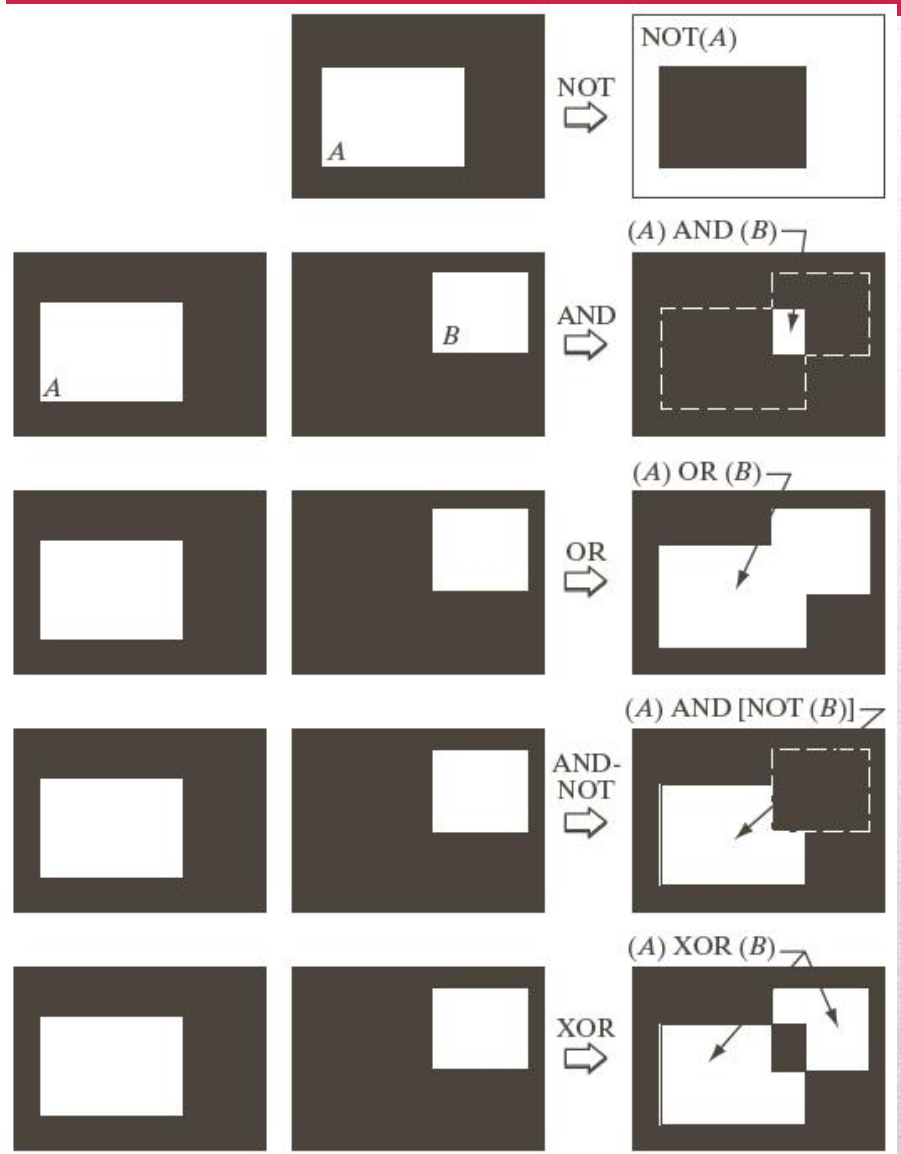


FIGURE 2.33 Illustration of logical operations involving foreground (white) pixels. Black represents binary 0s and white binary 1s. The dashed lines are shown for reference only. They are not part of the result.

Yersel işlemler, görüntü üzerindeki pikseller üzerinde gerçekleştirilirler. Yersel işlemleri 3 kategoride toplamak mümkündür:

- Tek piksel ile Yapılan İşlemler (Single Pixel Operations)
- Komşuluk İşlemleri (Neighborhood Operations)
- Geometrik Yersel Dönüşümler (Geometric Spatial Transformations)

Spatial (Yersel) İşlemler

Single Pixel Operations

- Sayısal bir görüntü üzerinde yapılacak en basit işlemlerden bir tanesi, piksellerin parlaklık değerlerinin değiştirilmesidir. Bu tür bir işlem bir dönüşüm fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$s = T(z)$$

z Orijinal görüntüdeki pikselin yoğunluğu

s İşlenerek elde edilen yeni görüntüdeki karşılık gelen pikselin yeni yoğunluk değeri

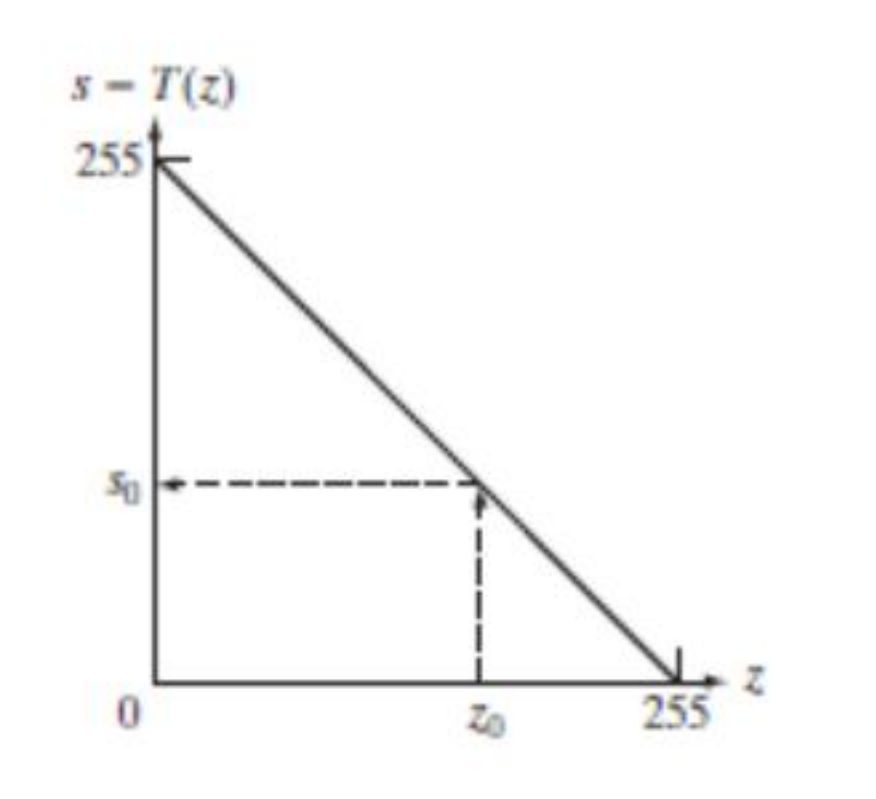


FIGURE 2.34 Intensity transformation function used to obtain the negative of an 8-bit image. The dashed arrows show transformation of an arbitrary input intensity value z_0 into its corresponding output value s_0.

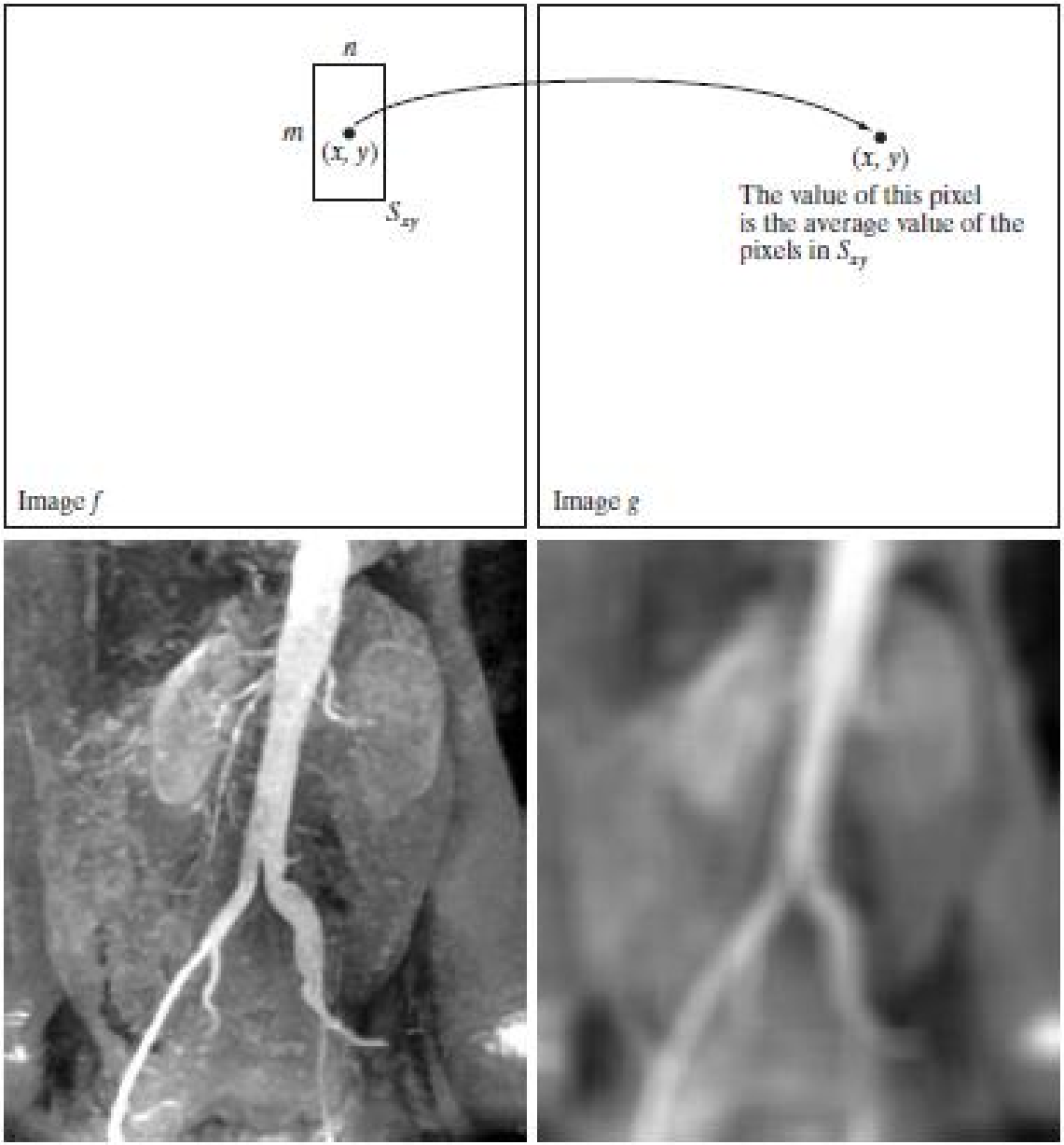
- S_{xy}, bir f görüntüsündeki keyfi bir x,y noktasının koordinat setini temsil etsin. Komşuluk işlemleri, girdi görüntüsünün(f), çıktı görüntüsünde (g) karşılık gelen pikselini üretir.

- G görüntüsündeki yeni pikselin parlaklık değeri de girdi görüntüsündeki S_{xy} deki koordinat bilgileri baz alınarak üretilir.

Neighborhood Operations

a b
c d

FIGURE 2.35 Local averaging using neighborhood processing. The procedure is illustrated in (a) and (b) for a rectangular neighborhood. (c) The aortic angiogram discussed in Section 1.3.2. (d) The result of using Eq. (2.6-21) with $m = n = 41$. The images are of size 790×686 pixels.



Geometrik dönüşümler, bir görüntüdeki pikseller arasındaki yersel ilişkiyi (spatial relationship) düzenler. Sayısal görüntü işlemede, geometrik dönüşümler 2 temel işlemden oluşurlar.

- Koordinatların yersel dönüşümleri (Spatial Transformation of Coordinates)
- Yoğunluk Enterpolasyonu (Intensity Interpolation)

Geometrik Yersel Dönüşümler

Koordinatların dönüşümü :

$$(x, y) = T\{(v, w)\}$$

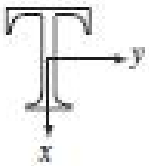
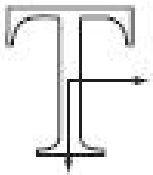
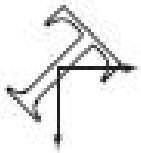
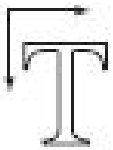
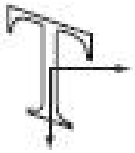
ile ifade edilir. (v,w) orijinal görüntüdeki piksel koordinatlarını ; (x,y) ise dönüşüm sağlanan görüntüdeki karşılık gelen piksel koordinatlarını belirtmektedir.

Literatürde, en yaygın olarak kullanılan yersel dönüşüm affine dönüşümü (affine transform)' dür (Wolberg,1990). Bu dönüşümü aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:

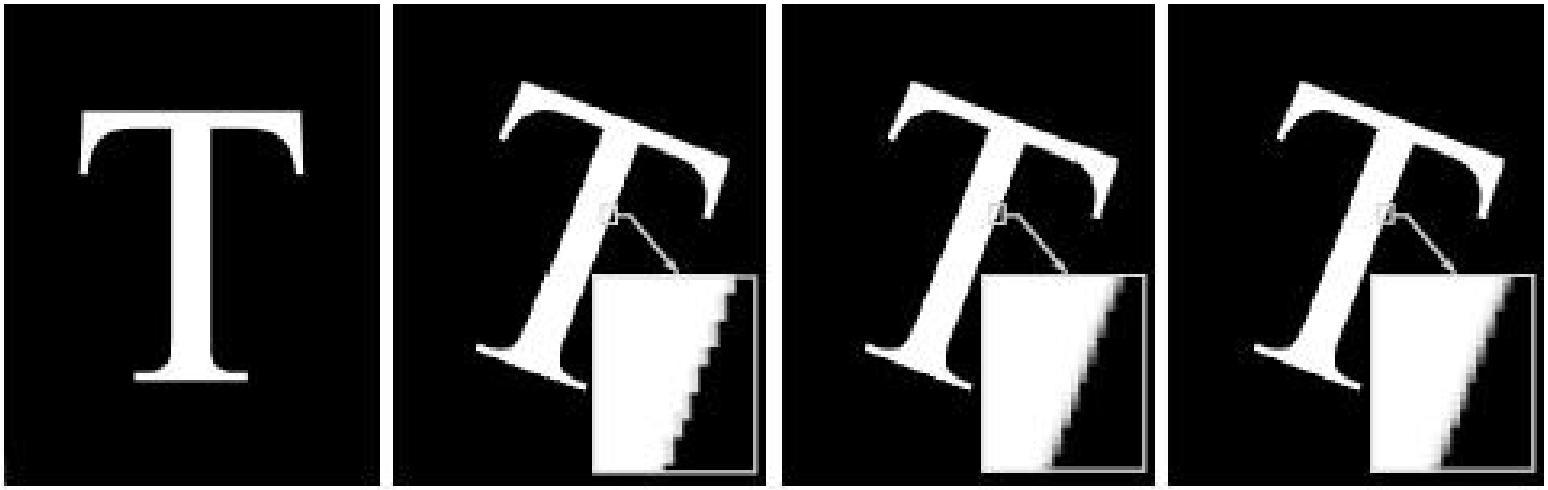
$$[x \;\; y \;\; 1] = [v \;\; w \;\; 1]\,\mathbf{T} = [v \;\; w \;\; 1]\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

TABLE 2.2

Affine transformations based on Eq. (2.6-23).

Transformation Name	Affine Matrix, T	Coordinate Equations	Example
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Scaling	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Rotation	$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\sin\theta$ $y = v\cos\theta + w\sin\theta$	
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

- Bu dönüşüm işlemi gerçekleştirildikten sonraki aşama ise daha evvel bahsedilmiş yöntemler ile (nearest neighbor, bilinear ,bicubic) yoğunluk enterpolasyonun gerçekleştirilmesidir.

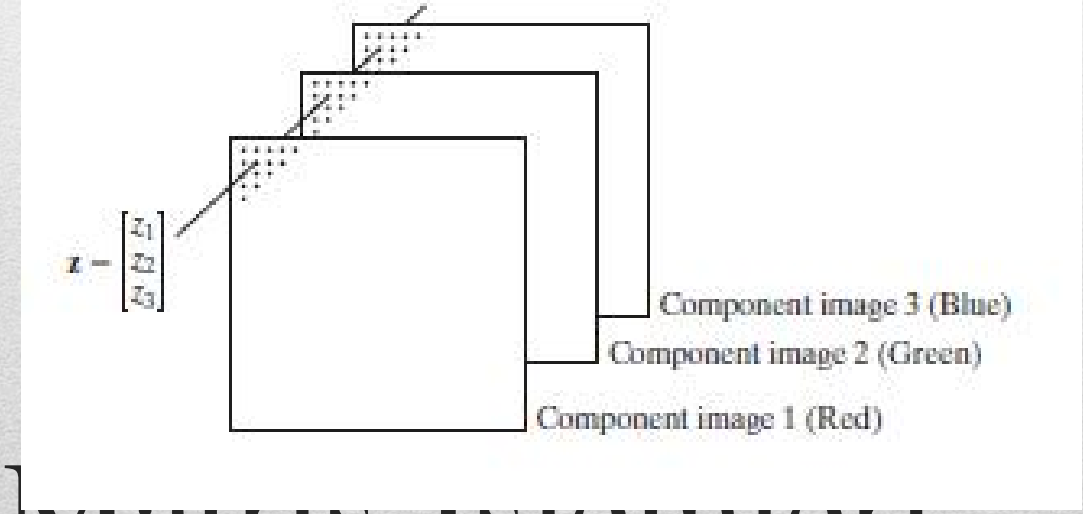


a b c d

FIGURE 2.36 (a) A 300 dpi image of the letter T. (b) Image rotated 21° using nearest neighbor interpolation to assign intensity values to the spatially transformed pixels. (c) Image rotated 21° using bilinear interpolation. (d) Image rotated 21° using bicubic interpolation. The enlarged sections show edge detail for the three interpolation approaches.

RGB ortamındaki her görüntü elemanın (pikselin) 3 temel bileşeni vardır:

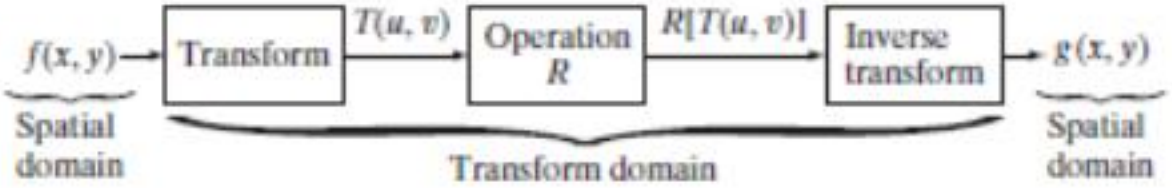
$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix}$$



Vektör Matris İşlemleri

- Buraya kadar bahsedilen görüntü işleme yöntemleri yersel ortamdaydı (spatial domain). Fakat farklı görüntü operasyonları bu ortamdan farklı bir ortamda da işletilebilir.

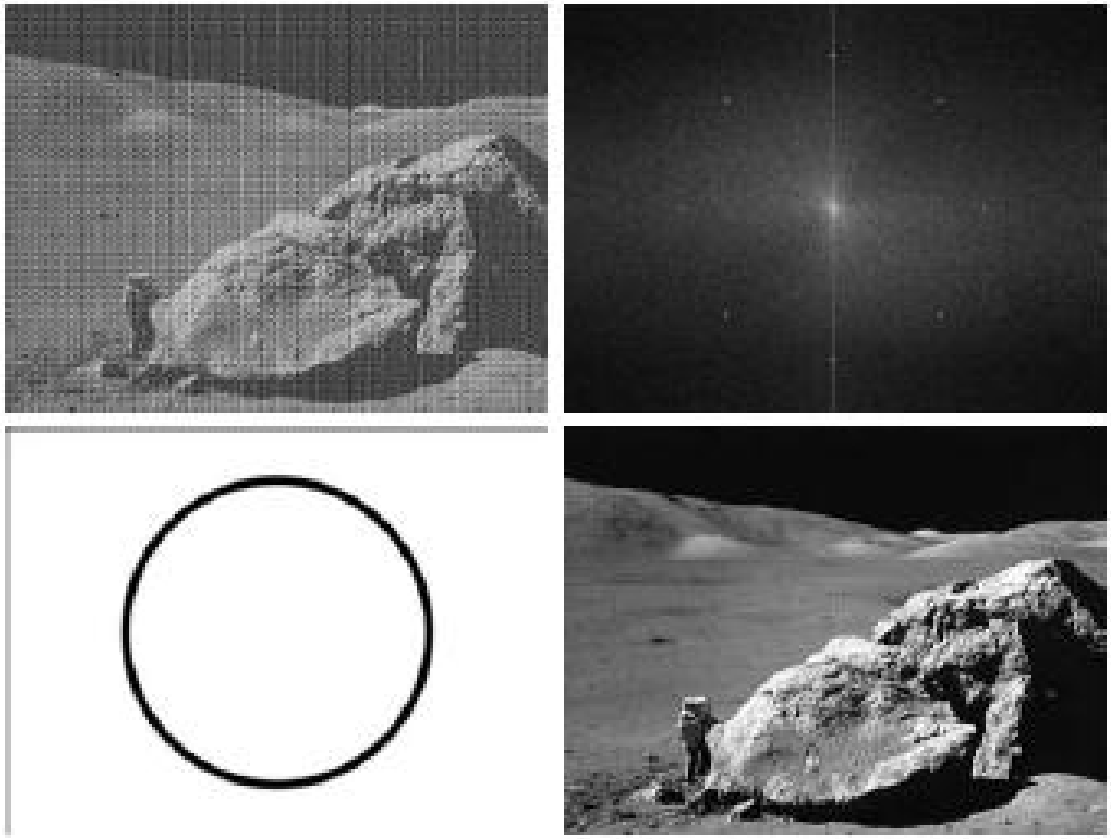
FIGURE 2.39 General approach for operating in the linear transform domain.



Görüntü Dönüşümleri

a b
c d

FIGURE 2.40
(a) Image corrupted by sinusoidal interference. (b) Magnitude of the Fourier transform showing the bursts of energy responsible for the interference. (c) Mask used to eliminate the energy bursts. (d) Result of computing the inverse of the modified Fourier transform. (Original image courtesy of NASA.)



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ