

# Veri İletişimi

# Data Communications

Suat ÖZDEMİR

Gazi Üniversitesi

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

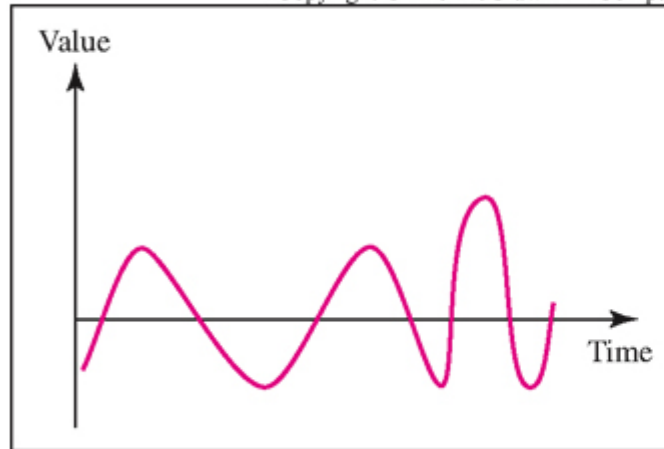
# Analog ve sayısal sinyal

- Fiziksel katmanın önemli işlevlerinden birisi iletim ortamında sinyaller ile veriyi taşımaktır.
- Analog veri sürekli bilgiyi ifade eder
  - Konuşma
- Sayısal veri ayrık durumlu bilgiyi ifade eder
  - Metin

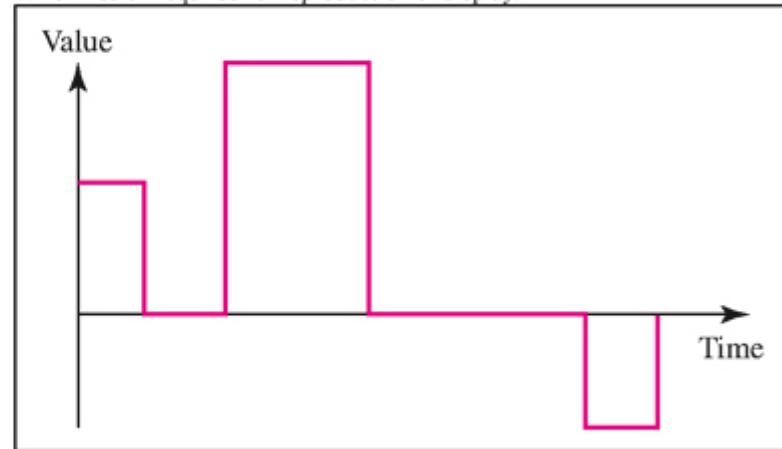
# Analog ve sayısal sinyal

- Analog sinyal belirli bir zaman aralığında sonsuz değere sahiptir (continuous).
- Sayısal sinyal sınırlı sayıda değere sahiptir. Genellikle 0 ve 1 değerlerini ifade eder (ayrık/discrete).

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



a. Analog signal



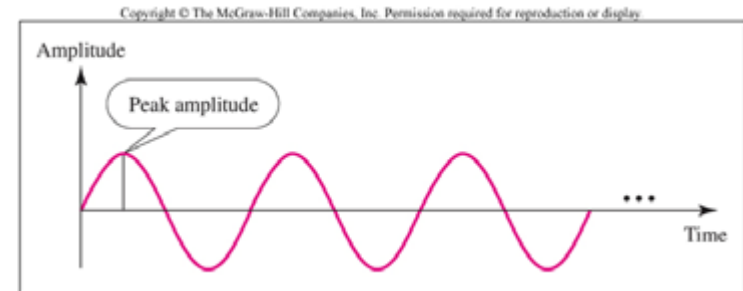
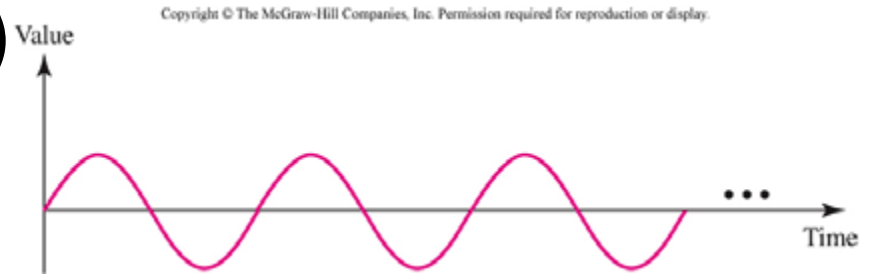
b. Digital signal

# Analog ve sayısal sinyal

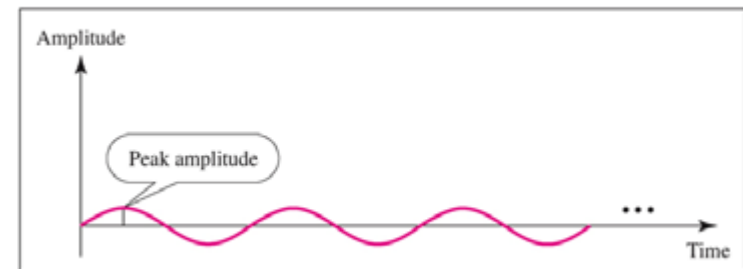
- **Periyodik sinyal** belirli bir zaman aralığında sürekli aynı işareti tekrarlar.
- Periyodik sinyalde bir işaret için zaman aralığı periyot ve tekrar edilen işaret cycle olarak adlandırılır. **Frekans** 1 saniyedeki tekrar sayısıdır.
- Aperiodyk sinyal tekrarlayan işaret bulundurmaz.
- Aperiodyk sinyallerde periyot süresi sonsuzdur, frekans değeri sıfırdır.

# Periyodik analog sinyal

- Periyodik analog sinyaller basit ve birleşik (composite) olarak iki gruptur.
- Basit analog sinyal olan sinüs sinyali daha basit sinyallere ayrıştırılamaz.
- Birleşik analog sinyaller basit sinüs sinyalleriyle oluşturulabilir.
- Bir sinüs sinyali genlik (amplitude), frekans (frequency) ve faz (phase) ile ifade edilir.



a. A signal with high peak amplitude



b. A signal with low peak amplitude

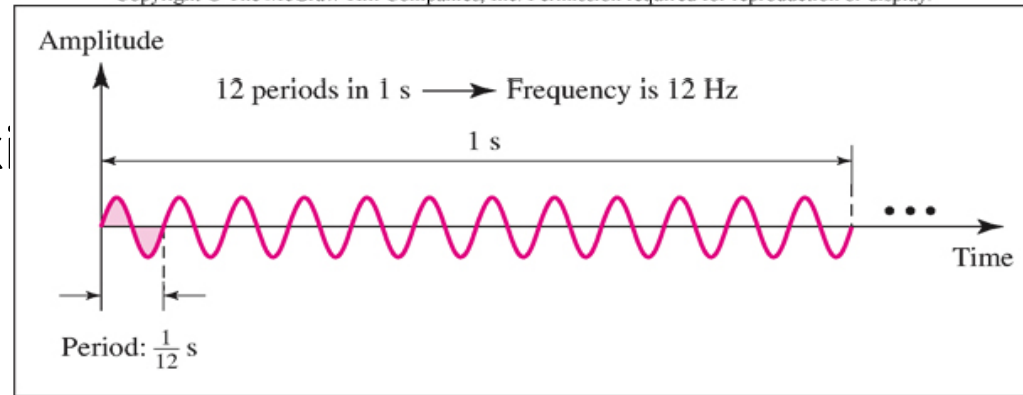
# Periyodik analog sinyal

- Periyod sinyalin bir cycle tamamlaması için geçen süreyi ve frekans 1 saniyedeki periyod sayısını gösterir.

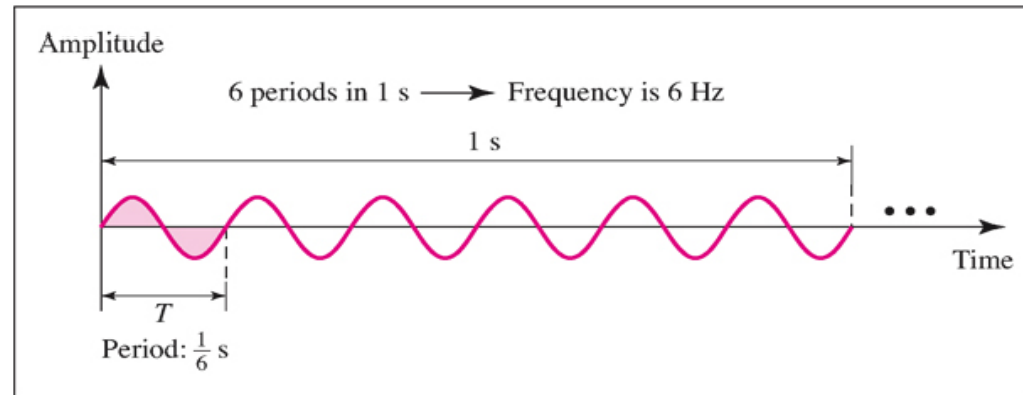
$$f = 1 / T, T = 1 / f$$

- Periyod (s) ile frekans Hertz (Hz) ile ifade edilir.
- Hiç değişmeyen sinyalin frekansı 0 ve periyodu sonsuzdur.
- Ani değişen sinyalin periyodu 0 ve frekansı sonsuzdur.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



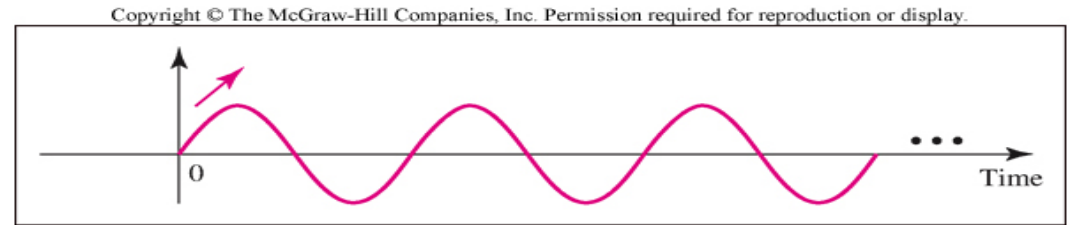
a. A signal with a frequency of 12 Hz



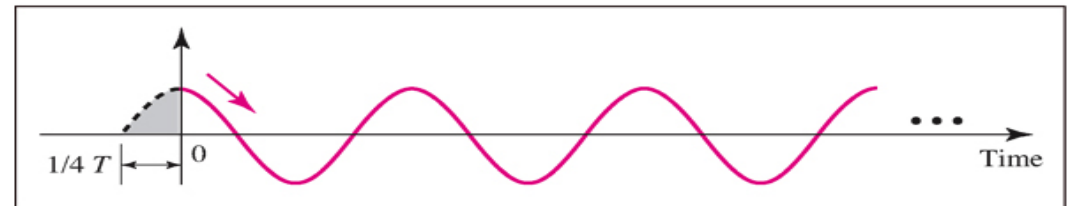
b. A signal with a frequency of 6 Hz

# Periyodik analog sinyal

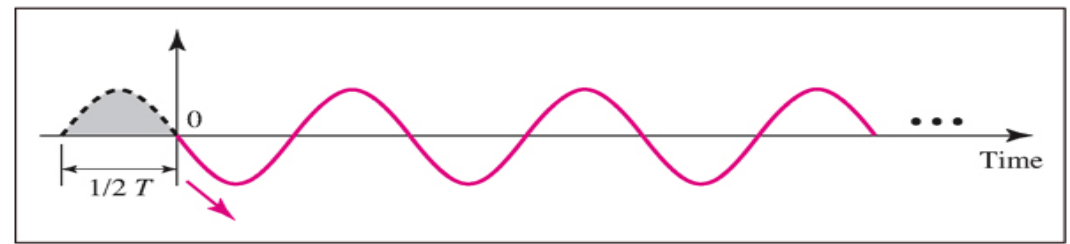
- Faz (phase), zaman  $t=0$  iken sinyalin pozisyonunu gösterir.
- Yanda  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $180^\circ$  faz açısına sahip sinyaller görülmektedir.



a. 0 degrees



b. 90 degrees

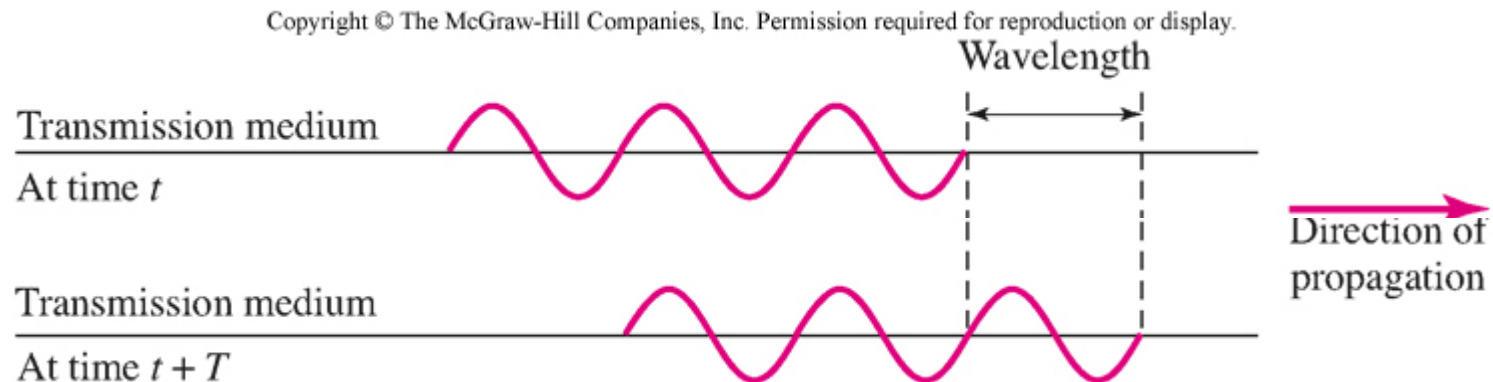


c. 180 degrees

# Periyodik analog sinyal

- Dalga boyu (wavelength), sinyalin bir periyotta aldığı yolun uzunluğudur. Birimi metredir.

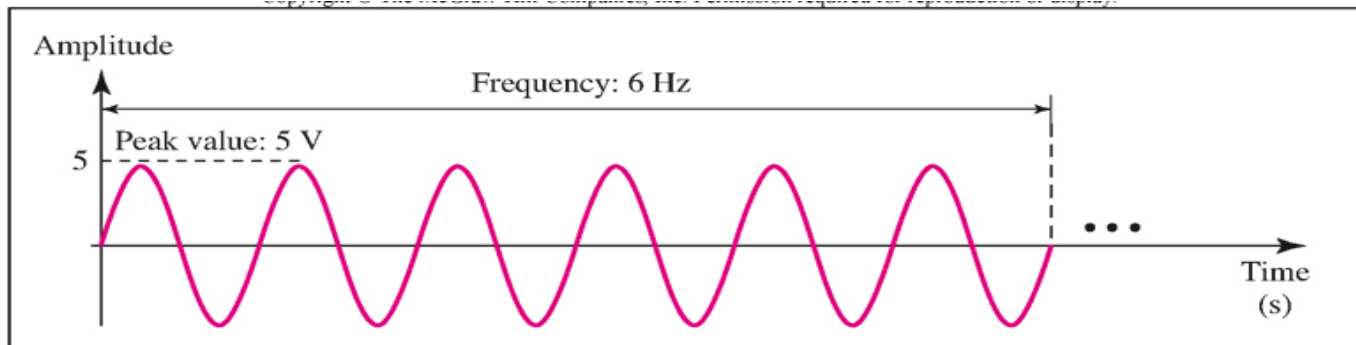
$$\lambda = c / f = c \cdot T \quad (c=3 \times 10^8 \text{ m/s})$$



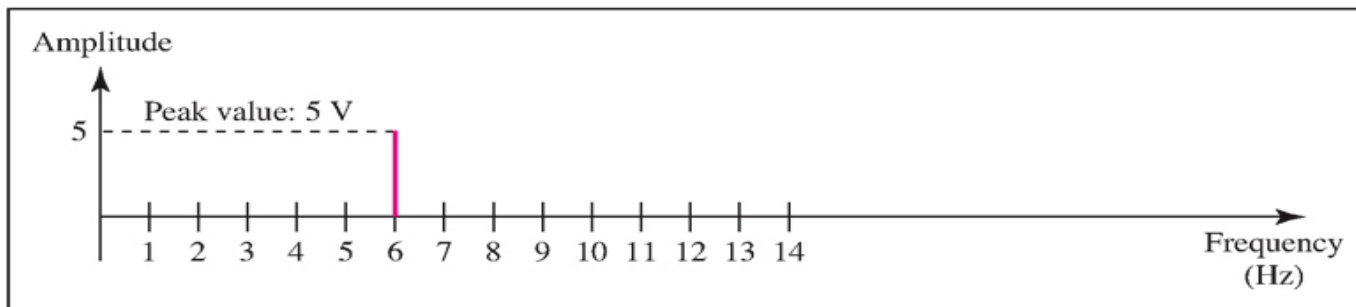


# Periyodik analog sinyal

- Zaman düzlemi (time-domain) grafiği sinyalin zamana göre değişimini gösterir.
- Frekans düzlemi (frequency-domain) frekans ve genlik arasındaki ilişkiyi gösterir.



a. A sine wave in the time domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

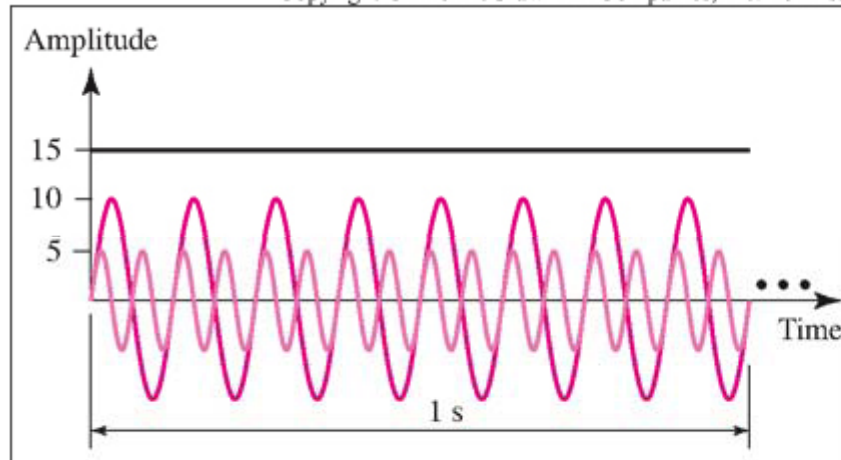


b. The same sine wave in the frequency domain (peak value: 5 V, frequency: 6 Hz)

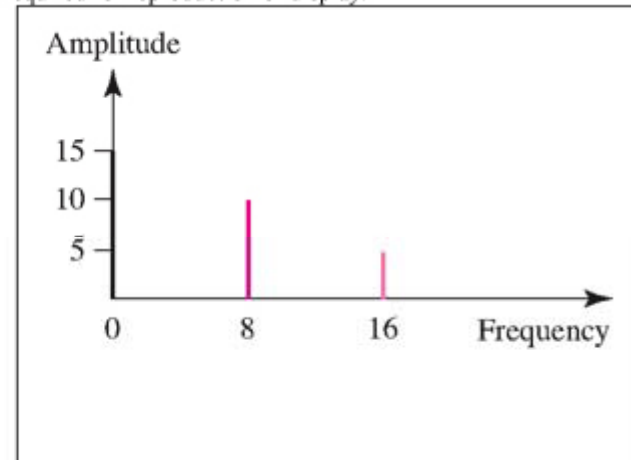
# Periyodik analog sinyal

- Şekilde iki sinüs sinyali ile DC sinyalin frekans düzleminde gösterimi verilmiştir.
- Şekildeki DC sinyalin frekansı 0 ve genliği 15 tir.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



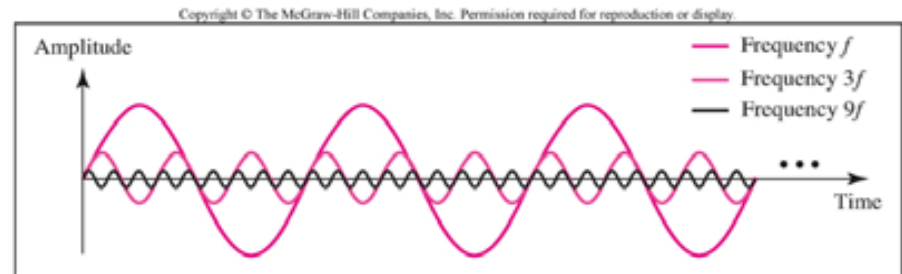
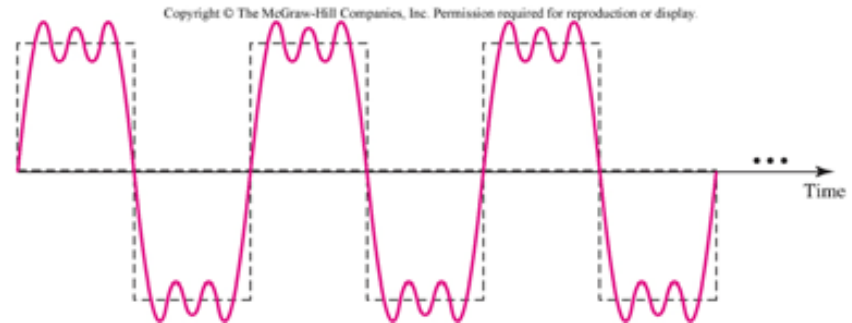
a. Time-domain representation of three sine waves with frequencies 0, 8, and 16



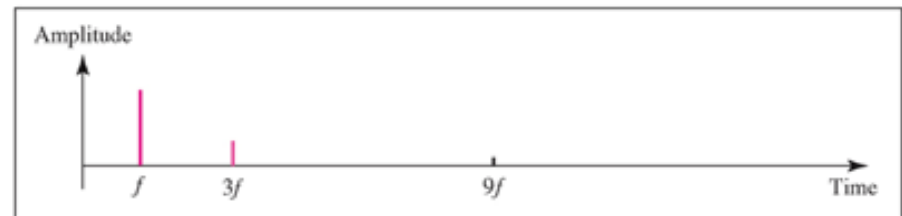
b. Frequency-domain representation of the same three signals

# Periyodik analog sinyal

- Composite sinyal çok sayıda sinüs sinyalinin birleşimiyle oluşur.
- 1900lerde Jean-Baptiste Fourier, herhangi bir composite sinyalin, genliği, frekansı ve fazı farklı basit sinüs sinyallerinin birleşimi olduğunu göstermiştir.
- $f$ , *fundemantal (temel) frekans* veya 1.harmonik,  $3f$ , 3.harmonik, ve  $9f$ , 9.harmoniktir.



a. Time-domain decomposition of a composite signal

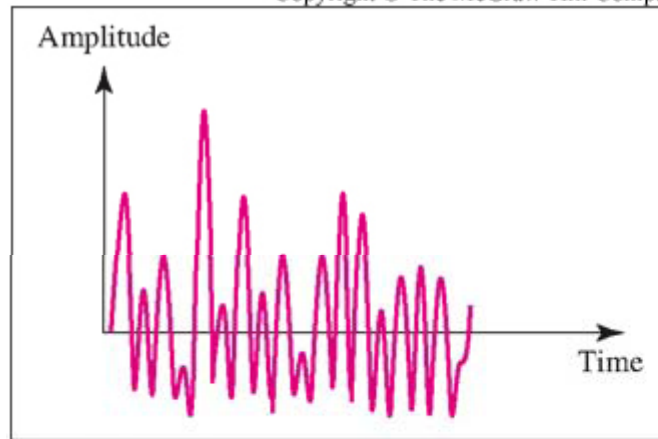


b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

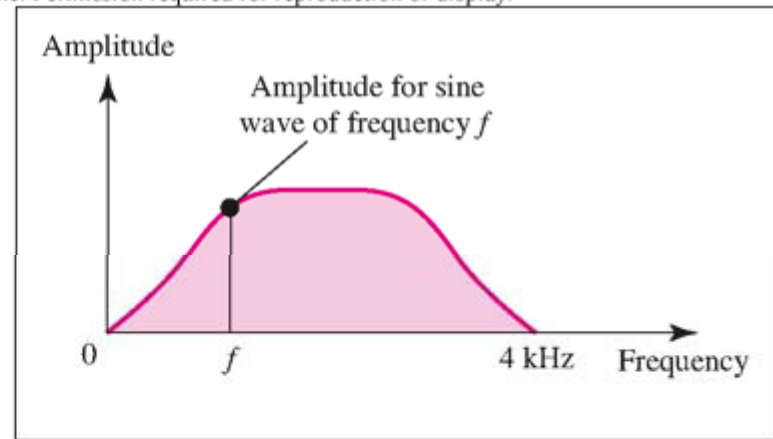
# Periyodik analog sinyal

- Şekilde aperi-yodik sinyalin frekans-düzleminde gösterimi verilmiştir.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



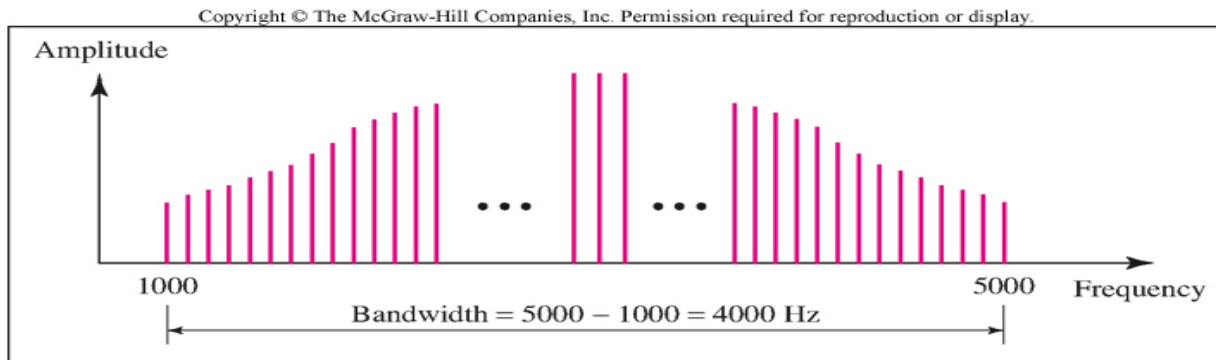
a. Time domain



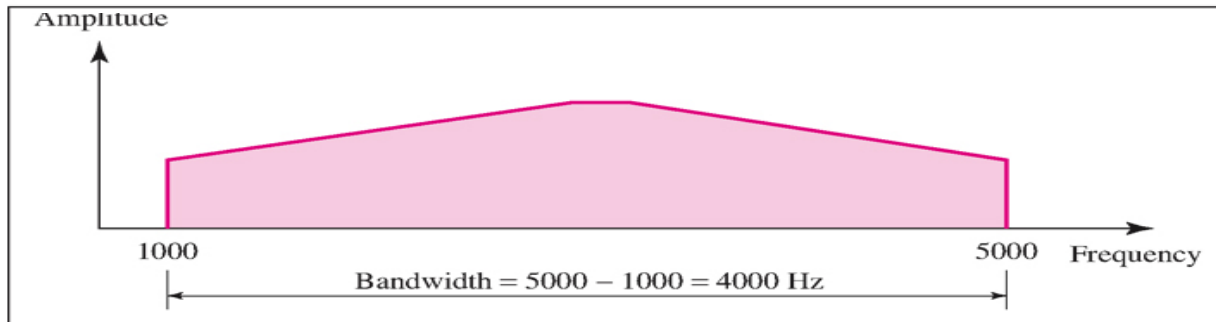
b. Frequency domain

# Periyodik analog sinyal

- Composite sinyali oluşturan sinyallerin frekans aralığı **bant genişliği (bandwidth)** olarak adlandırılır.



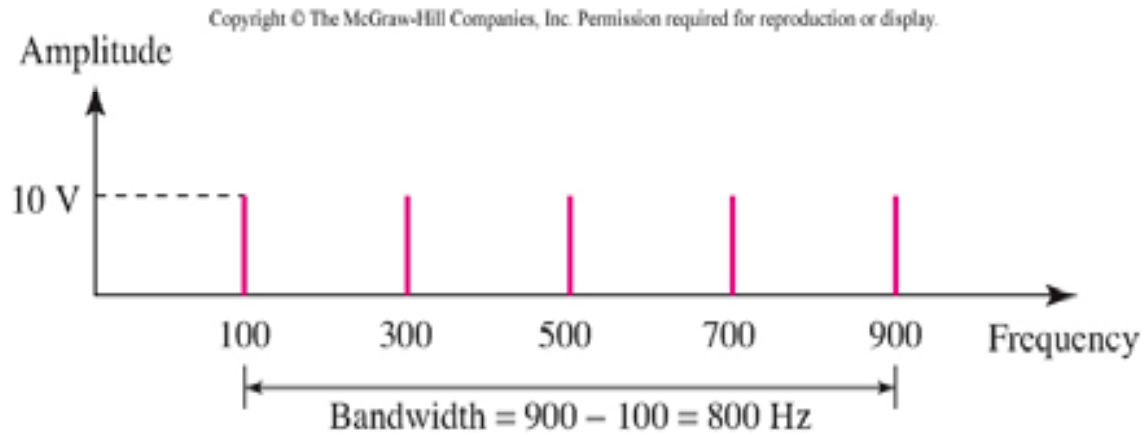
a. Bandwidth of a periodic signal



b. Bandwidth of a nonperiodic signal

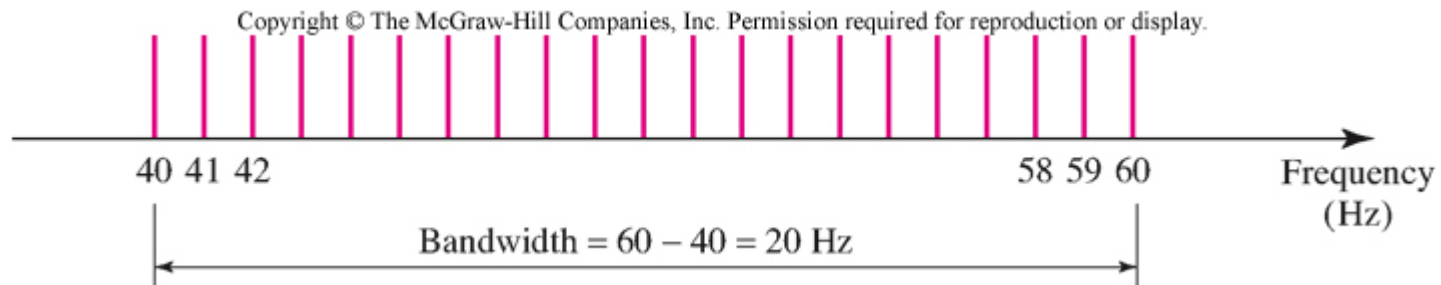
# Periyodik analog sinyal

- Örnek: 100,300,500,700 ve 900Hz frekanslarında 10V genlikli 5 tane sinüs sinyalinden oluşan periyodik sinyalin frekans düzlemi grafiğini çiziniz.



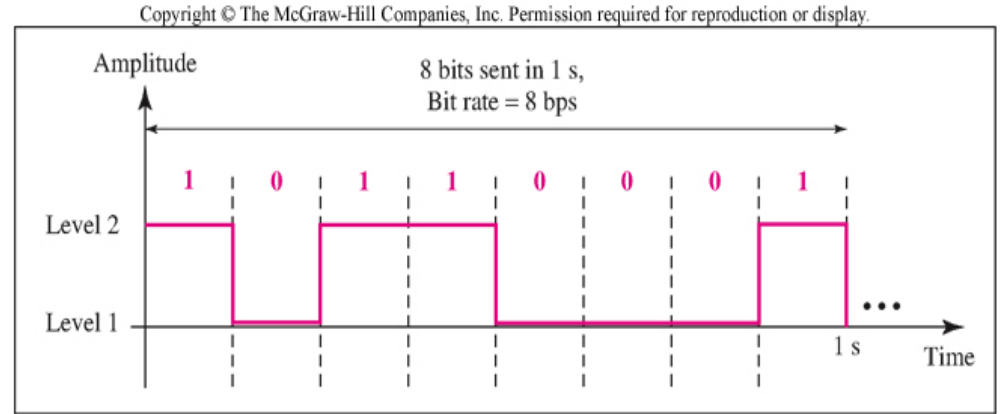
# Periyodik analog sinyal

- Örnek: Bir periyodik sinyalin bant genişliği 20Hz dir. En yüksek 60Hz ise en düşük frekans nedir ? Sinyalin tüm bileşenleri aynı genlikte olduğuna göre spektrumu çiziniz.

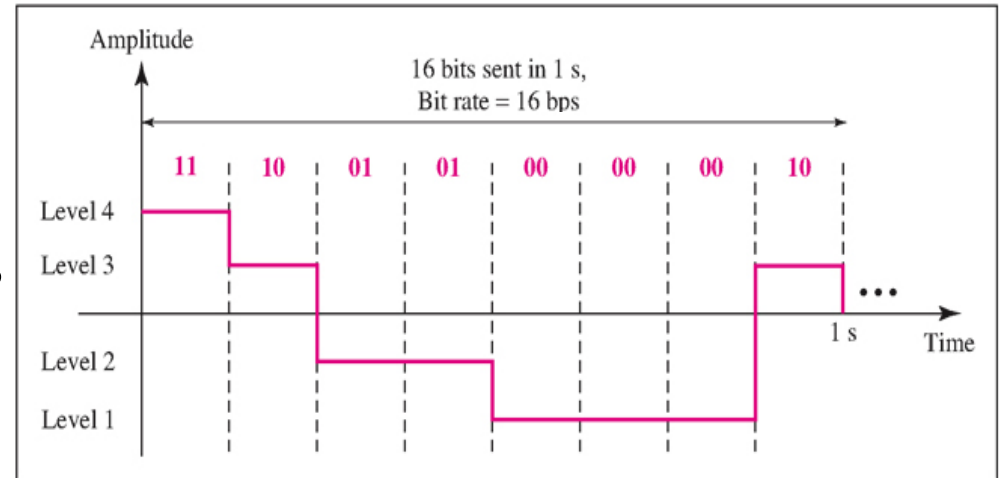


# Sayısal sinyal

- Bilgi analog sinyalle gösterilebildiği gibi sayısal sinyalle de gösterilebilir.
- 1 pozitif genlikle, 0 ise sıfır genlikle gösterilebilir.
- Sayısal sinyal ikiden fazla genliğe sahip olabilir.  $L$  tane seviyeye sahip sinyalin her seviyesinde  $\log_2 L$  bit ifade edilir.



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels



# Sayısal sinyal

- Sayısal sinyallerin çoğu periyodik değildir.
- Bit rate saniyede gönderilen bit sayısıdır (bps).
- Bit length bir bit için iletim ortamında alınan yoldur.

$$\text{bit length} = \text{propagation speed} * \text{bit duration}$$

- **Örnek:** Her sayfada 24 satır ve 80 sütun olan 100 sayfalık dosya 1 saniyede download edilmiştir. Her karakter 8 bit olduğuna göre bit rate nedir?

$$\text{Bit rate} = 100 * 24 * 80 * 8 = 1.536.000 \text{ bps} = 1,536 \text{ Mbps}$$

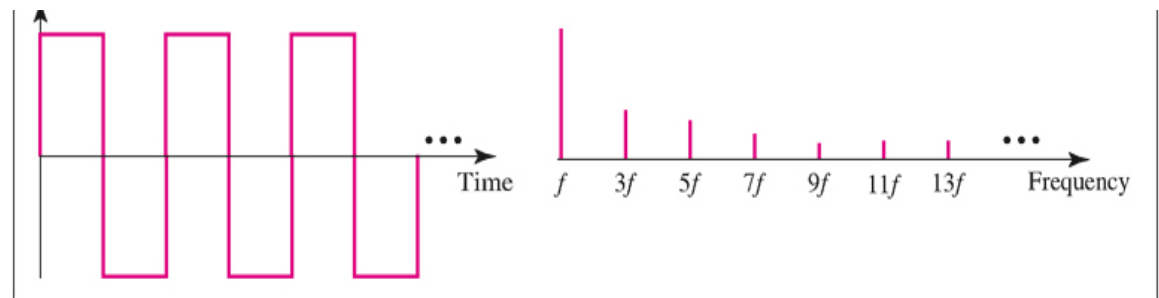
- **Örnek:** HDTV için bit rate nedir ?

*HDTV ekranı 16:9 boyutundadır. Ekranda 1920\*1080 piksel vardır. Her piksel 24 bitle gösterilir ve ekran saniyede 30 defa yenilenir.*

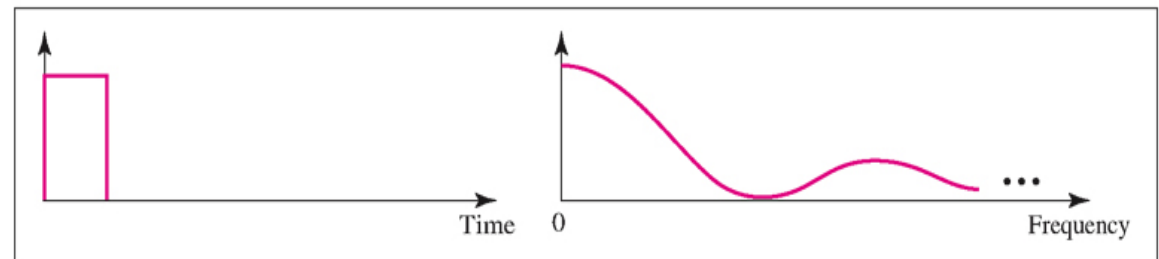
$$\text{Bit rate} = 1920 * 1080 * 30 * 24 = 1.492.992.000 \text{ bps} = 1,5 \text{ Gbps}$$

# Sayısal sinyal

- Bir sayısal sinyal sonsuz bant genişliğine sahip analog composite sinyaldir.
- Şekilde periyodik ve aperiyojik sayısal sinyallerin bant genişliği verilmiştir.



a. Time and frequency domains of periodic digital signal



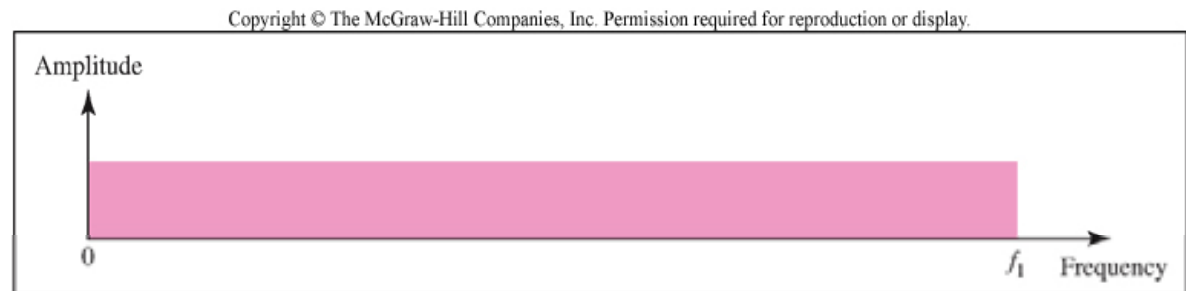
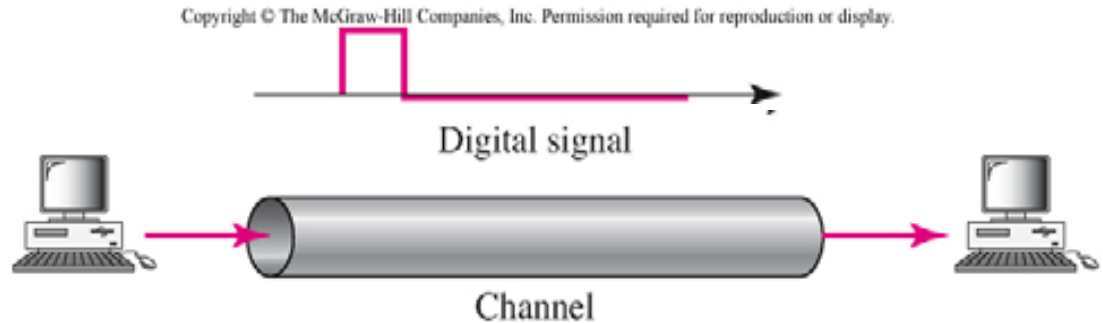
b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

# Sayısal sinyal

- Sayısal sinyal iletimi **baseband** veya **broadband (modülasyon kullanılarak)** şeklinde yapılabilir.
- Baseband iletişimde sayısal sinyal (analog sinyale çevirmeden) gönderilir.
- Baseband iletişimde bir low-pass (alçak geçiren) kanal kullanılır. İletim ortamı sadece bir kanal oluşturur.

# Sayısal sinyal

- Baseband iletişim, sınırlı bant genişliği (limited bandwidth) ve geniş bant genişliği (wide bandwidth) ile oluşturulan low-pass kanal ile yapılabilir.



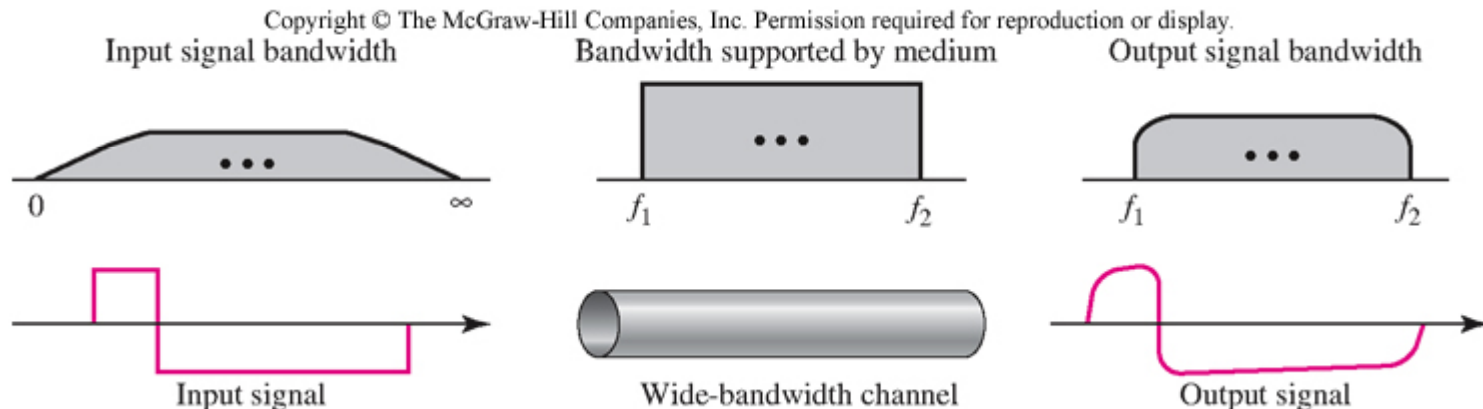
a. Low-pass channel, wide bandwidth



b. Low-pass channel, narrow bandwidth

# Sayısal sinyal

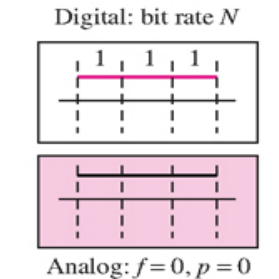
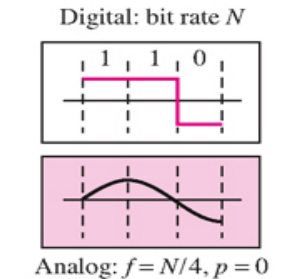
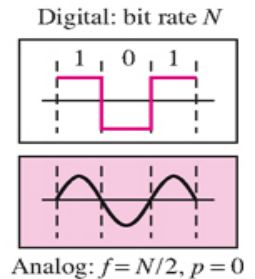
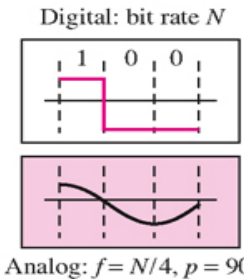
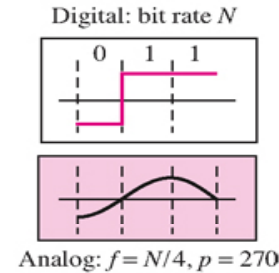
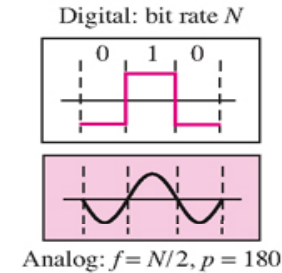
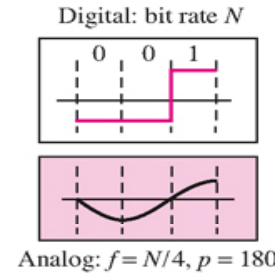
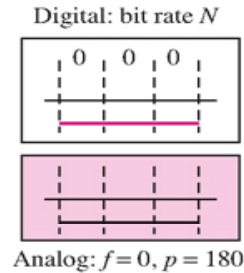
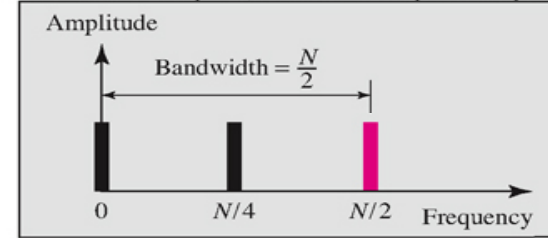
- Genişbant genişliğine sahip iletim ortamıyla iki cihaz çok iyi haberleşebilir.
- Şekilde  $f_1$  sıfıra yakın  $f_2$  ise çok yüksek bir frekanstır.
- Sayısal sinyalin baseband iletiminde orijinal şekli korunur. Low-pass kanalın 0 ile yüksek bir bant genişliğine sahip olması gerekir.
- LAN ağlarda bir kanal oluşturulur ve tüm bant genişliği iki cihaz arasındaki iletişime ayrılır.



# Sayısal sinyal

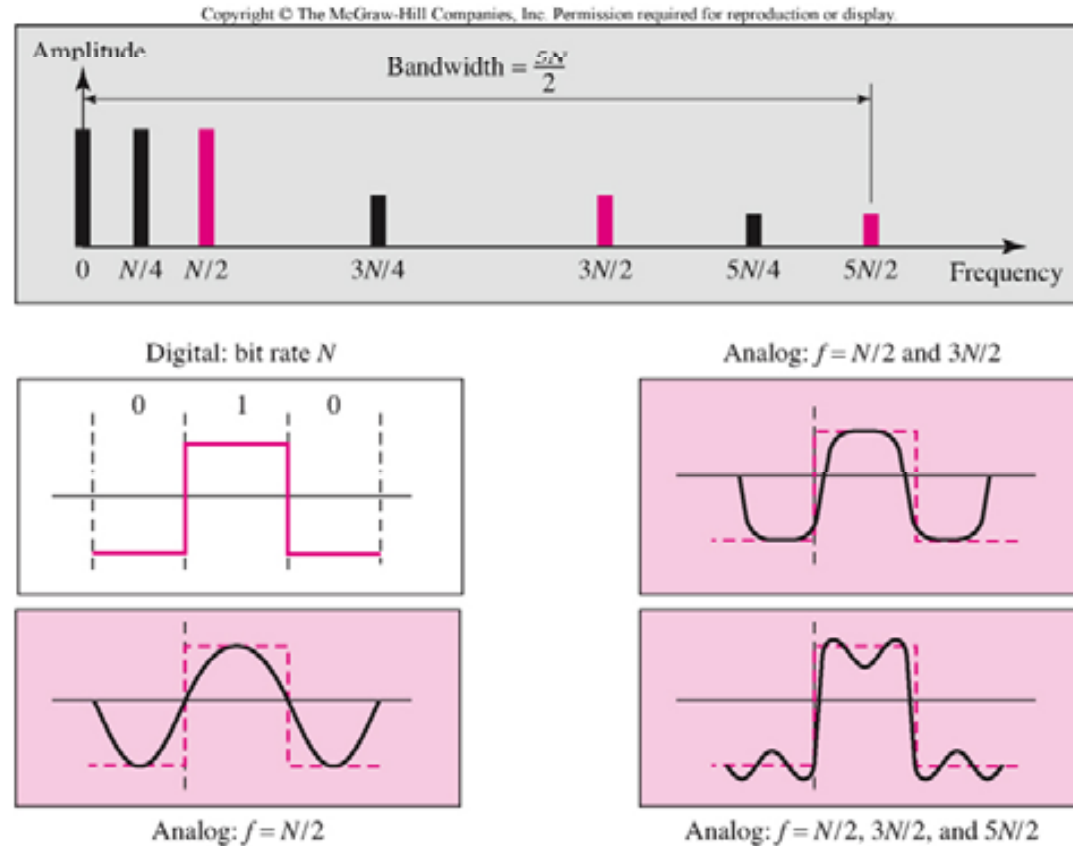
- Sınırlı bant genişliğine sahip iletim ortamıyla yapılan iletişimde analog sinyal ile sayısal sinyal yaklaşık elde edilir.
- Elde edilen sinyalin, orijinal sayısal sinyale benzeme oranı bant genişliğine bağlıdır.**
- Şekilde N bit oranını gösterir. Analog sinyalin maksimum frekansı en kötü durum olan 1010 veya 0101 için  $N/2$  dir. Diğerleri için  $N/4$  tür.
- $Bant\ genişliği = N/2 - 0 = N/2$**

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



# Sayısal sinyal

- Analog sinyali, orijinal sayısal sinyale daha çok benzetmek için daha fazla harmonik kullanılması gerekir. (Bant genişliğinin artırılması gerekir.)
- **Baseband iletişimde gereken bant genişliği bit rate değerine bağlıdır.**
- Baseband iletişimde, daha hızlı veri göndermek için bant genişliğini artırmak gerekir.



# Sayısal sinyal

- Tabloda farklı hızlarda (N) veri göndermek için gereken bant genişlikleri (B) verilmiştir.
- Baseband iletişimde gereken bant genişliği bit rate değerine bağlıdır.

| Bit rate     | Harmonic 1 | Harmonic 1,3 | Harmonic 1,3,5 |
|--------------|------------|--------------|----------------|
| N = 1 kbps   | B = 500 Hz | B = 1.5 KHz  | B = 2.5 KHz    |
| N = 10 kbps  | B = 5 KHz  | B = 15 KHz   | B = 25 KHz     |
| N = 100 kbps | B = 50 KHz | B = 150 KHz  | B = 250 KHz    |



# Sayısal sinyal

- **Örnek:** Baseband iletimle 1 Mbps hızla veri göndermek için gerekli bant genişliği ne olmalıdır ?

*Low-pass kanal için minimum BW =  $N / 2 = 1\text{Mbps} / 2 = 500\text{KHz}$  ( sadece 1.harmonik)*

*Daha iyi BW =  $3 * 500\text{ KHz} = 1.5\text{ MHz}$  (1. ve 3. harmonik)*

*5.Harmonik kullanılırsa BW =  $5 * 500\text{ KHz} = 2.5\text{ MHz}$  (1., 3., 5. harmonik)*

- **Örnek:** 100 KHz bant genişliğinde low-pass kanal ile maksimum bit rate nedir ?

*1 Harmonik kullanılır maksimum bit rate elde edilir.*

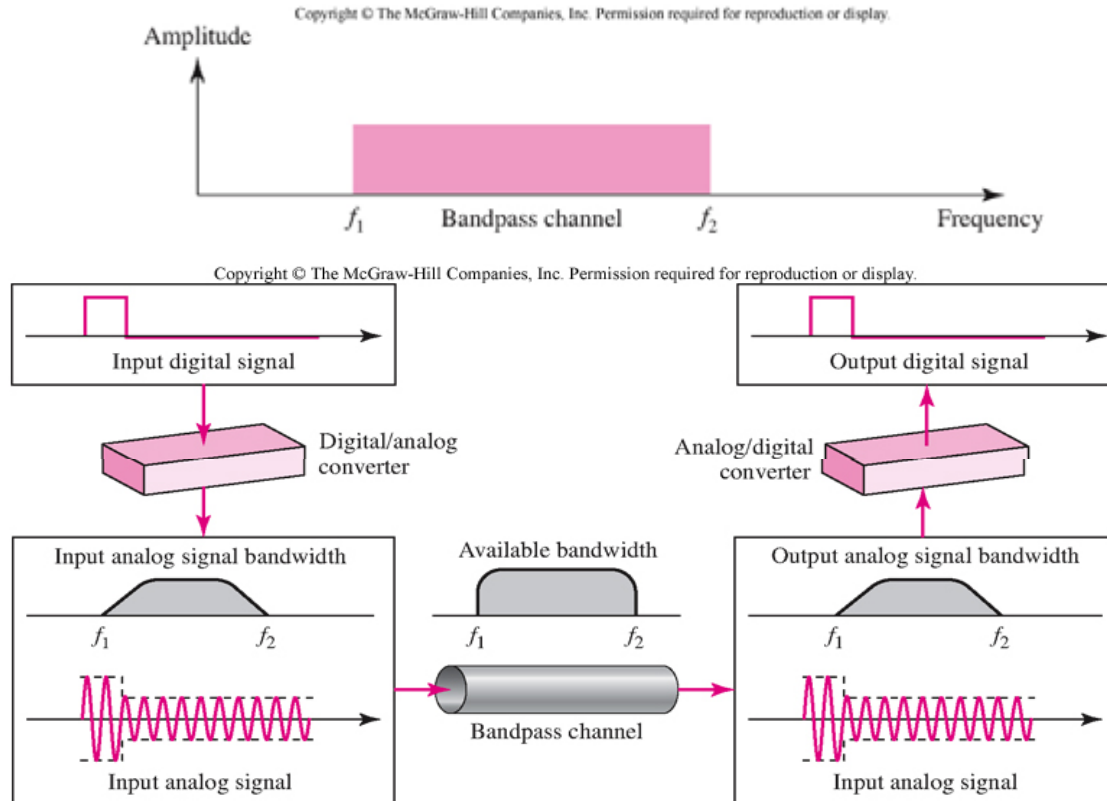
*$BW = N/2$ ,  $N$  (Bit rate) =  $100\text{ KHz} * 2 = 200\text{ Kbps}$*

# Sayısal sinyal

- Broadband iletişimde sayısal sinyal modüle edilerek analog sinyale çevrilir.
- Modülasyon bant geçiren kanal oluşturmayı sağlar.
- Telefon hatları 0-4KHz bant genişliğinde ses sinyalleri için tasarlanmıştır.
- Baseband iletişim yapılırsa maksimum bit rate 8 Kbps olur.

# Sayısal sinyal

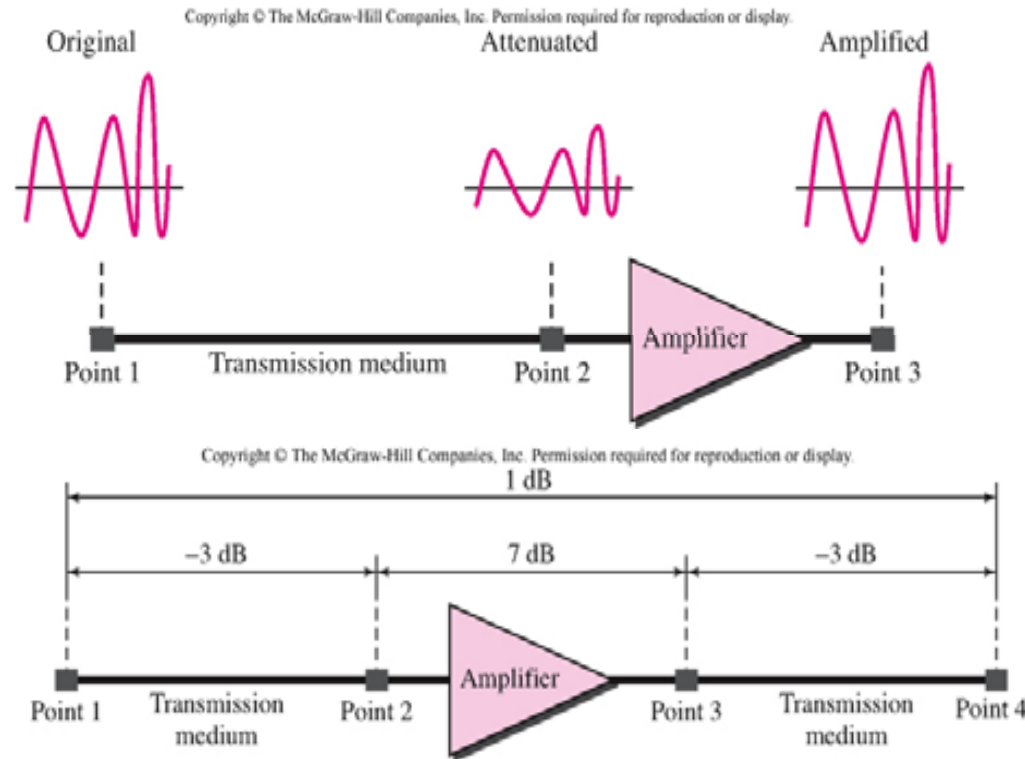
- Broadband iletişim yapılırsa sayısal sinyali analog sinyale dönüştürmek gerekir. Bunun için modem (**modulator/demodulator**) kullanılır.



# İletişim zayıflaması

- İletim ortamında sinyal zayıflar ve gönderilenle aynı olmaz.
- Sinyal zayıflamasının **attenuation, distortion ve noise** olarak 3 nedeni vardır.
- **Attenuation**, sinyalin enerjisinin ortamın direncinden dolayı azalmasıdır.
- Sinyaldeki zayıflama ve kazanç decibel (dB) ile ifade edilir.

$$\text{dB} = 10\log_{10} (P2/P1)$$



# İletişim zayıflaması

- **Örnek:**  $P_2 = \frac{1}{2} P_1$  ise attenuation nedir?

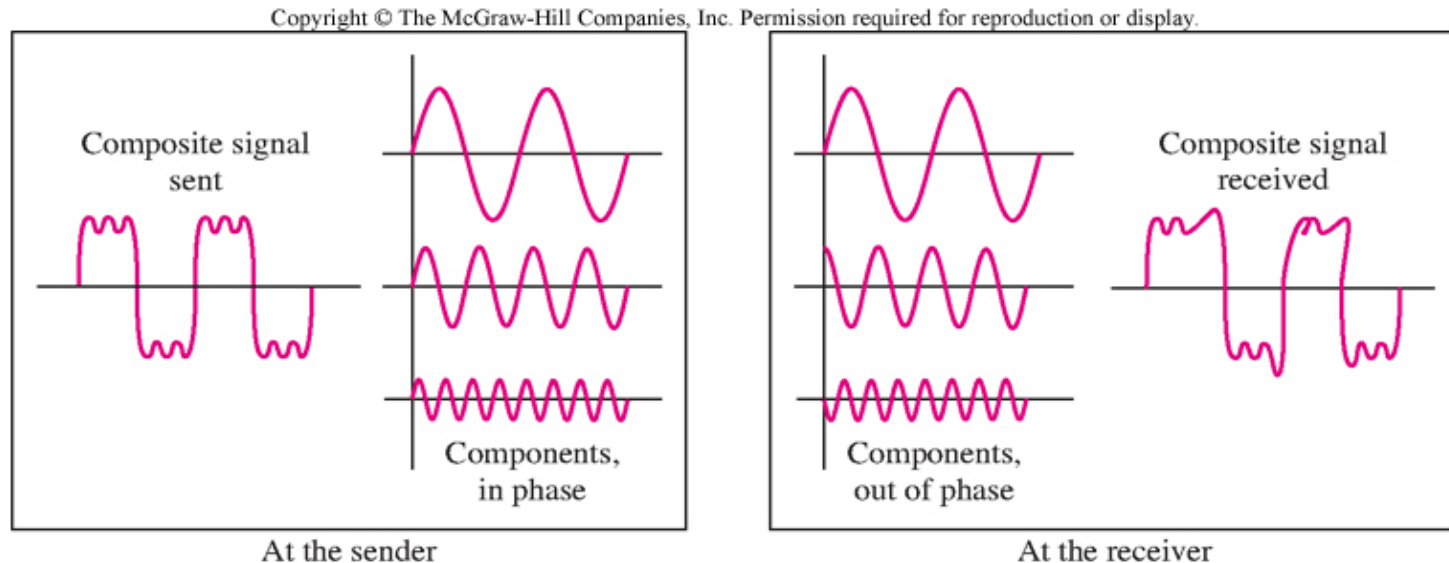
$$10 \cdot \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \cdot \log_{10}(0.5 P_1/P_1) = 10 \cdot (-0.3) = -3 \text{ dB}$$

- **Örnek:**  $P_2 = 10P_1$  ise attenuation nedir ?

$$10 \cdot \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \cdot \log_{10}(10) = 10 \cdot (1) = 10 \text{ dB}$$

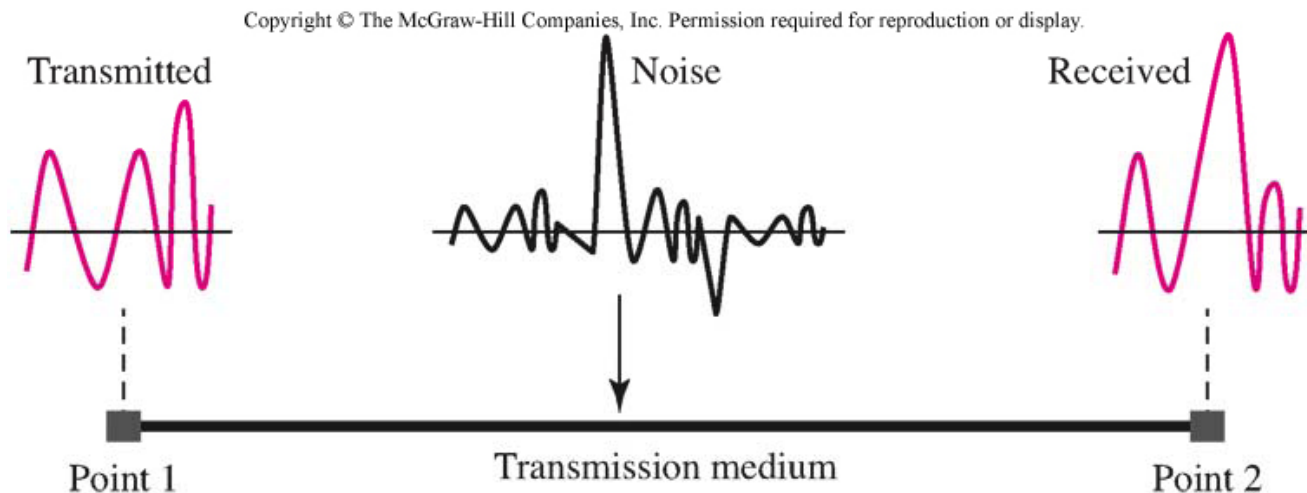
# İletişim zayıflaması

- **Distortion**, sinyalin şeklinin değişmesini ifade eder.
- Sinyaldeki bileşenlerin hepsi farklı hızlarda ilerler. Hedefe varış süreleri farklıdır ve elde edilen sinyalin şekli orijinalden farklıdır.



# İletişim zayıflaması

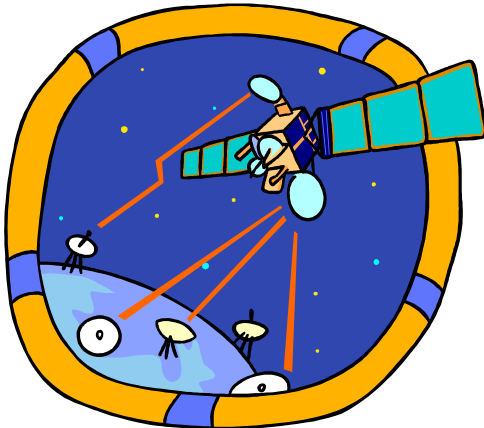
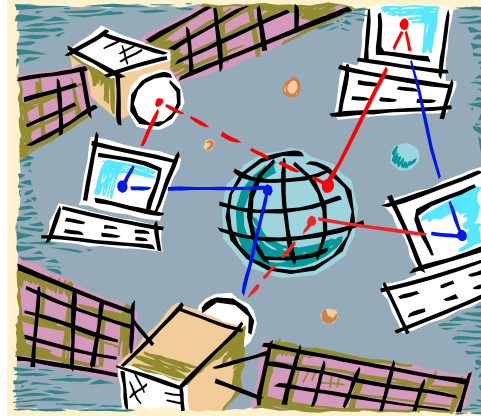
- **Noise, sinyalde bozulma yapan etkilere dir. Thermal noise, induced noise, crosstalk ve impulse noise sinyali bozabilir.**
- Thermal noise, telde elektron hareketlerinden oluşur.
- Induced noise, motor veya diğer cihazlardan oluşabilir.
- Crosstalk bir kablonun diğerini etkilemesiyle oluşur.
- Impulse noise, öngörülemeyen ve aniden oluşan (şimşek vb.) etkilere dir.



# Noise kategorileri

## Thermal noise

- Elektronların hareketinden dolayı oluşur
- Bant üzerinde düzgün olarak yayılır
- white noise olarakta bilinir



## Induced/Intermodulation noise

- Farklı frekanstaki sinyallerin aynı ortamı paylaşması ile yada iletim ortamı yakınındaki cihazların frekanslarından kaynaklanır
- İki sinyalin karışımı olan ortak bir frekans oluşur



# Noise kategorileri



## Impulse Noise:

- Dışsal elektromanyetik bir etki ile oluşur (yıldırım vs.)
- Sürekli değildir, düzensiz iniş çıkışlar şeklinde olur
- Kısa süreli ve yüksek genlikli
- Analog sinyaller için önemli değil ancak sayısal sinyalde hatalara neden olur

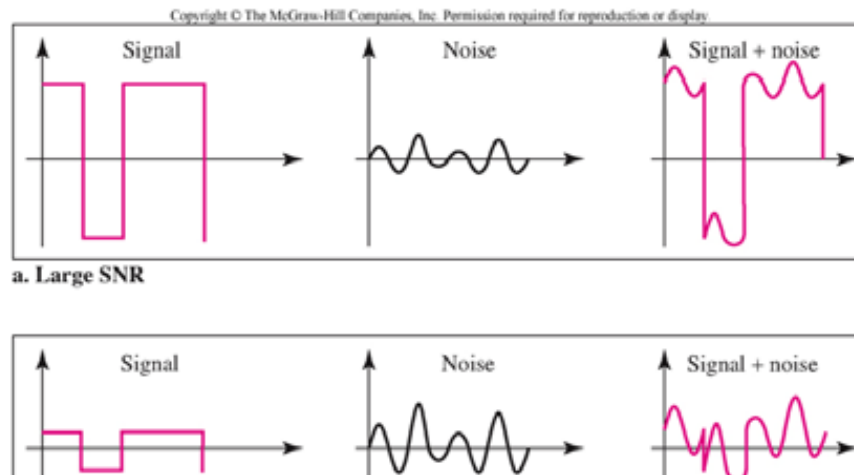
## Crosstalk:

- Bir iletim hattının diğer bir hattan sinyal alması ile oluşur
- Birbirine çok yakın kablolarda yada yüksek frekanslı antenlerde oluşur



# İletişim zayıflaması

- **Signal-to-Noise Ratio (SNR)** sinyal gücünün noise gücüne oranıdır. Şekilde yüksek ve düşük SNR örnekleri verilmiştir.



- $SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR$  olarak ifade edilir.
- **Örnek:** Sinyal gücü 10mW ve noise gücü 1 $\mu$ W ise SNR ve  $SNR_{dB}$  nedir?  
 $SNR = 10.000\mu W / 1\mu W = 10.000$ ,  $SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR = 10 \log_{10} 10.000 = 40dB$

# Veri iletişim limitleri

- Veri iletişim oranı 3 faktöre bağlıdır:
  - Kullanılan bant genişliğine
  - Kullanılan sinyaldeki seviye sayısına
  - Kanal kalitesine (noise seviyesine)
- Nyquist tarafından gürültüsüz ve Shannon tarafından gürültülü kanal için data rate oranı belirlenmiştir.

$$\textbf{Nyquist Bit Rate} = \textbf{2*BW*log}_2\textbf{L} \textbf{ bps}$$

*BW = Bandwidth, L = Sinyal seviye sayısı*

- L arttıkça sistemin güvenilirliği azalır.

# Veri iletişim limitleri

- **Örnek:** BW = 3000 Hz olan bir sistemde L=2 ise maksimum bit rate nedir?

$$\text{Bit rate} = 2 * \text{BW} * \log_2 L = 6000 * \log_2 2 = 6000 \text{ bps}$$

Sinyal seviye sayısı 4 olursa,

$$\text{Bit rate} = 2 * \text{BW} * \log_2 4 = 6000 * 2 = 12000 \text{ bps}$$

- **Örnek:** 265 kbps bit rate için, BW=20 kHz olan gürültüsüz ortamda kaç seviyeli, sinyal kullanılmalıdır.  
 $265000 = 2 * 20000 * \log_2 L \rightarrow 265000 / 40000 = \log_2 L \rightarrow L = 98.7$  seviye gereklidir.

# Veri iletişim limitleri

- Claude Shannon 1944'te gürültülü kanal için teorik en yüksek bit rate'i belirlemiştir.

$$\textit{Capacity} = \textit{BW} * \log_2(1 + \textit{SNR}) \textit{ bps}$$

- Kapasite bir kanalın özelliğini belirler iletişim metodunu değil !
- Kapasite, kaç seviye kullanılırsa kullanılsın maksimum bit rate değerini gösterir.

# Veri iletişim limitleri

- **Örnek:** SNR değeri yaklaşık 0 olan çok gürültülü bir kanalda kapasite ne kadardır ?

$$C = BW * \log_2(1+SNR) = BW * \log_2 1 = 0 \text{ olur.}$$

- **Örnek:** Telefon hatlarında  $BW=3000\text{Hz}$  (3300-300Hz) dir. SNR değeri genellikle 3162 dir. Kanal kapasitesi nedir ?

$$C = BW * \log_2(1+SNR)$$

$$= 3000 * \log_2(1+3162) = 3000 * 11.62 = 34.860 \text{ bps}$$

- **Örnek:**  $SNR_{dB} = 36$  ve  $BW = 2 \text{ MHz}$  olan kanalda teorik kanal kapasitesi nedir ?

$$SNR_{dB} = 10\log_{10} SNR \rightarrow SNR = 3981$$

$$C = BW * \log_2(1+SNR) = 2 * 10^6 * \log_2(3982) = 24 \text{ Mbps}$$

# Performans

- Bant genişliği, ağ performansını belirleyen ölçütlerden birisidir.
- Bant genişliği Hz olarak frekans bandını veya bps olarak bir rate değerini gösterir.
- Throughput, bir bağlantının gerçek bps değeridir.
- Latency (delay), ilk bitin kaynaktan çıkmasından sonra tüm mesajın tamamının hedefe ulaşması için geçen süredir.
- Latency =  $PT + TT + QT + PD$ ,  $PT$ =Propagation time,  $TT$ =Transmission time,  $QT$ =Queuing time,  $PD$ =Process delay
- Propagation time, uzaklığın yayılım hızına oranıdır.
- $PT = D/PS$ ,  $D$  = distance,  $PS$  = Propagation speed
- Transmission time, mesaj boyutunun bant genişliğine oranıdır.
- $TT = MS/BW$ ,  $MS$ = Message size

# Performans

- **Örnek:** 2.5kbyte bir e-mail için 1Gbps bant genişliği olan ağda PT ve TT değerleri nedir? Alıcı verici arasında 12000km mesafe var ve yayılım hızı  $2.4 \cdot 10^8 \text{m/s}$ .

$$PT = (12000 \cdot 10^3) / 2.4 \cdot 10^8 = 50 \text{ ms}$$

$$TT = (2500 \cdot 8) / 10^9 = 0.02 \text{ ms}$$



# Performans

- Bandwidth-delay çarpımı bağlantıda aynı anda bulunan bit sayısını gösterir.
- Jitter, farklı paketlerdeki gecikme sürelerinin değişimidir.

# Performans

