

# Mobil ve Kablosuz Ağlar (Mobile and Wireless Networks)

---

Hazırlayan: M. Ali Akcayol  
Gazi Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

## Ders konuları

---

- **Sinyaller**
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

## Sinyaller

- Elektromanyetik sinyaller kablosuz iletişimde kullanılan ve verinin bir yerden başka bir yere iletilmesini sağlayan sinyallerdir.
- **Bir elektromanyetik sinyal zamana göre fonksiyon olarak ifade edilebilir.**
- Ancak özellikle karmaşık sinyallerin analizinde frekans düzlemindeki gösterimi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

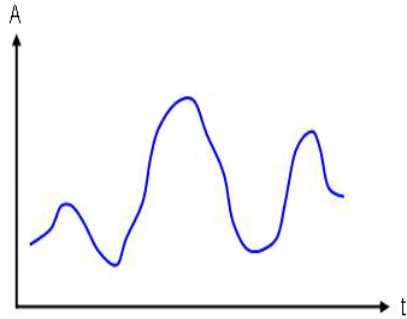
## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- Bir elektromanyetik sinyal zamanın bir fonksiyonu olarak analog veya sayısal olarak gösterilebilir.
- Bir analog sinyalde zamana göre değişim yavaştır ve belirli bir aralıkta sonsuz değer alabilir.
- Ancak, sayısal sinyalde zamana göre değişim ani ve belirli sayıdaki değerden bir tanesi olacak şekildedir.
- Sayısal sinyalde alınabilecek değer sayısı belirlidir ve analog sinyaldeki gibi sonsuz tane değildir.
- Fonksiyon olarak analog sinyali, türevlenebilir sürekli fonksiyonlar şeklinde ve sayısal sinyali ise türevlenemeyen süreksiz fonksiyonlar şeklinde ifade edebiliriz.

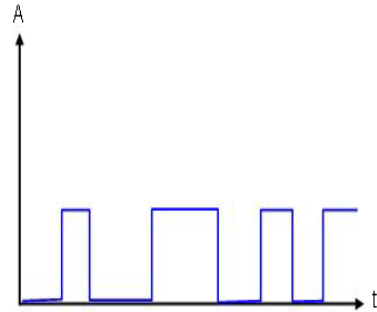
5

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- Aşağıda analog sinyal ve sayısal sinyal örnekleri görülmektedir.



Analog sinyal



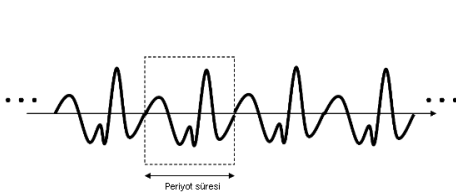
Sayısal sinyal

- Şekillerde A (Amplitude) genliği ve t ise zamanı göstermektedir.

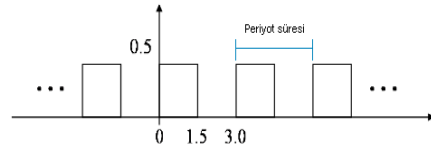
6

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- Analog veya sayısal sinyaller periyodik ve aperiodyk olarak iki temel gruba ayrılırlar.
- **Periyodik sinyaller belirli bir parçasını sonsuza kadar tekrar ederler.**
- Aperiodyk sinyaller ise içerisinde sonsuza kadar tekrarlayan kısım bulundurmazlar.
- Şekilde analog ve sayısal periyodik sinyal örnekleri görülmektedir.



Periyodik analog sinyal



Periyodik sayısal sinyal

7

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- Matematiksel olarak bir periyodik sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < \infty$$

- Burada, **T periyodik sinyalin periyot süresini göstermektedir** ve birimi saniyedir. **T süresi tekrarlayan en küçük parçanın bir döngüyü tamamlaması için geçen süredir.**
- Bir sinüs dalgası en temel analog sinyaldir ve üç tane parametre ile ifade edilir. Bunlar; **genlik (amplitude - A), frekans (frequency - f) ve faz (phase -  $\phi$ )** olarak adlandırılırlar.
- Peak amplitude zamana göre sinyalin aldığı en yüksek genlik değeridir ve genellikle volt olarak ölçülür.

8

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

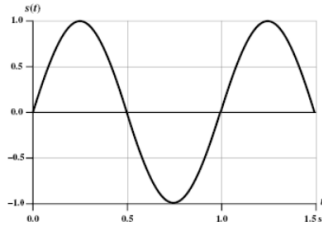
- **Periyodik sinyalin saniyedeki tekrarlama sayısına ise frekans denilmektedir. Birimi Hz (Hertz) olarak ifade edilir.**
- Periyot saniye olarak bir dögünün tamamlanma süresidir ve birimi saniyedir. Periyot literatürde genellikle T ile gösterilir.
- Periyot değeri frekans ile ters orantılıdır ve  $f = 1/T$  şeklinde gösterilir.
- **Faz ise bir periyodun başladığı andaki açısını ifade eder birimi derece veya radyan olarak ifade edilir.**
- Bu parametreler kullanılarak bir sinüs dalgası aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

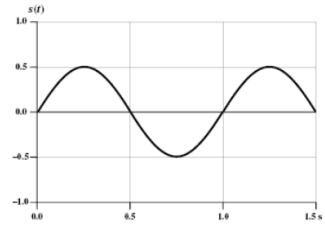
- Burada, **A peak amplitude, f frekans ve  $\phi$  ise faz açısını** göstermektedir.

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

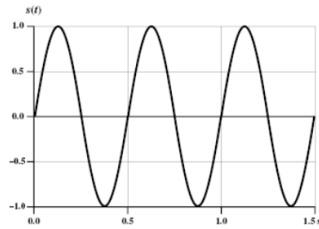
- Şekilde üç farklı periyodik sinüs sinyali örnek olarak verilmiştir.



(a)  $A = 1, f = 1$  ve  $\phi = 0$



(b)  $A = 0,5, f = 1$  ve  $\phi = 0$



(c)  $A = 1,0, f = 2$  ve  $\phi = 0$

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- **Bir sinyalin dalga boyu ise periyodik sinyalin bir periyodunun uzayda kapladığı yol olarak ifade edilir ve birimi metredir.**
- Dalga boyu  $\lambda$  ile gösterilir. Dalga boyu aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\lambda = vT$$

- Burada,  $v$  sinyalin saniyede aldığı yol olup birimi metre/sn'dir. Sinyalin hızı boşluktaki ışık hızına eşit olarak alınır ve  $3 \cdot 10^8$  m/s olarak alınır.  $T$  periyot süresidir ve birimi metredir.
- Dalga boyu metre olarak ifade edilir. Yukarıdaki eşitlikten yola çıkarak bir sinyalin dalga boyunu frekans ile aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

11

## Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi

- **Bir sinyalin frekansı arttıkça dalga boyu düşmektedir.**
- Bu ifade özellikle kablosuz iletişimde anten tasarımı açısından oldukça önemlidir.
- **Antenlerin en iyi aldığı veya gönderdiği sinyalin dalga boyu ile antenin boyu doğru orantılıdır.**
- Sinyalin dalga boyu kıaldıkça başka bir ifadeyle frekansı arttıkça kullanılacak antenin fiziksel olarak boyutu azalmakta ve maliyet düşmektedir.

12

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

13

## Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi

- **Genellikle bir elektromanyetik sinyal birden fazla sinüs sinyali ile ifade edilir ve bu şekildeki sinyaller karmaşık (composite) sinyaller olarak adlandırılır.**
- Aşağıdaki eşitlikle ifade edilen sinyal iki tane sinüs sinyalinin birleşimiyle oluşan karmaşık sinyaldir.

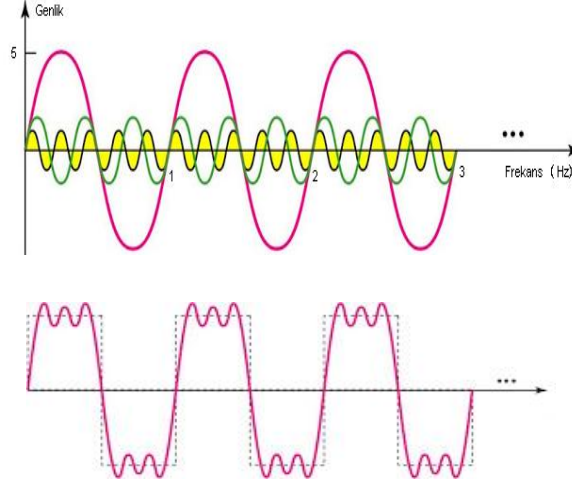
$$s(t) = 4 \sin(2\pi ft) + 2 \sin(2\pi 2ft)$$

- Karmaşık sinyaldeki birinci bileşenin genliği 4 ve frekansı  $1f$  Hz'dir. İkinci bileşenin ise genliği 2 frekansı  $2f$  Hz'dir.

14

## Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi

- Üç sinüsoidal sinyalin birleşimiyle elde edilen karmaşık sinyal aşağıda verilmiştir.



15

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

16



## Analog ve sayısal veri iletimi

- **Analog ve sayısal ifadeleri** sinyallerin değişim şeklini ve alabileceği değer sayısını belirlemektedir.
- **Veri**, bilgiyi taşıyır veya üzerinde bulundurur.
- **Sinyaller** veriyi göstermek için kullanılır.
- **İletim** ise verinin sinyaller kullanılarak iki nokta arasında iletilmesini ifade etmektedir.
- **Analog veriler** sürekli değerler alırlar ve değer değişimleri yavaştır.
- **Sayısal veriler** ise ani değişimlerle değer değiştirirler ve alabilecekleri değer sayısı sınırlıdır.
- Ses sinyali analog olup sürekli değişim gösteren bir veriye sahiptir.
- Binary veriler sayısal verilerdir ve anlık değişimlere sahiptir. Ayrıca, alabilecekleri değer sayısı iki tanedir.

17

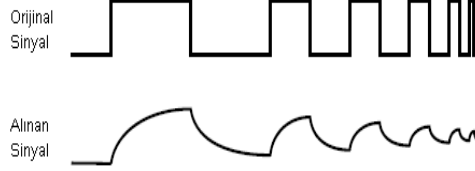
## Analog ve sayısal veri iletimi

- **Haberleşme sistemlerinde verinin taşınması için sinyaller kullanılır.**
- Analog sinyal sürekli değer değiştiren elektromanyetik sinyaldir. Analog sinyalin frekansı, iletim için kullanılacak ortamın belirlenmesinde önemlidir.
- Örneğin frekans düştükçe bükümlü çift kablolar veya koaksiyel kullanılır, frekans yükseldikçe atmosfer veya boşluk kullanılır.
- **Bir sayısal sinyal genellikle bakır tel üzerinden iletilen ve belirli sayıda değer arasında genlik değiştiren sinyaldir.**
- Sayısal sinyallerle verinin kodlanması ve geri elde edilmesi çok kolaydır. Ayrıca gürültüden analog sinyale göre daha az etkilenirler.
- **Sayısal sinyallerin en büyük dezavantajı** ise iletim ortamlarında analog sinyale göre daha büyük dirençle karşılaşmalarından dolayı genlik kayıpları daha fazladır.

18

## Analog ve sayısal veri iletimi

- Bir sayısal sinyalin kaynağından çıktığı şekli ile alıcı tarafından alınan şekli görülmektedir.



- Yüksek frekanslı sayısal sinyallerin ortamdaki kaynaktan kaynaklanan bozulma oranları düşük frekanslı sinyallere göre daha fazladır.
- **Yüksek frekanslı sayısal sinyallerde alıcı tarafta sinyalin üzerindeki verinin alınması mümkün olmamaktadır.**
- **Bu yüzden özellikle kablosuz ortamlarda yüksek frekanslı analog sinyaller veri iletişimde kullanılmaktadır.**

19

## Analog ve sayısal veri iletimi

- **Hem analog hem de sayısal veri her iki sinyal türüyle de gösterilerek iletilebilmektedir.**
- Gönderilmek istenen veri analog ise kullanılacak sinyal üzerinde ifade edilmesi için birtakım işlemler yapılır.
- Gönderilmek istenen sayısal veri ise başka şekilde birtakım işlemler yapılarak sinyal üzerinde ifade edilir.
- Hem analog hem de sayısal veriyi analog veya sayısal sinyal kullanarak iletirebiliriz.

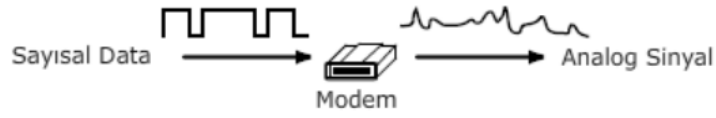
20

## Analog ve sayısal veri iletimi

- Analog ve sayısal verinin analog sinyal ile iletilmesi



Analog verinin analog sinyal ile iletilmesi

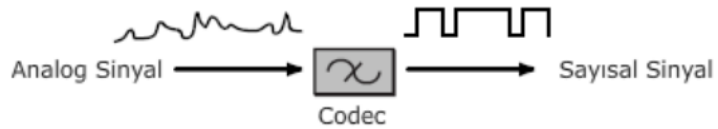


Sayısal verinin analog sinyal ile iletilmesi

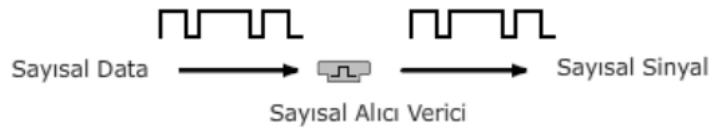
21

## Analog ve sayısal veri iletimi

- Analog ve sayısal verinin sayısal sinyal ile iletilmesi



Analog verinin sayısal sinyal ile iletilmesi



Sayısal verinin sayısal sinyal ile iletilmesi

22

## Analog ve sayısal veri iletimi

- Analog veri genellikle düşük bant genişliğine sahiptir ve kendisinin sahip olduğu bant üzerinde elektromanyetik sinyal ile gösterilebilir.
- Örneğin, ses dalgaları 20 Hz ile 20 kHz bandındadır. Enerjinin büyük bölümü yaklaşık olarak 100 Hz ile 7 kHz arasında harcanmaktadır.
- **Telefon iletişimde kullanılan standart ses sinyalleri 300 Hz ile 3400 Hz arasındadır.**
- **Telefon cihazları ses sinyali ile aynı frekansa sahip elektromanyetik sinyali oluşturur ve iletilirler.**
- **Analog verinin bulunduğu bant dışında daha yüksek frekanstaki bir taşıyıcı sinyal ile taşınması günümüzde radyo ve televizyon ile yapılan iletişimde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.**
- Analog verinin analog sinyal ile iletilmesinde genellikle sinyalin genliğinin yükseltilmesi için amplifikatörler kullanılır.

23

## Analog ve sayısal veri iletimi

- **Sayısal veri analog sinyal ile iletilebilir. Bunun için modem (MODulator DEModulator) cihazlarına ihtiyaç vardır.**
- Modemler gönderici taraftaki sayısal veriyi analog sinyale dönüştürür ve alıcı tarafta analog sinyalden orijinal sayısal veriyi tekrar elde ederler.
- Günümüzdeki konutlarda kullanılan dial-up ve xDSL modemler bu şekilde çalışmaktadır.
- **Analog veri sayısal sinyal kullanılarak iletilebilir. Bunun için öncelikle analog verinin üzerinde periyodik aralıklarla ölçümler yapmak ve elde edilen değerlere göre sayısal değerlerin üretilmesi gereklidir.**
- **Bu işlem için günümüzde codec (COder DECoder) isimli cihazlar kullanılmaktadır.**
- Alıcı tarafta alınan sayısal sinyallerden tekrar analog veri elde edilir.

24

## Analog ve sayısal veri iletimi

- **Sayısal veriler sayısal sinyal kullanılarak iletilebilir.** Sayısal verinin binary değerine göre sayısal sinyalin genliği değiştirilir ve iletim ortamına gönderilir.
- **Bu işlemi günümüzde ethernet kartları, repeaterlar ve switchler gibi cihazlar yapmaktadır.**
- Alıcı tarafta ise alınan sayısal sinyallerin seviyesine göre sayısal veri tekrar elde edilir.

25

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- **Kanal kapasitesi**
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

26

## Kanal kapasitesi

- **İletim ortamındaki çok sayıda etken sinyalde değişikliğe yol açar.**
- Bu değişiklikler belirli bir düzeyin üzerine çıkarsa sinyal üzerinde gönderilen veri alıcıda doğru bir şekilde algılanamaz.
- Bu bozulmaların en önemlisi **ortamdaki bazı istenmeyen sinyallerin gönderilen sinyalle birleşmesi** ve gönderilen sinyalin şeklinde değişikliğe neden olmasıdır.
- Sonuçta gürültü seviyesi arttıkça sinyal kalitesini dolayısıyla iletişimin kalitesini önemli oranda etkilemektedir.
- Herhangi bir iletim ortamında verilen şartlar altında iletilebilen **maksimum veri oranına kanal kapasitesi** denilmektedir.

27

## Kanal kapasitesi

- Veri oranı, bant genişliği, gürültü ve hata oranı terimleri kanal kapasitesiyle ilişkilidirler.
- **Veri oranı, iletim ortamında verilen şartlar altında saniyede iletilen bit miktarıdır ve birimi bps (bit per second) olarak ifade edilir.**
- **Bant genişliği, iletim ortamında gönderilen sinyalin minimum ve maksimum frekanslı bileşenleri arasındaki farkı** ifade eder ve **birimi Hz** olarak gösterilir.
- Gürültü, iletim ortamındaki ortalama gürültü seviyesini ifade eder.
- Hata oranı ise hatanın oluşma oranını ifade eder. Veri iletişimde hata ise gönderilen bir bitin alıcı tarafından 1 iken 0 veya 0 iken 1 olarak algılanmasıdır.

28

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

29

## Nyquist kanal kapasitesi

- Nyquist tarafından teorik olarak gürültüsüz bir kanal için kapasite ortaya konulmuştur.
- Nyquist tarafından önerilen kanal kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

- Burada,  $M$  sayısal sinyaldeki seviye sayısını göstermektedir.
- Sinyaldeki seviye sayısı arttıkça gürültüsüz kanal için kanal kapasitesi artacaktır.
- Ancak, gürültülü kanallarda seviyeler arasındaki fark azaldıkça gürültünün sinyali bozma oranı artar böylelikle hata oranı yükselir.

30

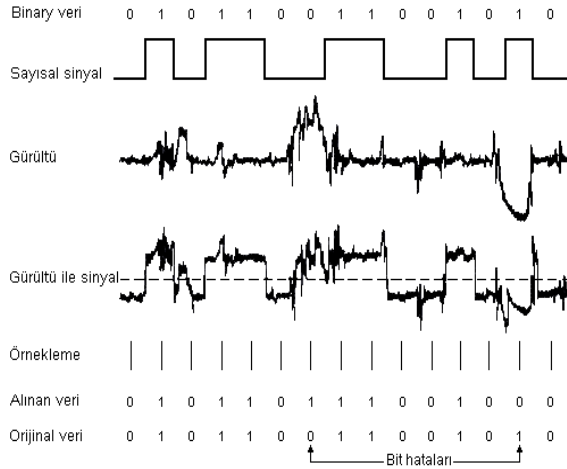
## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - **Shannon kanal kapasitesi**
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

31

## Shannon kanal kapasitesi

- Nyquist tarafından önerilen kanal kapasitesine göre bant genişliğini iki katına çıkardığımızda kanal kapasitesi de iki katına çıkmaktadır.
- Ancak gürültülü gerçek ortamlarda kanal kapasitesi ile bant genişliği arasında bu şekilde bir ilişki yoktur.
- **İletim ortamındaki belirli bir süre devam eden gürültü bir veya daha fazla bitin bozulmasına neden olur.**
- **Bit oranını artırırsak aynı sürede daha fazla bit etkilenecektir.**





## Shannon kanal kapasitesi

- Claude Shannon tarafından iletim ortamındaki gürültü miktarını göz önüne alan kanal kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$C = B \log_2(1 + SNR)$$

- Burada, **B bant genişliğini gösterir ve birimi Hz olarak ifade edilir. SNR ise iletim ortamındaki sinyalin gürültüye oranını göstermektedir.** Sinyalin gürültüye oranı ise aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{\text{sinyal gücü}}{\text{gürültü gücü}} \right)$$

- Sinyalin gücünün gürültünün gücüne oranı azaldıkça da iletişimin kalitesi azalır ve sinyaldeki bozulmalar artar.

33

## Shannon kanal kapasitesi

### Örnek

- Bir iletim ortamındaki kanal 10 MHz ile 20 MHz arasındadır.  $SNR_{dB}$  ise 20 dB olarak verilmiştir. Maksimum kanal kapasitesini ve kullanılacak sinyal seviye sayısı nedir?

$$B = 20 \text{ MHz} - 10 \text{ MHz} = 10 \text{ MHz}$$

$$SNR_{dB} = 20 \text{ dB} = 10 \log_{10}^{SNR}$$

$$SNR = 100$$

- Shannon kanal kapasitesi:

$$C = 10 \times 10^6 \log_2^{1+100} \cong 66,5 \text{ Mbps}$$

- Sinyaldeki seviye sayısı:

$$C = 2 B \log_2^M$$

$$66,5 \text{ Mbps} = 2 \cdot 10 \cdot 10^6 \log_2^M$$

$$M = 10$$

34

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

35

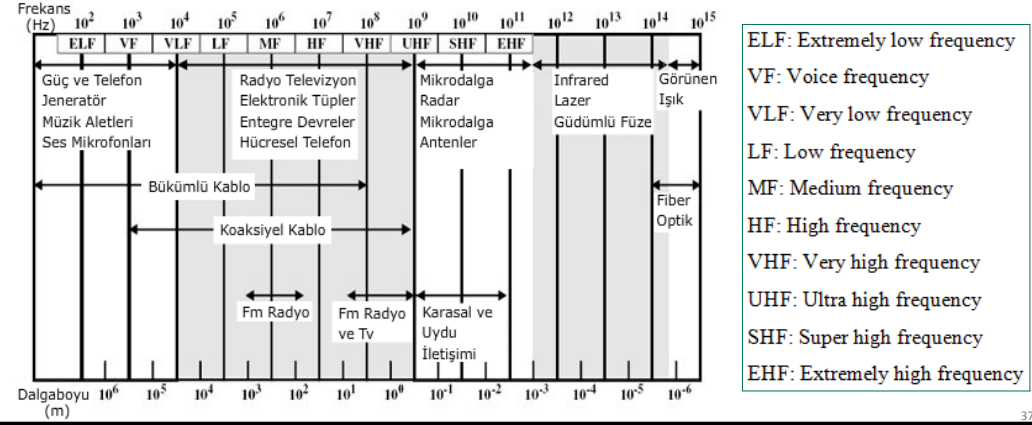
## İletim ortamları

- **İletim ortamı** gönderici ile alıcı arasındaki **fiziksel yoldur**.
- İletim ortamları genel olarak **guided** ve **unguided** olarak iki gruba ayrılır.
- **Guided** ortamlar olarak **büklümlü çift kablolar, koaksiyel kablolar, fiber optik kablolar** sayılabilir.
- Bu ortamlarda sinyalin izleyeceği yol iletim ortamının izlediği yola göredir ve belirlidir.
- **Unguided** iletim ortamları ise **atmosfer** ve **boşluktur**. Bu iletim ortamlarında kaynağından çıkan sinyal ortamda dağılarak yayılır ve ancak bir kısmı alıcıya ulaşır.
- Sinyalin frekansına ve atmosferik şartlara bağlı olarak sinyalin bileşenleri farklı sürelerde ve farklı yolları izleyerek alıcıya ulaşabilir.

36

## iletim ortamları

- iletim ortamı gönderici ile alıcı arasındaki fiziksel yoldur.
- Kablosuz ortamlarda genel olarak düşük frekanslara sahip sinyaller omnidirectional (her yöne) yayılım gösterirken yüksek frekanslı sinyaller ise directional (yönlü) yayılım gösterirler.



## iletim ortamları

- Unguided iletim ortamlarında gönderme ve alma işlemleri için anten kullanılması gereklidir.
- Gönderici anten elektromanyetik sinyalleri iletim ortamına yayar ve alıcı anten ise ortamdaki elektromanyetik sinyalleri toplar.
- Üç farklı frekans bandı kablosuz iletişimde önemli rol oynamaktadır. Bunlar; 1 GHz, 30 MHz ile 1 GHz arasındaki bant ve  $3 \times 10^{11}$  Hz ile  $2 \times 10^{14}$  Hz arasındaki bantlardır.
- Mikrodalga frekansları olarak adlandırılan 1 GHz ve çevresindeki sinyaller yüksek odaklanma ve bakış doğrultusunda (Line of Sight - LOS) yayılım gösterirler.
- Özellikle noktadan noktaya iletişimde yaygın bir şekilde kullanılırlar. Uyduların iletişimde mikrodalga kullanılmaktadır.

## İletim ortamları

- Radyo dalgaları olarak adlandırılan 30 MHz ile 1 GHz arasındaki bant omnidirectional yayılıma sahip olup ses ve görüntü yayıncılığı ile özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır.
- Diğer bir önemli bant olan  $3 \times 10^{11}$  Hz ile  $2 \times 10^{14}$  Hz arasındaki frekanslar ise infrared olarak adlandırılır ve kısa mesafede noktadan noktaya uygulamalar da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır

39

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - Broadcast radyo
  - Infrared

40

## Karasal mikrodalga

- **En yaygın kullanılan mikrodalga anteni parabolik çanak antendir.**
- En yaygın kullanılan boyutu ise 3m çapındadır.
- Karasal mikrodalga iletişimde antenler birbirlerine iyi odaklanmışlardır ve LOS iletişim yaparlar.
- Mikrodalga antenleri genellikle çok yüksek noktalara yerleştirilirler ve böylelikle engelleri aşarak daha geniş bir alana ulaşırlar.
- **Mikrodalga ile haberleşme uzak mesafelerde maliyet etkin çözüm olduğu için koaksiyel veya fiber optik yerine kullanılmaktadır.**
- Uygulama alanları olarak ses ve görüntü iletişimi başta gelmektedir. En önemli iki uygulama alanı ise hücresel sistemler ve sabit kablosuz erişim uygulamalarıdır.

41

## Karasal mikrodalga

- Mikrodalga iletişimi spektrumun büyük bir kısmını kapsamaktadır.
- **Mikrodalga iletişimde 2 GHz ile 40 GHz arasındaki bant kullanılmaktadır.**
- Frekans yükseldikçe bant genişliği ve veri oranı artmaktadır.

Band (GHz)	Bant genişliği (MHz)	Veri oranı (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

42

## Karasal mikrodalga

- **Mikrodalga ile yapılan iletişimde en büyük kayıplar iletim ortamındaki dirençten kaynaklanmaktadır.**
- Mikrodalga ve radyo dalgaları için desibel olarak kayıp miktarı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

- Burada,  $d$  iki nokta arasındaki uzaklığı ifade eder ve birimi metredir.
- $\lambda$  kullanılan sinyalin dalga boyunu ifade eder ve birimi metredir.
- Sinyalin dalga boyu küçüldükçe ve mesafe arttıkça da kayıp artmaktadır.

43

## Karasal mikrodalga

- Atmosferdeki direnç (attenuation) sağanak yağmur, dolu, sis, nem miktarı ile farklı frekansları farklı oranlarda etkilemektedir.
- **Uzak mesafelerdeki iletişim için kullanılan en yaygın bantlar 4 GHz ile 6 GHz arasındadır.**
- Bu frekanslardaki yığılmalardan dolayı 11 GHz bandı da kullanılmaya başlamıştır.
- Kablo TV için 12 GHz halihazırda kullanılmaktadır.
- Binalar arasındaki kısa mesafeli iletişimlerde 22 GHz bandı kullanılmaya başlamıştır.
- Daha yüksek frekanslar atmosferik dirençten dolayı kullanılmamaktadır.

44

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - **Uydu mikrodalga**
  - Broadcast radyo
  - Infrared

45

## Uydu mikrodalga

- Bir iletişim uydusu aslında mikrodalga iletişim antenidir.
- Bir uydu yeryüzündeki birden fazla mikrodalga alıcı ve vericisiyle (ground stations veya earth stations) iletişim yapabilir.
- Bir uydu bir frekans bandından sinyali alır (uplink) yükseltir ve başka bir frekans bandından (downlink) yer istasyonlarına gönderir.
- Bir uydu çok sayıda bandı kullanarak çalışır. Bunlara transponder denilmektedir.
- Uydular buldukları yörüngelere bağlı olarak bazı karakteristik özelliklere sahiptir. Bunlar,
  - Sinyalin iletim süresi
  - Yeryüzünün herhangi bir noktasından görünme süreleri
  - Sinyalin atmosferde aldığı yolun uzunluğu

46

## Uydu mikrodalga

- **Uydu iletişimi için en uygun frekans bantları 1 GHz ile 10 GHz arasındadır.**
- 1 GHz altındaki frekanslar için atmosferik şartlardan kaynaklanan gürültülerin etkisi çok fazladır.
- 10 GHz frekansın üstünde ise atmosferik dirençten dolayı kayıplar önemli oranda artmaya başlamaktadır.
- Günümüzdeki uyduların önemli bir kısmı uplink için 5,925 GHz ile 6,425 GHz arasındaki bandı, downlink için 3,7 GHz ile 4,2 GHz arasındaki bandı kullanmaktadır. Bu uydularla yapılan iletişim 4/6 GHz olarak ifade edilmektedir.

47

## Uydu mikrodalga

- 4/6 GHz bandı üzerindeki kanallar artık yetersiz kaldığından 12/14 GHz bandı kullanılmaya başlamıştır.
- Burada, uplink için 14 GHz ile 14,5 GHz arasındaki bant ve downlink için 11,7 GHz ile 12,2 GHz arasındaki bant kullanılmaktadır.
- Önümüzdeki yıllarda bu bandında yetersiz kalması durumunda 20/30 GHz bandının kullanılması planlanmaktadır.
- Bu band ise uplink için 27,5 GHz ile 30 GHz ve downlink için 17,7 GHz ile 20,2 GHz arasını kullanmaktadır.

48



## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - **Broadcast radyo**
  - Infrared

49

## Broadcast radyo

- **Mikrodalga ile broadcast radyo arasındaki en önemli farklılık mikrodalğanın directional olması ve broadcast radyonun omnidirectional olmasıdır.**
- Broadcast radyo iletişimde antenlerin parabolik çanak anten olması gerekli değildir ve birbirini görmesi de iletişimin kalitesini mikrodalgadaki kadar önemli oranda etkilememektedir.
- Radyo dalgaları 3 kHz ile 300 GHz arasındaki bandı kapsamaktadır.
- Broadcast radyo ile bu bandın sadece 30 MHz ile 1 GHz arasındaki kısmı ifade edilmektedir.
- Bu aralıkta, FM radyo kanalları ile VHF (Very High Frequency) ve UHF (Ultra High Frequency) bantları bulunmaktadır.
- Atmosferdeki iyonosfer tabakası 30 MHz altındaki sinyaller için yansıtıcı görevi yaparken 30 MHz üzerindeki sinyaller için geçirgendir.

50

## Broadcast radyo

- Atmosferdeki kayıp miktarı için mikrodalga iletişimde verilmiş olan aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

- Sinyalin ileildiği noktalar arasındaki mesafe arttıkça kayıp miktarı artmaktadır. Ayrıca sinyalin dalga boyu küçüldükçe (frekansı arttıkça) atmosferden dolayı sinyaldeki kayıp artmaktadır.
- **Broadcast radyo iletişimindeki en önemli etkilerden birisi çoklu yoldan kaynaklanan bozulmadır (multipath interference).**
- Sinyal farklı engellere çarparak yolunu değiştirir ve bir veri parçasına ait sinyaller farklı yolları izleyerek alıcıya ulaşır.
- Bunun sonucunda genliği ve varış süreleri farklı sinyaller alıcıda birleştirildiğinde orijinal sinyalden farklı bir sinyal elde edilmektedir.

51

## Ders konuları

- Sinyaller
  - Sinyallerin zaman düzleminde gösterimi
  - Sinyallerin frekans düzleminde gösterimi
- Analog ve sayısal veri iletimi
- Kanal kapasitesi
  - Nyquist kanal kapasitesi
  - Shannon kanal kapasitesi
- İletim ortamları
  - Karasal mikrodalga
  - Uydu mikrodalga
  - **Broadcast radyo**
  - Infrared

52

## Infrared

- Infrared iletişim için infrared ışığı modüle edilerek kullanılır.
- Alıcı ve vericinin aynı ortamda olmaları ve birbirine yakın mesafede olmaları gereklidir.
- Infrared ile mikrodalga arasındaki en önemli farklılık infrared sinyallerin duvar gibi katı cisimlerden geçememesidir.
- Mikrodalga sinyaller bu tür engellerden geçebilmektedirler.
- Infrared sinyaller kapalı ortamlardan dışarı çıkamadığı için güvenlik açısından avantaja sahiptir.
- Diğer bir önemli avantajı ise infrared bandının lisanssız olması ve herkes tarafından kullanıma açık olmasıdır.

53

## Ödev

- GPS sistemi hakkında detaylı araştırma ödevi hazırlayınız.

54