

BSM 422

KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ



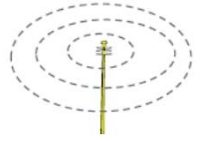
BSM 422
KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

3. Hafta

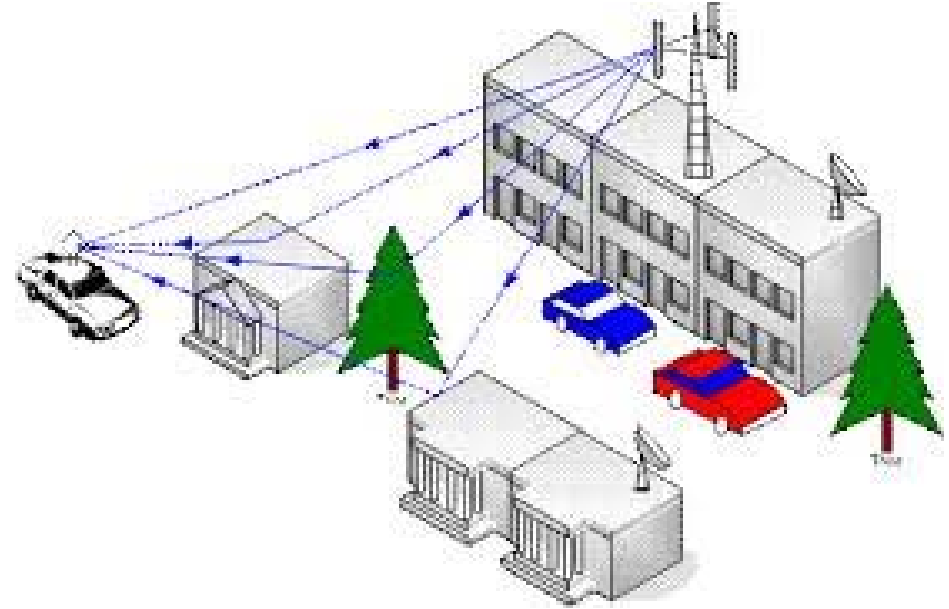
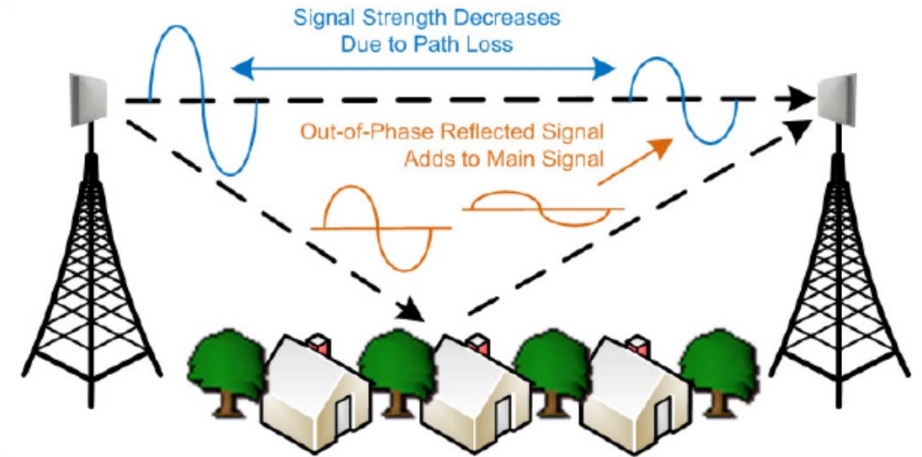
KABLOSUZ İLETİŞİMİN TEMELLERİ
Yayılım (Propagation)



Kablosuz İletim/Yayımlım Nasıl Olur



- ❑ Sinyal kablosuz ortamda nasıl yayılır?
- ❑ Gönderilen sinyal nasıl zayıflar?
- ❑ Alıcıda gözükken nasıl bir sinyaldir?





Antenler

(Antennas)



- ❑ Anten, radyo dalgalarını (elektromanyetik sinyalleri) **almak** ve **iletmek** için kullanılan iletken ya da iletkenlerden oluşan bir sistemdir.
- ❑ İki yönlü (**Full Duplex**) bir iletişimde, aynı anten hem alım hem iletim için kullanılabilir.
- ❑ Antenlerin, kablosuz sistemlerin performansı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır.



Antenler, **iletim** (transmission) aşamasında elektromanyetik dalgalar yayar, **alım** (reception) aşamasında ise havadaki elektromanyetik enerjiyi toplar.





Anten Çeşitleri

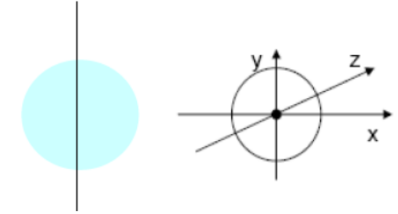
(Types of Antennas)



❑ İdeal anten (İzotropik)

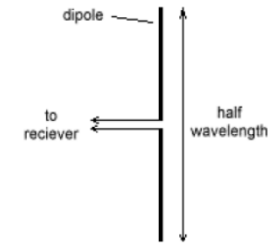
- Tüm yönlere eşit güçte sinyal gönderir.
- Teorik olarak referans antendir (mevcut değildir).
- Gerçek fiziksel antenlerle karşılaştırmak için kullanılır.

İşıma örüntüsü
(radiation pattern)

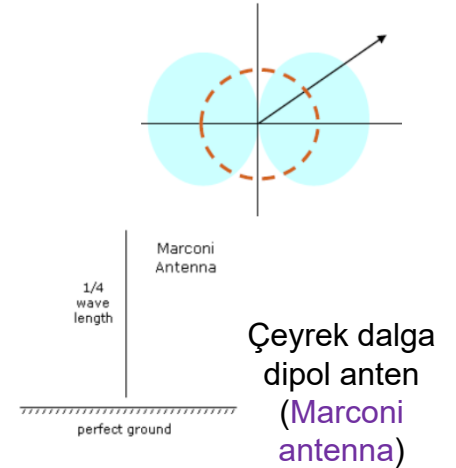


❑ Çift kutup anten (dipol anten)

- Çok yönlü (her yöne sinyal gönderebilen/alabilen, omnidirectional)
- En yaygın anten tipidir.
- Anten dalga boyu λ , $\lambda/2$, $\lambda/4$
- Cep telefonları, WLAN, Bluetooth, Radyo, TV



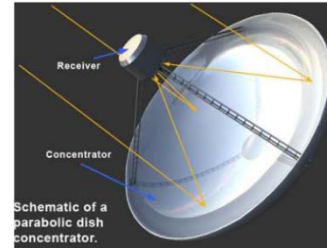
Yarım dalga dipol anten
(Hertz antenna)



Çeyrek dalga dipol anten
(Marconi antenna)

❑ Parabolik (reflective) yansıtıcı anten

- Anten kazancı yüksektir.
- Çanak alıcı için radyo ışınlarını toplar.





Anten Çeşitleri

(Types of Antennas)



- ❑ Antenler, bağlantı ve yerleştirilme şekillerine göre tek yöne ya da birkaç yöne yayın yapabilir.
- ❑ Gerçekte, güç yoğunluğu belli yönlerde diğer yönlerden fazladır.
- ❑ Çok Yönlü Antenler (Omnidirectional)

➤ Her yöne eşit güçte sinyal gönderebilen/alabilen antenlerdir.

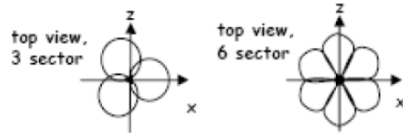
- ❑ Yönlendirilmiş antenler (Directional or Beam Antennas)

- İstenmeyen kaynaklardan parazitlerin azaltılmasını sağlar.
- Kapsama alanının daha iyi kontrolünü sağlar.
- Dizi yapısı gerektirir.
- En bilinen anten, **Yagi** antenidir.
- Çanak antenlerde yönlendirilmiş antendir.

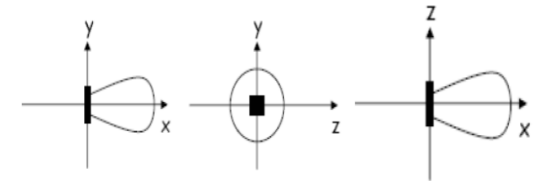


- ❑ Sektörel anten (Sectorized Antenna)

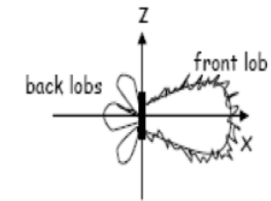
➤ Birkaç yönlendirilmiş antenin tek bir kutupta birleştirilmesidir.

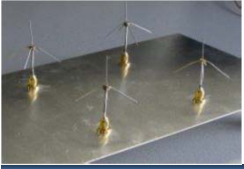


İdeal Işıma örüntüsü



Gerçek Işıma örüntüsü



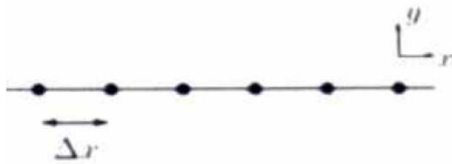


Anten Çeşitleri

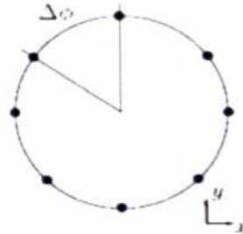
(Types of Antennas)

Anten Dizileri (Antenna Arrays)

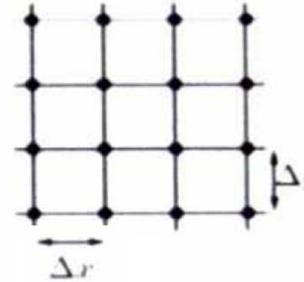
- Sinyalin daha kaliteli alınması için yönlü antenlerin biraraya getirilmesidir.
- Literatürde geometrik yapılarına göre isimlendirilirler.



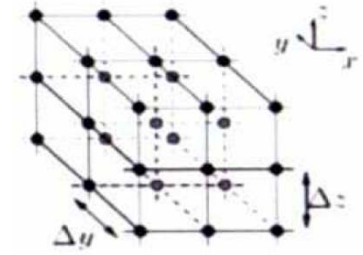
Doğrusal



Dairesel



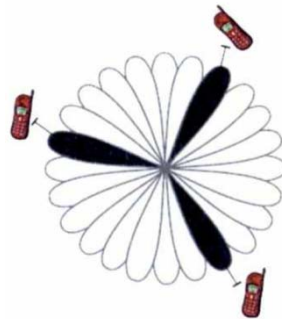
İki Boyutlu



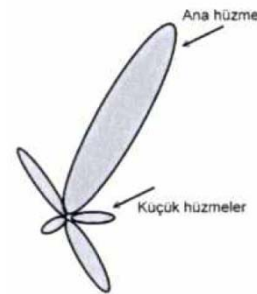
Üç Boyutlu

Akıllı Antenler (Smart Antennas)

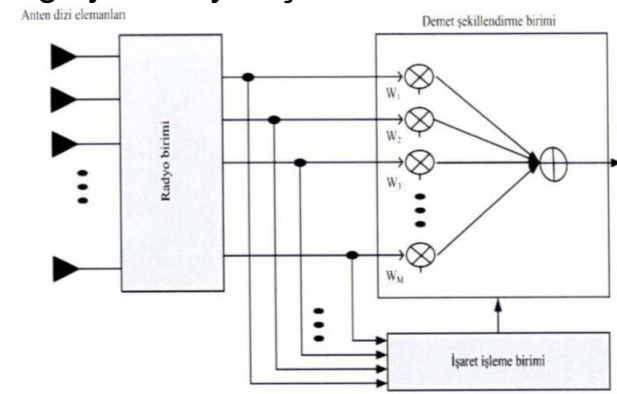
- Değişen ortam şartlarına göre ışıma diyagramını (radyo pattern) optimize eder.
- Çok sayıda yönlendirilmiş anten ve bu antenlerin kontrolünü sağlayan sinyal işleme devrelerinden oluşur.



Anahtarlama akıllı anten dizi



Uyarlamalı akıllı anten dizi



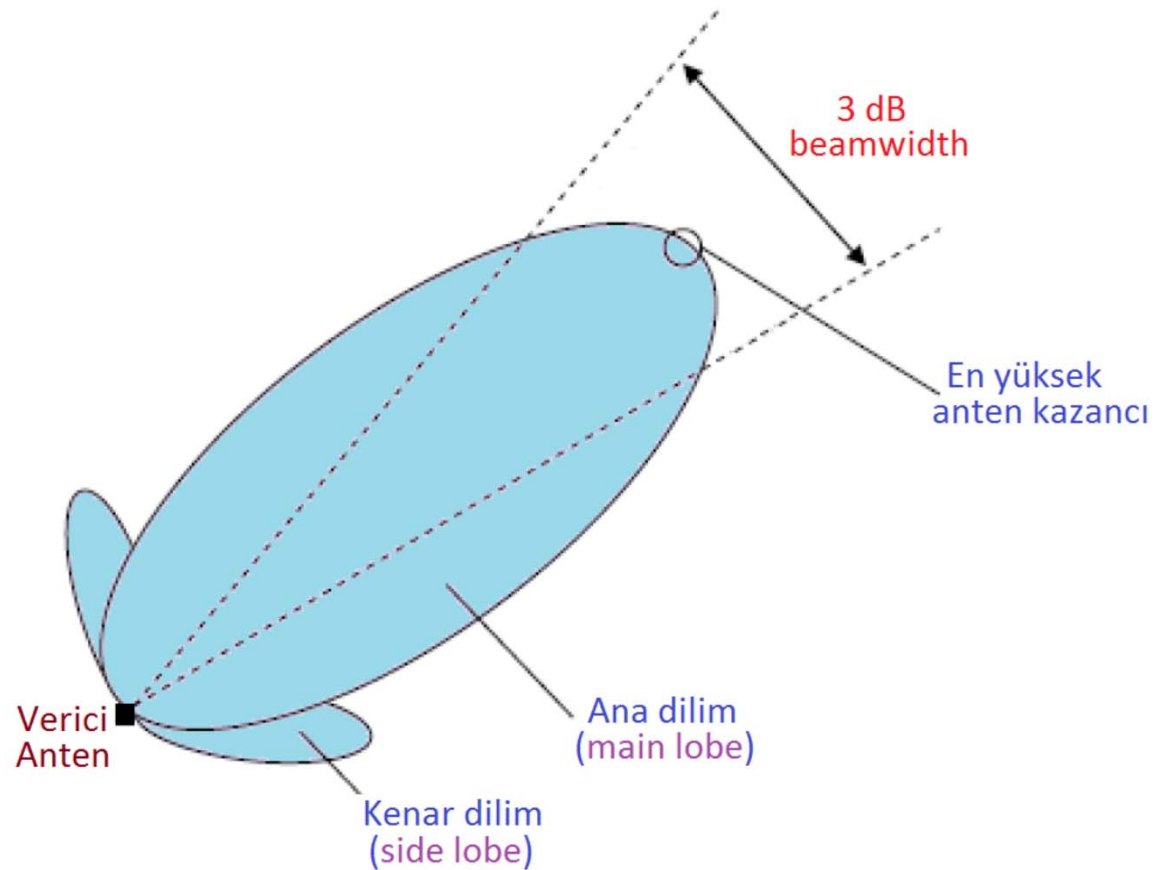


Anten Işıma Genişliği

(Beamwidth of Antenna)



❑ **Beamwidth**, anten ışımalarının 3 dB'lik düşüş oluşturduğu açısal genişliktir.





Anten Kazancı

(Antenna Gain)



- ❑ Belirli bir giriş gücü için, bir antendeki belli bir yöndeki güç çıkışının aynı giriş gücüne sahip bir izotropik antenin herhangi bir yöndeki güç çıkışına oranıdır.
- ❑ Yönlülük ölçütüdür.
- ❑ Anten kazancı, anten **etkin alanı** (effective area) ile ilgilidir.
 - Anten etkin alanı, antenin fiziksel şekli ve boyutu ile ilgilidir.

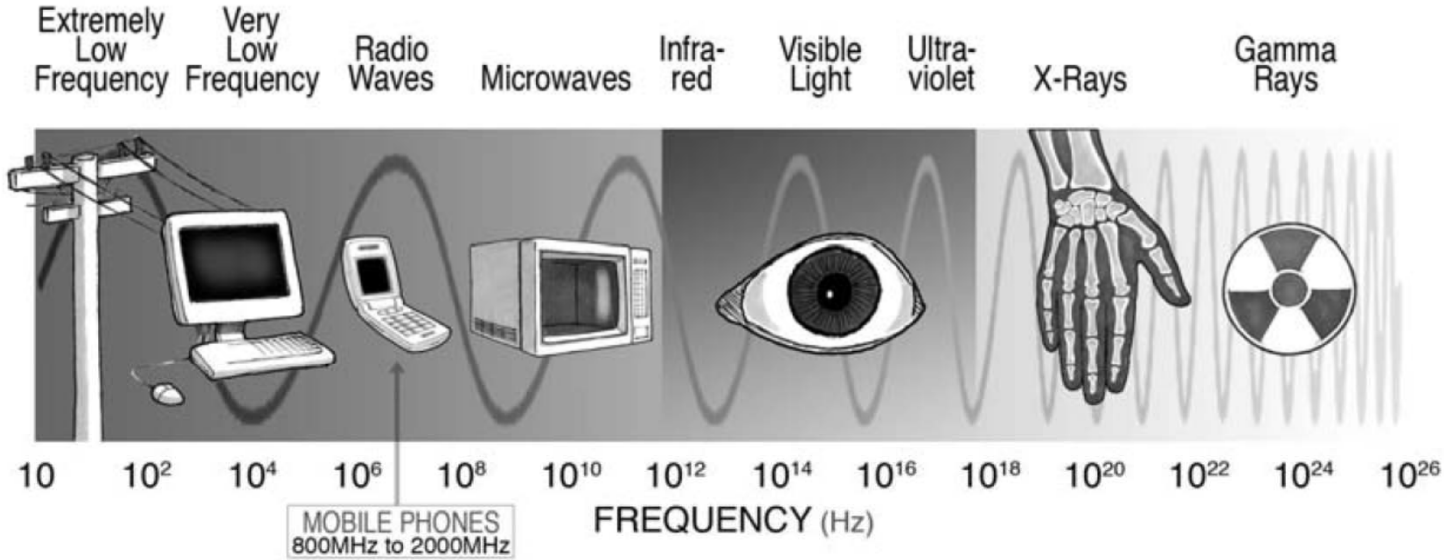
$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

- **G** : Anten kazancı
- **A_e** : Etkin alan
- **λ** : Taşıyıcı dalgaboyu
- **f** : Taşıyıcı frekansı
- **c** : Işık hızı

Antenna	Power Gain	Effective Area
Isotropic	1	$\lambda^2/(4\pi)$
Small Dipole or Loop	1.5	$(1.5\lambda^2)/(4\pi)$
Half-Wave Dipole	1.64	$(1.64\lambda^2)/(4\pi)$
Horn, mouth area A	$(10A)/\lambda^2$	$0.81A$
Parabola, face area A	$(7A)/\lambda^2$	$0.56A$
Turnstile	1.15	$(1.15\lambda^2)/(4\pi)$



Elektromanyetik Spektrum



Frequency Classifications

Designation	Frequency	Wavelength
ELF - Extremely low frequency	3Hz to 29 Hz	100,000 km to 10,000 km
SLF - Super low frequency	30 Hz to 299 Hz	10,000 km to 1000 km
ULF - Ultra low frequency	300 Hz to 2999 Hz	1000 km to 100 km
VLF - Very low frequency	3 kHz to 29 kHz	100 km to 10 km
LF - Low frequency	30 kHz to 299 kHz	10 km to 1 km
MF - Medium frequency	300 kHz to 2999 kHz	1 km to 100 m
HF - High frequency	3 MHz to 29 MHz	100 m to 10 m
VHF - Very high frequency	30 MHz to 299 MHz	10 m to 1 m
UHF - Ultra high frequency	300 MHz to 2999 MHz	1 m to 10 cm
SHF - Super high frequency	3 GHz to 29 GHz	10 cm to 1 cm
EHF - Extremely high frequency	30 GHz to 299 GHz	1 cm to 1 mm

Source: Banks & Thompson for AVISIAN Publications



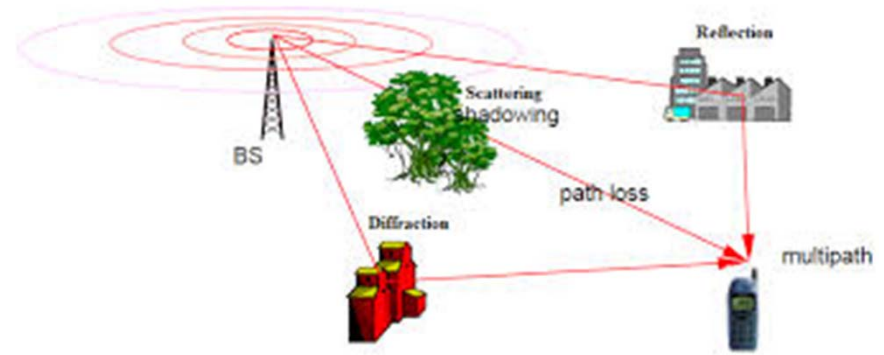
Kablosuz İletişimin Teknik Zorlukları

(Technical Challenges of Wireless Communications)

Kablosuz iletişimin doğasından kaynaklanan birçok teknik zorlukları mevcuttur.

❑ Radyo Yayılımı (RF Propagation)

- Çok yollu ulaşım (Multipath)
- Yansima (Reflection)
- Kırılma (Diffraction)
- Saçılma (Scattering)



❑ Sınırlı Spektrum (Spectrum Limitations)

- Kablosuz sistemlerin kullanacağı spektrumlar/bant genişlikleri sınırlıdır.

❑ Sınırlı Enerji (Energy Limitations)

- Kablosuz cihazların büyük bir çoğunluğu şarj edilebilir batarya kullanır.

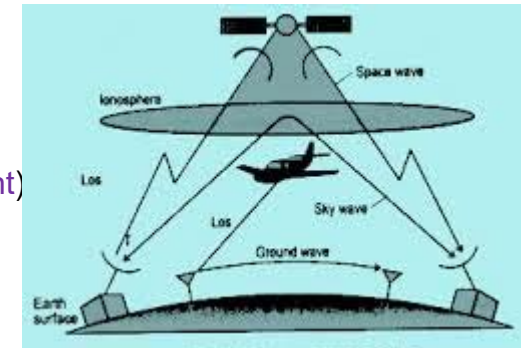
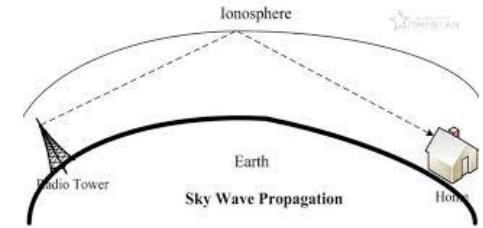
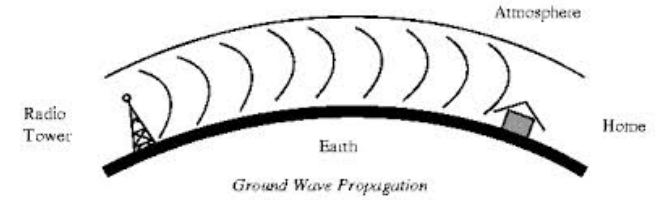
❑ Kullanıcı Hareketliliği (User Mobility)

- Farklı hızlara sahip kullanıcıların hareketlilik desteği,
- Bir erişim noktasından diğerine geçerken verilen servislerin devam ettirilmesi (handover)

Radyo Dalgalarının Yayılımı

(RF Propagation)

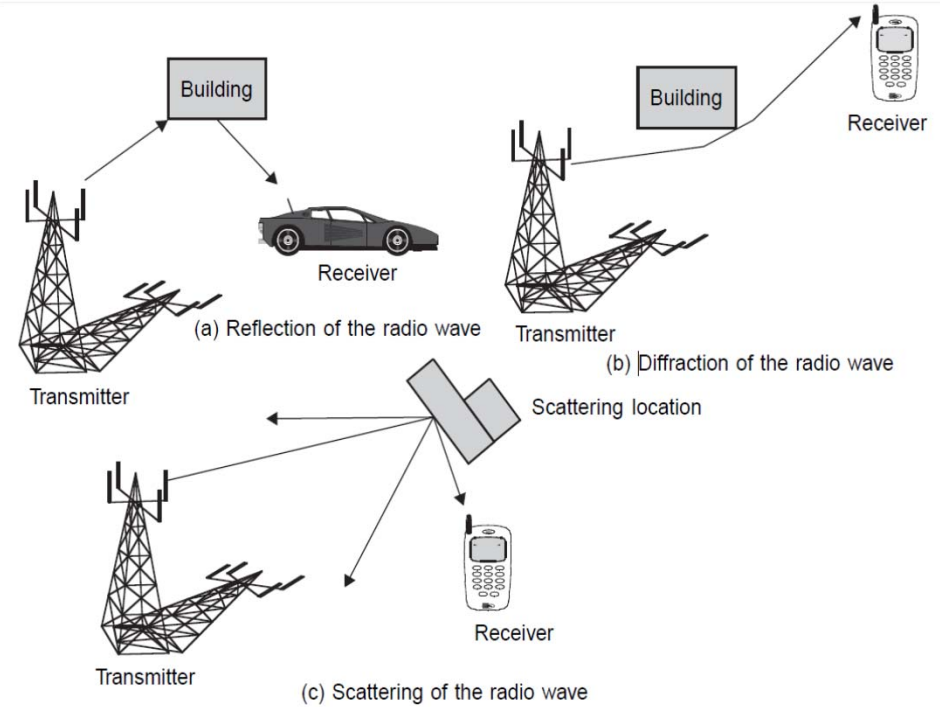
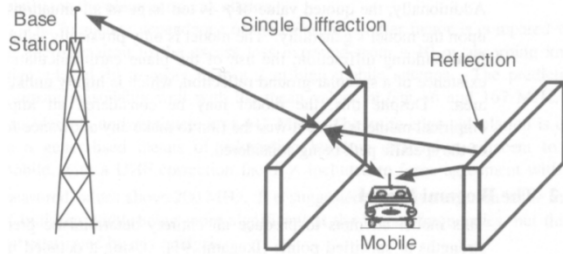
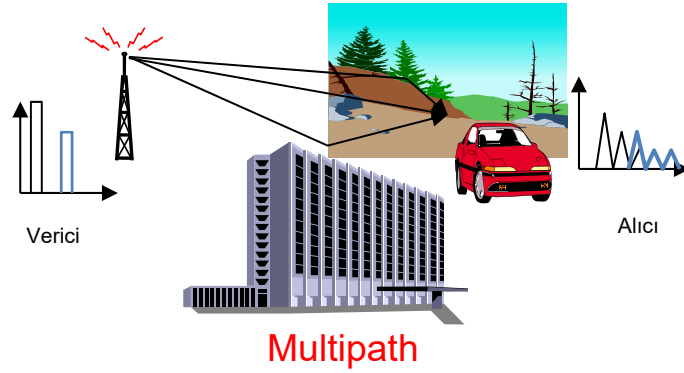
- ❑ Kablosuz ortamda iletim kanalı, verici (transmitter, TX) ve alıcı (receiver, RX) arasındaki radyo kanalıdır.
- ❑ Radyo dalgaları, vericiden alıcıya 4 farklı yol ile yayılabilir.
- Yer (Toprak) dalgaları (Ground wave propagation)
 - Yer kabuğunu takip eder.
 - Elektromanyetik dalgalar yer kabuğu üzerinde akım oluşturur, sinyali yavaşlatır ve bükür.
 - Çok uzun mesafelerde yol alabilir. 2 MHz kadar olan frekanslarda kullanılır.
 - Örnek: AM Radyo
- Gökyüzü dalgaları (Sky wave propagation)
 - Sinyal atmosferdeki iyonosfer tabakası ve yer kabuğu arasında yansıtılır.
 - Sinyal iyonosfer tabakası ve yer kabuğu arasında birçok defa gidip gelebilir.
 - Yansıma etkisi ışın kırılmasıyla oluşur.
 - Örnek: Amatör telsiz iletişimi
- Serbest Uzay (Boşluk) Dalgaları (Free space wave propagation)
 - Sinyal yayan ve alan antenler birbirlerinin görüş alanı içerisinde olmalıdır (line-of sight)
 - Uydu iletişimi – 30 MHz'in üzerindeki sinyaller iyonosfer tarafından yansıtılmaz.
 - Kırılma (refraction)
- Açık alan dalgaları (Open field waves)



Kablosuz Yayılımın Karakteristikleri

(Wireless Propagation Characteristics)

- ❑ Kablosuz ortamda alıcı ile verici arasındaki iletişim kanalları çok çeşitlidir.
- ❑ Verici tarafından gönderilen sinyaller yansıma (**reflection**), kırılma (**diffraction**) ve dağılma (**scattering**) gibi etkiler nedeniyle alıcıya birçok kanalı kullanarak farklı güçlerde ve farklı zaman gecikmeleriyle ulaşabilirler (**multipath**).

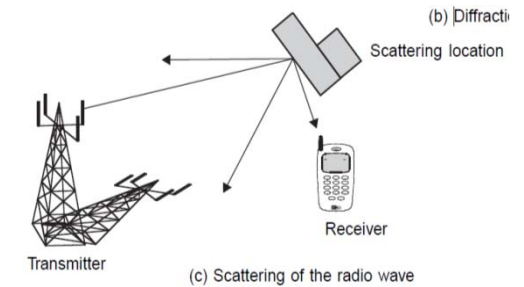
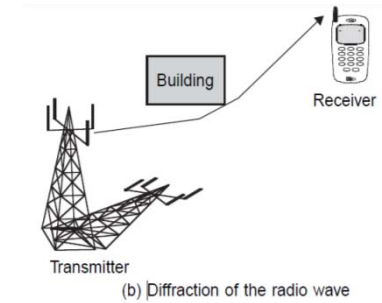
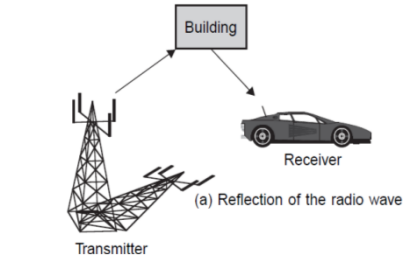


Alıcıya ulaşan işaret gücündeki (zayıflama) değişimler, **sönümlenme (fading)** olarak adlandırılır.

Kablosuz Yayılımın Karakteristikleri

(Wireless Propagation Characteristics)

- ❑ Yansıma (**reflection**), gönderilen elektromanyetik bir sinyalin kendi dalga boyundan daha büyük ve içine giremeyeceği bir nesneye (yüzeye) çarptığı zaman yön değiştirmesidir.
- ❑ Kırılma (**diffraction**), gönderilen elektromanyetik sinyalin kablosuz ortamda yayılırken farklı yoğunluktaki bir ortama geçmesi durumunda yayılma hızının değişmesiyle farklı yönde yayılmaya devam etmesidir.
- ❑ Dağılma/Saçılma (**scattering**), gönderilen elektromanyetik sinyalin dalga boyuna yakın ya da daha küçük boyutlarda ve içine giremeyeceği bir nesneye çarpması ile daha zayıf elektromanyetik dalgalar halinde her yöne doğru yayılmasıdır.



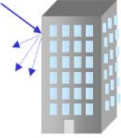
Kablosuz Yayılımın Karakteristikleri

(Wireless Propagation Characteristics)

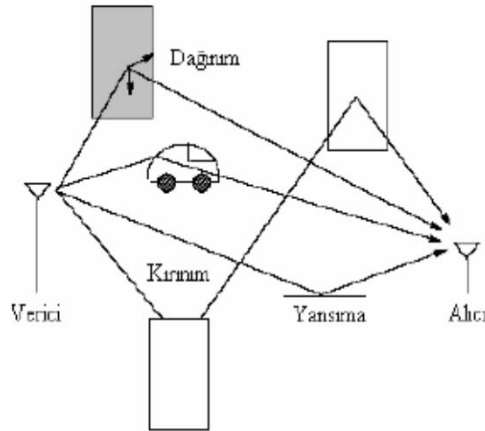
- ❑ **Gölgeleme** (**shadowing**), alıcı ve verici arasındaki engeller nedeniyle sinyal gücünün soğurulmasıdır (**absorption**). Sinyal gücündeki gölgelemeden kaynaklanan değişim, alıcı ve verici arasındaki engellerin boyutu ile orantılıdır.



- ❑ Alıcı ve verici arasındaki büyük engellerden geçemeyen sinyaller, küçük engellerden yansırarak alıcıya ulaşır. Ancak oluşan gecikmeler **doppler shift** oluşmasına neden olur.



- ❑ Sinyaller engellere çarparak dağınık yansımalar (**scattering**) yapabilir.
- ❑ Sonuç olarak, sinyaller, yansıma, kırınım ve dağınımlar neticesinde çoğullanır (**multipath**). Çoğullamadan kaynaklanan sinyal bileşenleri alıcıda, sinyal gücünde zayıflama, zaman gecikmesi ve görüş hattı (**line of sight**) sinyal yolundan faz ya da frekans kaymalarına neden olur. Bu durum sönümlenme (**multipath fading**) olarak adlandırılır.



Engel Yapısı	Kayıp (dB)
Kumaş	1.4
Çift tahtalı	3.4
Folyo yalıtımı	3.9
Beton	13
Alüminyum kaplama	20.4
Bütün metaller	26

Kablosuz Yayılımın Karakteristikleri

(Wireless Propagation Characteristics)

- Genel olarak alınan sinyaldeki değişim, alıcı-verici arasındaki mesafeye bağlı (Path Loss) **çok yavaş değişimler**, gölgelemeye (shadowing) bağlı **yavaş değişimler** ve çok yollu iletişime (multipath) bağlı **hızlı değişimler** şeklinde 3 seviyede tanımlanır.

① Yol Kaybı (Path Loss)

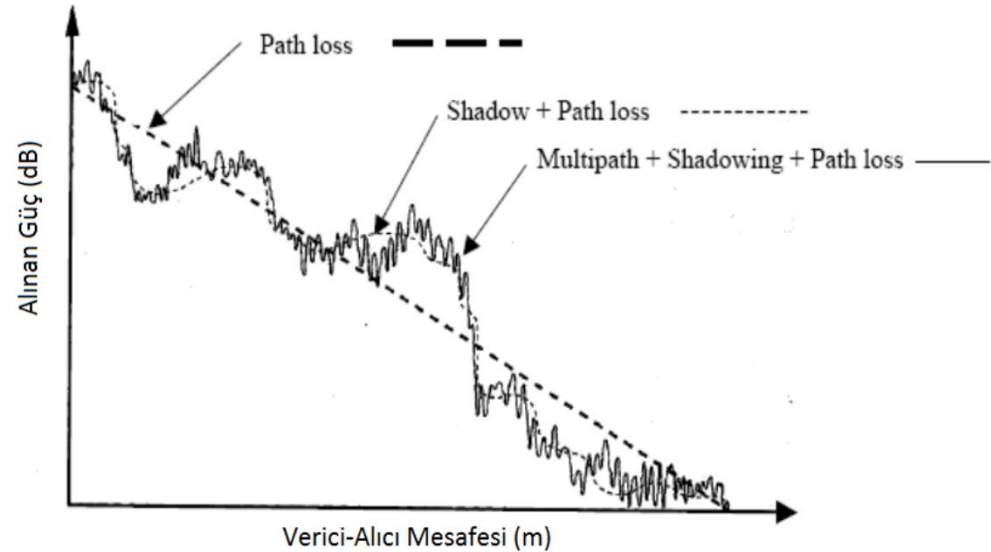
- Vericiden iletilen gücün alıcıya ulaşana kadar mesafeye bağlı zayıflamasıdır.
- Verici ve alıcı arasındaki engellemeleri içermez.

② Gölgeleme (shadowing)

- Sinyalin iletildiği ortamdaki nesnelerin yayılım yolunu kapatması neticesi sinyal gücünde oluşan değişimlerdir.
- Yansıma, kırınım, saçılma gibi durumlardan dolayı sinyal gücündeki zayıflamalar gölgeleme olayı içerisinde değerlendirilir.

③ Çok yolluluk (multipath)

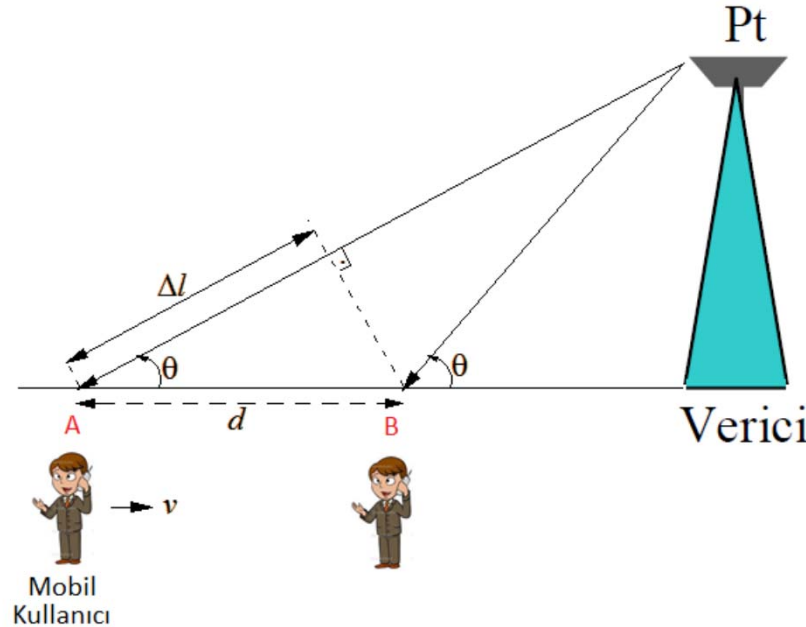
- Kablosuz iletişimde sinyal yansıma, kırınım ve saçılma gibi etkilerden dolayı farklı güçlerde ve birden fazla yoldan alıcıya ulaşır.
- Alınan sinyalin genliğinde, fazında ve geliş açısında hızlı değişimler vardır.
- Vericiden gönderilen tek bir darbe (sinyal), alıcıda darbe dizisi şeklindedir.



Kablosuz Yayılımın Karakteristikleri

(Wireless Propagation Characteristics)

- ❑ **Doppler Shift (kayması)**, mobil kullanıcıların hızından dolayı gönderilen sinyaller ve bileşenlerinin alıcıya gerçek frekansından farklı ulaşmasıdır.
- ❑ Doppler Kayması (*verici veya alıcının hareketinden dolayı alıcı frekansındaki kayma/değişim*), mobil alıcının **hareket yönü** ve **hızıyla** orantılı olarak değişir.



$$f_d = \frac{f_{\sin yal} v_{doppler}}{c}$$

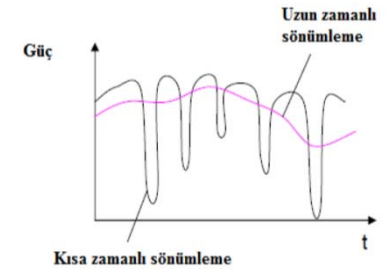
$$\Delta l = d \cos \theta = v \Delta t \cos \theta \quad \Delta \phi = \frac{2\pi \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos \theta \quad f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

Sönümlenmeli Kanal Sınıflandırması

(Fading Channel Classification)

① Büyük Ölçekli Sönümlenmeli (Large Scale Fading)

- Bu sönümlenme çeşitleri uzak mesafelerde (yüzlerce ya da binlerce metre) değişim gösterir.
- Yol kaybı ve gölgelemeden kaynaklanan sinyal zayıflamaları büyük ölçekli sönümlenmedir.
- Yol kaybı hesabında, verici ile alıcının birbirini görme durumu ile bulundukları ortam (serbest uzay, kapalı bir bölge, şehir vb.) önemlidir.
- Gölgelemeden kaynaklanan sönümlenmeleri karakterize etmek için istatistiki modeller kullanılır (Örneğin **log-normal shadowing**)



② Küçük Ölçekli Sönümlenmeli (Small Scale Fading)

- Bu sönümlenme çeşitleri çok kısa mesafelerde (birkaç dalga boyu) ve çok kısa sürelerde (sn) alınan sinyal gücünde değişim gösterir.
- Çok yolluluktan kaynaklanan sinyal zayıflamaları küçük ölçekli sönümlenmedir.
- Multipath'ten kaynaklanan sönümlenmeleri karakterize etmek içinde istatistiki modeller kullanılır. (Örneğin **Rayleigh, Rician**)

Kablosuz Kanal Modellemesi

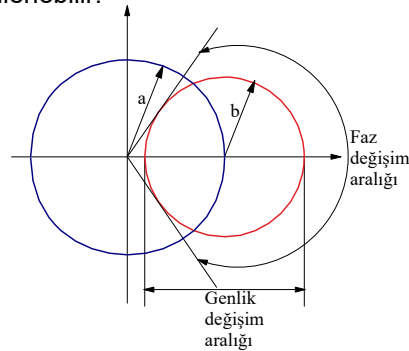
(Wireless Channel Modeling)

- ❑ Kablosuz (radyo) kanalı, kablosuz iletişim sistemlerinin başarımını belirlemede en önemli etkindir. Çünkü kanal modellemesi ile vericiden alıcıya bir sinyali etkileyen fiziksel süreçlerin/işlemlerin hepsi hesaplanabilir.
- ❑ Serbest Uzay, (free space),
 - Bir tek alıcı ve vericinin olduğu, alıcı ve verici arasında (görüş alanında, line-of-sight, LoS) herhangi bir engelin bulunmadığı uzaydır.

❑ İstatistiksel Kanal Modelleme,

➤ Rayleigh kanal modeli

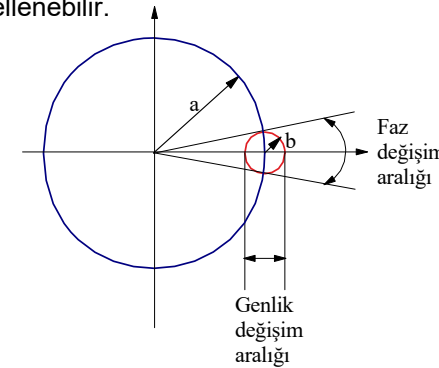
- Verici ile alıcının birbirini görmediği durumlarda, alınan işaretin genlik ve fazında büyük değişimler meydana gelebilir.
- Rayleigh dağılım fonksiyonu ile alınan işaretin zarfındaki değişimler modellenenebilir.



$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp(-r^2 / 2\sigma^2), & 0 \leq r \leq \infty \\ 0, & r < 0 \end{cases}$$

➤ Ricean kanal modeli

- Verici ile alıcının birbirini gördüğü durumlarda alınan işaretin genlik ve fazında büyük değişimler oluşmaz.
- Doğrudan görülen bileşenin genliği diğer bileşenlere göre daha büyüktür.
- Ricean dağılım fonksiyonu ile alınan işaretin zarfındaki değişimler modellenenebilir.



Kablosuz İletimi Zayıflatan Nedenler

(Wireless Transmission Impairments)

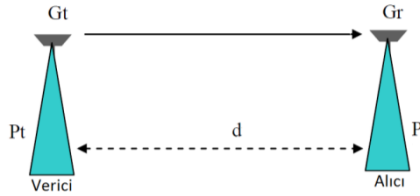
- ❑ **Zayıflama ve zayıflamaya bağlı bozulma** (attenuation and attenuation distortion)
 - Sinyal gücü mesafe ile orantılı olarak azalır.
 - Alınan sinyalin doğru olarak yorumlanması (işlenmesi) için belirli bir gücün üstünde olmalıdır.
- ❑ **Mesafeye bağlı dağılma** (free space loss)
- ❑ **Girişim** (interferences)
- ❑ **Atmosferik emilim** (atmospheric absorption)
 - Su buharı ve oksijen zayıflamayı artırır.
- ❑ **Çoklu yol yayılım** (multipath propagation)
- ❑ **Kırılma** (refraction)
 - Sinyaller atmosferde yol aldıkça eğilirler.
- ❑ **Isıl gürültü** (thermal noise)
 - Elektronik elemanlardan kaynaklanır. (Elektronların hareketinden dolayı)
 - White noise olarakta adlandırılır.
 - Sıcaklığın bir fonksiyondur. Elimine edilemez.
- ❑ **Zamanla değişen kanal** (time-variant channel)



Serbest Uzay Yayılım Modeli

(Free Space Propagation Model)

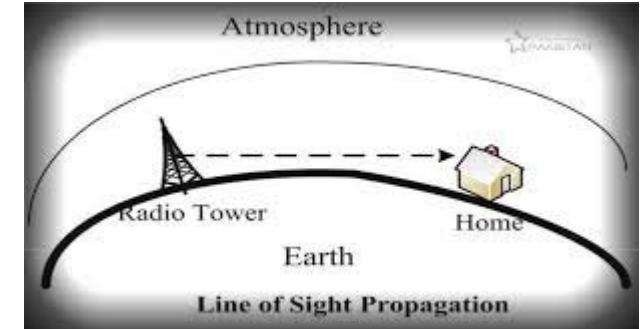
- ❑ Serbest Uzay, (free space), bir tek alıcı ve vericinin olduğu, alıcı ve verici arasında (görüş alanında, line-of-sight, LoS) herhangi bir engelin bulunmadığı uzaydır.
- ❑ Serbest uzay yayılım modeli ise serbest uzay ortamında alınan sinyal gücünü tahmin etmek için kullanılır.
 - Örnek: Uydu iletişim sistemleri ve mikrodalga direk görüş radyo hatları



$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

❑ Alınan Güç,

- P_r : Alınan güç
- P_t : Gönderim gücü
- λ : Dalgaboyu
- G_t : Gönderen antenin kazancı
- G_r : Alıcı antenin kazancı
- d : Alıcı ile verici arasındaki mesafe (m)
- L : Sistem kayıp faktörü (filtre kayıpları, $L \geq 1$)



Anten kazancı anten etki alanı (A_e) ile ilgilidir.
 A_e sinyalin ne kadar iyi alınabildiğinin göstergesidir.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Yol Kaybı

(Path Loss, PL)

- Yol kaybı (Path Loss, PL), kısaca gönderilen güç ile alınan güç arasındaki orandır.

$$PL = \frac{P_t}{P_r} \Rightarrow P_r = \frac{P_t}{PL}$$

- Yol kaybı (Path Loss, PL), efektif iletilen güç ve alınan güç arasındaki sinyal zayıflamasını gösterir ve birimi dB'dir.

$$PL (dB) = 10 \log (PL) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right)$$

- Eğer ortamın path loss modeli bilinirse, iki ağ düğümü (alıcı ve verici) arasındaki radyo kanalı tahmin edilebilir.

Path Loss Modelleri

- Serbest Uzay Yayılım Modeli (Free Space Propagation Models)

- Açık Alan Yayılım Modelleri

(Outdoor Propagation Models)

- Log-distance path loss model,
- Log-normal shadowing model,
- Okumura Modeli
- Hata Modeli
- Longley-Rice
- Durkin

- Kapalı Alan Yayılım Modelleri

(Indoor Propagation Models)

- Partition Losses,
- Log-distance,
- Ericsson Multiple Breakpoint,
- Attenuation Factor Models
- Cost231 Modeli



Yol Kaybı

(Path Loss, PL)

- ❑ Verici ya da alıcı güçleri **dBm** ya da **dBW** cinsinden kullanılmak istenebilir.

$$P(dBm) = 10 \log \left(\frac{P(mW)}{1mW} \right)$$

$$P(dBW) = 10 \log \left(\frac{P(W)}{1W} \right)$$

$$dBm = dB - 30$$

- ❑ **Örnek:** 50w güce sahip bir vericinin gücünü dBm ve dBW cinsinden hesaplayınız.

$$P(dBm) = 10 \log \left(\frac{P(mW)}{1mW} \right) = 10 \log (50 * 10^3) = 47 \text{ dBm}$$

$$P(dBW) = 10 \log \left(\frac{P(W)}{1W} \right) = 10 \log (50) = 17 \text{ dBW}$$

- ❑ **Örnek:** Verici gücü 50W, taşıyıcı frekansı 900 MHz, verici ve alıcı anten kazançları 1 olan bir haberleşme sisteminde alıcının 100m mesafedeki gücünü hesaplayınız? (L=1).

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} = 50 * \frac{1 * 1 * \left(\frac{3 * 10^8}{900 * 10^6} \right)^2}{(4\pi)^2 * (100)^2 * 1} = 3.5 * 10^{-6} W = 3.5 * 10^{-3} mW$$

$$P_r(dBm) = 10 \log \left(\frac{P_r(mW)}{1mW} \right) = 10 \log (3.5 * 10^{-3} mW) = -24.5 \text{ dBm}$$



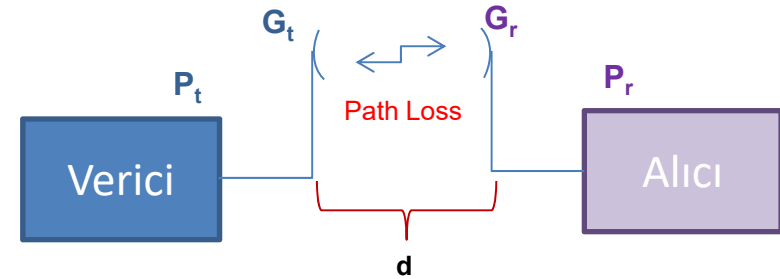
Serbest Uzay Yayılım Modeli Yol Kaybı

(Free Space Propagation Model Path Loss)

□ Serbest Uzay Yayılım modelinin yol kaybı;

- P_r : Alınan güç
- P_t : Gönderim gücü
- λ : Dalgaboyu
- G_t : Gönderen antenin kazancı
- G_r : Alıcı antenin kazancı
- d : Alıcı ile verici arasındaki mesafe (m)

$$PL (dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$



□ Anten kazançları ihmal edilirse (izotropik antenler için $G_t=G_r=1$)

$$PL (dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

□ Yukarıda verilen serbest uzay modeli, verici antenden çok uzak mesafeler için geçerlidir.

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Fraun - Hofer Far field Region

$$d_f \gg D \text{ and } d_f \gg \lambda$$

D: Antenin en büyük fiziksel boyutu.

d_f : Uzak alan mesafesi (far-field distance)

□ Frekans ve uzaklığın karesi ile doğru orantılıdır.

□ Daha çok uzak mesafeler için geçerlidir. Yakın mesafeler için tutmayabilir.



Serbest Uzay Yayılım Modeli Yol Kaybı

(Free Space Propagation Model Path Loss)

- ❑ Herhangi bir mesafede alınan güç $P_r(d)$, bir referans noktada alınan güç $P_r(d_0)$ ile ilişkilidir. ($d > d_0$)

$$P_r(d) = P_r(d_0) * \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 \quad d \geq d_0 \geq d_f$$

- ❑ Yukarıdaki ifadeyi, 10 ile çarpıp her iki tarafın logaritmasını alırsak,

$$P_r(d) \text{ dBm} = 10 \log \left[\frac{P_r(d_0)}{0.001 \text{ W}} \right] + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) \quad d \geq d_0 \geq d_f$$



Referans mesafesi, d_0 pratik sistemlerde (özellikle 1-2 GHz bölgesinde) bina içi (indoor) ortamlar için 1m, açık alan (outdoor) ortamlar için 100m yada 1km seçilir.

Log Distance Path Loss Model

- ❑ Yol kaybı için ortak bir deneysel (**empirical**) modeldir.
- ❑ Ortalama alınan sinyal gücünün logaritmik olarak zayıfladığı ölçümler ile görülmüştür.

$$\overline{PL}(d)_{dB} = \overline{PL}(d_0)_{dB} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right)$$

- **PL(d₀)** : dB cinsinden referans mesafedeki (d₀) ortalama yol kaybıdır.
- **n** : Yayılım ortamına bağlı bir katsayı/değerdir.
- **d** : Alıcı ile verici arasındaki mesafe (m)

Ortam	Path loss exponent, n
Serbest uzay (Free Space)	2
Kentsel alan	2.7 - 3.5
Gölgeli kentsel alan	3 - 5
Bina içi, direk görüş var	1.6 - 1.8
Bina içi, direk görüş yok	4 - 6
Fabrika içi, direk görüş yok	3 - 4

Log-normal Shadowing Path Loss Model

❑ Gölgeleme (shadowing)

- İletişim ortamında sinyalin aldığı yol boyunca çeşitli nesneler mevcut ise ve bu nesneler yayılım yolunu engelliyorsa/kapatıyorsa alınan sinyal gücünde değişimler gözlemlenecektir.

$$\overline{PL}(d)_{dB} = \overline{PL}(d_0)_{dB} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma(dB)$$

- $X_\sigma(dB) = 10\log(X)$ standart sapması σ olan normal olarak dağılımlı (zero-mean Gaussian) bir rasgele değişkendir (shadowing effects).

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB]$$

Okumura Modeli

- ❑ 1968 yılında Yoshihisa Okumura tarafından saha ölçümlerine dayalı olarak tanımlanmış, özellikle büyük şehirlerde kullanılan deneysel yol kaybı modelidir.
- ❑ Okumura Modeli, 1 – 100 km uzaklık, 150 – 1500 MHz çalışma frekansı ve 30 – 100 m baz istasyonu yüksekliği durumlarında kullanılmaktadır.
- ❑ Tahmin edilen ile ölçülen model arasındaki standart sapması 10 -14 dB'dir.

$$P_L (d) \text{ dB} = L(f_c, d) + A_{mu}(f_c, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{AREA}$$

- L : Sistem kayıp faktörü
- f_c : Taşıyıcı frekans
- d : Alıcı ile verici arasındaki mesafe(m)
- A_{mu} : Ortalama zayıflama parametresi (Okumura'nın gerçekleştirmiş olduğu ölçümlere göre), referans tabloya göre değer alıyor
- $G(h_t)$: Kazanç faktörü baz istasyonu yüksekliği
- $G(h_r)$: Kazanç faktörü mobil kullanıcı yüksekliği
- G_{AREA} : Çevresel ortamın kazancı

$$G(h_t) = 20 \log_{10} \left(\frac{h_t}{200} \right), 30 \text{ m} < h_t < 1000 \text{ m}$$

$$G(h_r) = \begin{cases} 10 \log_{10} \left(\frac{h_r}{3} \right), h_r \leq 3 \text{ m} \\ 20 \log_{10} \left(\frac{h_r}{3} \right), 3 \text{ m} < h_r < 10 \text{ m} \end{cases}$$



Hata Modeli

- ❑ 1980 yılında Masaharu Hata, Okumura'nın alan mobil radyo servislerindeki yayılım kaybı deneysel modeli matematiksel modele uygun hale getirmiştir.
- ❑ Hata modeli, büyükşehir (**urban**), orta ölçekli şehirler (**suburban**), kırsal alanlar (**rural**) olmak üzere 3 temel durumdan oluşmaktadır.
- ❑ Bu model, verici ve alıcı arasındaki alanda bulunan fiziksel engelleri homojen kabul eder (engellerin gerçek özelliklerini dikkate almaz, belirli bölgelere yönelik düzeltme faktörlerini kullanır).
 - Hata modeli, verici ve alıcı arasındaki engellerden kaynaklanan çoklu yol yayılımı, Doppler ve sönüm etkilerini dikkate almaz.
- ❑ Hata modelinin kullanıldığı durumlar:
 - Frekans (f) : 150 – 1500 MHz
 - Verici ve alıcı arasındaki uzaklık (d) : 1 – 20 km
 - Vericinin anten yüksekliği (h_t) : 30 – 200 m
 - Alıcının anten yüksekliği (h_r) : 1 – 10 m

Hata Modeli

Urban Hata Modeli

❑ Büyük şehirler için geçerlidir.

$$P_{L,urban}(d) \text{ dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d)$$

❑ Okumura modelinde kullanılan parametreler geçerlidir.

- 69,55 değeri ölçüm Tokyo'da yapılan ölçümlerden elde edilen bir sabittir.
- $a(h_r)$: Kapsama alanına bağlı olarak mobil anten yüksekliği için düzeltme faktörü (correction factor)
- Parametre sayısının azlığı nedeniyle çok kısa hesaplama zamanına sahiptir.

❑ Küçük ve orta ölçekli şehirler için

$$a(h_r) = (1.1 \log_{10}(f_c) - .7)h_r - (1.56 \log_{10}(f_c) - .8) \text{ dB}$$

❑ Büyük şehirler için (frekans > 300 MHz)

$$a(h_r) = 3.2(\log_{10}(11.75h_r))^2 - 4.97 \text{ dB}$$



Hata Modeli

Suburban Hata Modeli

❑ Orta ölçekli şehirler için geçerlidir.

$$P_{L,\text{suburban}}(d) = P_{L,\text{urban}}(d) - 2[\log_{10}(f_c / 28)]^2 - 5.4$$

Rural Hata Modeli

❑ Kırsal alanlar için geçerlidir.

$$P_{L,\text{rural}}(d) = P_{L,\text{urban}}(d) - 4.78[\log_{10}(f_c)]^2 + 18.33\log_{10}(f_c) - K$$

❑ K parametresinin aralık değeri: 35.94 (country side) – 40.94 (desert) dB

❑ Bu formüller çok düz bir yolda dalga yayılımını tanımlarlar. Çünkü verici ve alıcı arasındaki arazi profili hesaba katılmaz. Eğer verici ve alıcı arasında bir tepe varsa sonuçlar etkilenir. Ek olarak alıcının etrafındaki yerel etkiler örneğin yansıma ihmal edilir.

COST231 Modeli

- ❑ European Cooperative for Scientific and Technical Research (EURO-COST) tarafından HATA modelini referans alarak oluşturulmuştur.

$$P_{L,urban}(d) \text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_t) - \alpha(h_r) + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) + C_M$$

- ❑ Hata Modelinde kullanılan parametreler geçerlidir.

➤ C_M : orta ve küçük ölçekli şehirler için 0 dB, büyük şehirler için 3 dB

- ❑ Hata modelinin kullanıldığı durumlar:

- Verici ve alıcı arasındaki uzaklık (d) : 1 – 20 km
- Frekans : 1.5 – 2 GHz
- Vericinin anten yüksekliği (h_t) : 30 – 200 m
- Alıcının anten yüksekliği (h_r) : 1 – 10 m

Path Loss Hesaplama

❑ **Örnek:** GSM 900 sisteminin kullanıldığı, 10 km mesafeden alınan bir radyo sinyali için yol kaybını serbest uzay (**free space**) ve standart kentsel (**urban**) kanallar için hesaplayınız.

➤ Serbest uzay yayılım için, $d_0 = 1\text{km}$, $n=2$

$$\overline{PL}(d_0)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi d_0}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi 1000}{1/3} \right) = 91.53 \text{ dB}$$

$$\overline{PL}(d)_{dB} = \overline{PL}(d_0)_{dB} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) = 91.53 + 10 * 2 * \log_{10} \left(\frac{10000}{1000} \right) = 111.53 \text{ dB}$$

➤ Standart kentsel için, $d_0 = 1\text{km}$, $n=4$

$$\overline{PL}(d)_{dB} = \overline{PL}(d_0)_{dB} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) = 91.53 + 10 * 4 * \log_{10} \left(\frac{10000}{1000} \right) = 131.53 \text{ dB}$$



Path Loss Hesaplama

- ❑ **Örnek:** Vericisinin gücü $P_t = 0.6$ W olan 900 MHz taşıyıcı sinyal kullanılan bir sistemde, serbest uzay ortamında 5 km mesafedeki alıcının gücü (P_r) kaç dBm'dir.

Not: Sistemde unity anten kullanıldığı kabul edilmektedir. $G_t = G_r = 0$ dB

- Serbest uzay yayılım, referans $d_0 = 1$ km, için $PL(d_0)_{dB}$

$$\overline{PL}(d_0)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi d_0}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi 1000}{1/3} \right) = 91.53 \text{ dB}$$

- $d=5$ km, $n=2$ için PL

$$\overline{PL}(d)_{dB} = \overline{PL}(d_0)_{dB} + 10 n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) = 91.53 + 10 * 2 * \log_{10} \left(\frac{5000}{1000} \right) = 105.53 \text{ dB}$$

- dBm cinsinden P_t

$$P_t(dBm) = 10 \log \left(\frac{P_t(mW)}{1mW} \right) = 10 \log(600) = 27.8 \text{ dBm}$$

- $d=5$ km mesafede alınan güç P_r (dBm)

$$P_{r(dBm)} = P_{t(dBm)} + G_{t(dB)} + G_{r(dB)} - \overline{PL}(d)_{dB} = 27.8 - 105.53 = -77.73 \text{ dBm}$$

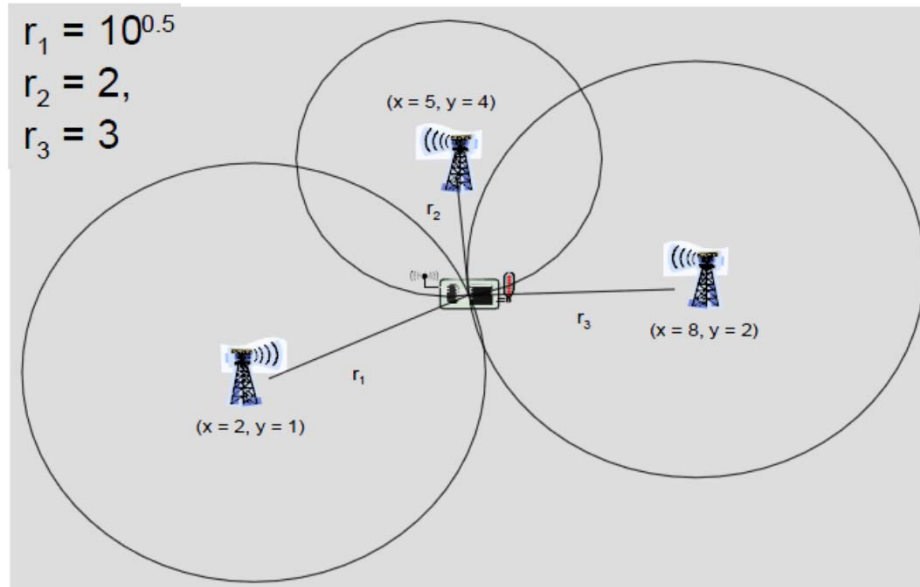


❑ Yukarıdaki soruyu kentsel ortam (shadowed urban area) için çözünüz.

Path Loss Modeli İle Mesafe Ölçümü Nerede Kullanılabilir?

❑ Lateration – RSSI ile Konum Belirleme Yöntemi

➤ İletişim ortamında sinyalin aldığı yol boyunca çeşitli nesneler mevcut ise ve bu nesneler



$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = r_i^2 \text{ for } i = 1, \dots, 3$$

Subtracting eq. 3 from 1 & 2:

$$\begin{aligned} (x_1 - x_u)^2 - (x_3 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 - (y_3 - y_u)^2 &= r_1^2 - r_3^2 \\ (x_2 - x_u)^2 - (x_3 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 - (y_3 - y_u)^2 &= r_2^2 - r_3^2 \end{aligned}$$

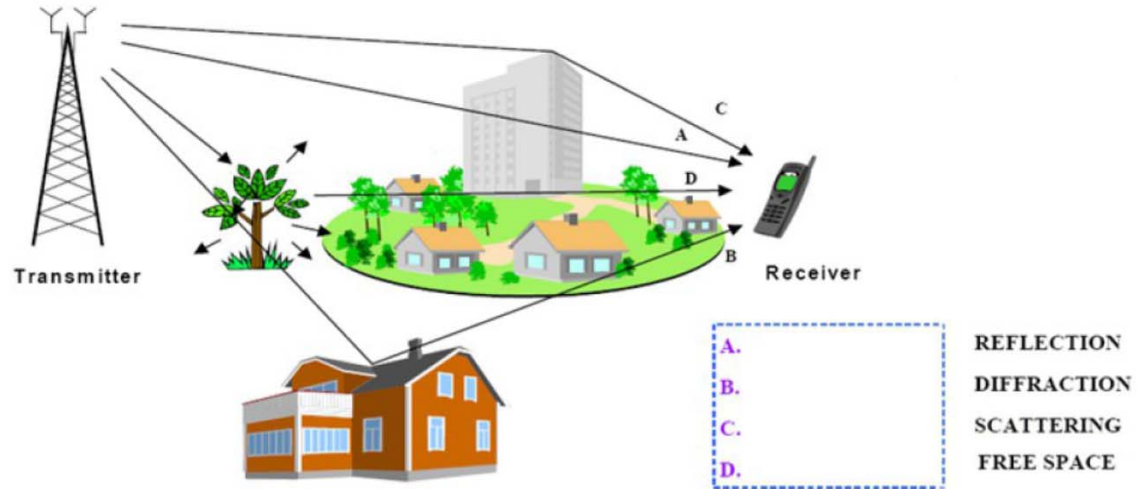
Rearranging terms gives a linear equation in (x_u, y_u) !

$$\begin{aligned} 2(x_3 - x_1)x_u + 2(y_3 - y_1)y_u &= (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ 2(x_3 - x_2)x_u + 2(y_3 - y_2)y_u &= (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{aligned}$$

$$2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix} \quad 2 \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 3 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 64 \\ 22 \end{bmatrix} \quad (x_u, y_u) = (5, 2)$$

Bilmemiz Gerekenler

- ☐ Kablosuz iletişimin teknik zorlukları nelerdir?
- ☐ Anten nedir?
- ☐ Multipath ne demektir?
- ☐ Kablosuz iletimi zayıflatan nedenler nelerdir?
- ☐ Path Loss'u açıklayınız. Path Loss hesabı için hangi modeller kullanılabilir?
- ☐ Alınan sinyalin gücü ve ortamın path loss modelini kullanarak alıcı ve verici arasındaki mesafe nasıl hesaplanır.
- ☐ Aşağıdaki şekilde A, B, C, D sinyal türlerini doğru tanımlamalarla eşleştiriniz.



KAYNAKLAR

❖ Kaynaklar

- Theodore S. Rappaport, “*Wireless Communications Principles and Practice*”, Prentice Hall, 2001
- Andreas F. Molisch, “*Wireless Communications*”, Wiley, 2005
- Vijay Kumar Garg, “*Wireless Communications and Networking: An Introduction*”,
- Andrea Goldsmith, “*Wireless Communications*”, Stanford University
- Bruce Fette, Roberto Miron, B. Douglas, “*RF and Wireless Technologies: Know it All*”

