

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KANALIN BİRİM VURUŞ TEPKESİNE DAYALI
YER BULMA YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi Cemaleddin ŞİMŞEK

**TEMMUZ 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

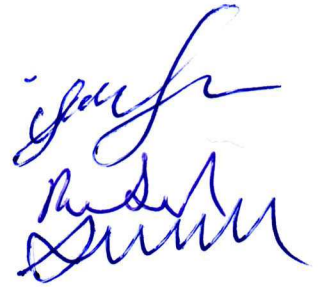
**KANALIN BİRİM VURUŞ TEPKESİNE DAYALI
YER BULMA YÖNTEMİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisi Cemaleddin ŞİMŞEK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Elektronik Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06/06/2008
Tezin Savunma Tarihi : 09/07/2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Rifat YAZICI
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali GANGAL**



Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Çok farklı yön bulma teknikleri günümüz dünyasında birçok alana hitap etmektedir. GPS sayesinde en karmaşık yerlerde gideceğimiz yere nokta tayini yapmada, ultrasonik sensörler sayesinde araçlarımızı park etmede, askeri radarlar sayesinde sınır ihlali yapan düşmanları belirlemede ve daha birçok alanda günlük hayatın içinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli yer bulma teknikleri incelenmiş olup yöntemlerin birbirlerine karşı farkları ele alınarak, karma ve yeni bir yer bulma tekniği üzerinde donanımsal ve yazılımsal deneylerle çalışılmıştır.

Tüm ömrüm boyunca bana en çok emeği geçen merhum Sayın Ahmet UZUNDEDE'ye ve onu bana tanıtan insanlara teşekkürüm daim olsun isterim.

Cemaleddin ŞİMŞEK
Trabzon, 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Gezgin Radyo İletişim Kanalının Özellikleri ve Modellenmesi.....	1
1.2.1. Radyo Dalgalarının Yayılımı.....	2
1.2.2. İki Işınlı Yayılım Modeli.....	3
1.2.3. Çok Yollu Yayılım.....	6
1.2.4.. Kanalın Vuruş Tepkisi.....	8
1.2.5. Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (AWGN) Kanal.....	9
1.2.6. Çok Yollu Kanal.....	11
1.3. Gezgin Radyo Kanalının İstatistiksel Modeli.....	15
1.3.1. Rayleigh Kanal Modeli.....	15
1.3.2. Ricean Kanal modeli.....	20
1.4. OFDM.....	21
1.4.1. OFDM İşaretinin Üretilmesi.....	28
1.5. Ses.....	30
1.5.1. Sesin Tanımı ve Yardımcı Kavramlar.....	30
1.5.1.1. Sesin İnceliği ve Kalınlığı.....	31
1.5.1.1.1. Frekans.....	31
1.5.1.1.2. Periyot (Devir Süresi).....	32
1.5.1.1.3. Dalga Boyu.....	32
1.5.1.2. Sesin Azlığı ve Çokluğu Kavramları.....	33

1.5.1.2.1.	Yeğlilik.....	33
1.5.1.2.2.	Ses Akustik Basıncı.....	34
1.5.1.2.3.	Ses Gücü.....	35
1.5.1.2.4.	Genlik.....	36
1.5.1.2.5.	Ses Düzeyi.....	36
1.5.2.	Tını.....	38
1.5.3	Sesle İlgili Fiziksel Olaylar.....	38
1.5.3.1.	Sesin Doğması.....	38
1.5.3.2.	Sesin Yayılması.....	39
1.5.3.2.1	Tek Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması.....	39
1.5.3.2.2.	İki Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması.....	40
1.5.3.2.3.	Üç Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması.....	40
1.5.3.3	Sesin Yansıması.....	41
1.5.4.	Sesin Kırılması.....	42
1.5.5.	Sesin Yutulması.....	43
1.5.6.	Sesin Geçışı.....	45
1.6.	Yer Bulma Yöntemleri.....	46
1.6.1	RSS(Receive Signal Strength).....	46
1.6.2.	TOA(Time of Arrival).....	47
1.6.3.	AOA(Angle of Arrival).....	48
1.6.4.	TDOA(Time Difference of Arrival).....	48
1.6.5.	RT-TDOA(Round Trip - Time of Arrival).....	49
1.7.	PN (Pseudo random Noise) Dizilerinin Üretilmesi.....	50
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
2.1.	Giriş.....	51
2.2.	Ses Kanalının Ölçülmesi İçin Donanım Tasarımı ve Uygulanması.....	51
2.3.	RF Kanalının Ölçülmesi İçin Donanımsal Düzenegın Kurulması ve Antenlerin Tasarımı.....	53
2.4.	Deneysel Çalışmalar, Kanal Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	55
2.4.1.	RF Kanalın İçin Yapılan Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	55

2.4.2.	Ses Kanalı İçin Yapılan Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	60
3.	SONUÇLAR.....	63
4.	ÖNERİLER.....	64
5.	KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Yer bulma, araç veya insan yer belirleme sistemleri son on yılda kullanım alanları oldukça artan ve yükselişte olan teknolojilerden biridir. Bunlardan en önde geleni; araçların yerlerinin belirlenmesinden, çok hassas inşaat mühendisliğindeki yerleştirmelere kadar geniş bir kullanım alanı bulan GPS'tir. Bunun yanında ses ötesi sensörler son 30 yılda araç park etmede, hırsız alarmlarında, deniz tabanının yüzeyinin algılanmasında, balıkçılık endüstrisinde, yakınlık belirlenmesinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır Fakat kablosuz iletişim sistemlerinin de son gelişmeleriyle araştırmacılar, zaten birçok yerde bulunan kablosuz aygıtlarla RF yer belirleme ve algılama alanına doğru yönelmişlerdir. Bu yüzden bu tezde, hala gelişmekte olan ses ve ses ötesi yer belirleme yöntemleriyle, ticari bir kablosuz cihazla yapılabilecek yer belirleme sisteminin sınırları ve çözünürlüklerinin kıyaslanmasına odaklanılmıştır.

İki deneysel düzenek, RF ve ses ölçüm düzenekleri ölçüm sonuçlarının kıyaslanabilmesi için kurulmuştur. İlki her evde bulunabilen basit hoparlör ve mikrofonlardan oluşan ses vericisi ve alıcısıdır. Bu düzenekte esas işlevi mikroişlemci tarafından denetlenen ADC/DAC ve örnekleme devresi oluşturmaktadır. İkincisi RF ölçüm ve test düzeneğidir ki bu da vektör işaret üretici, RF yükselteç, vektör işaret analizörü ve Bluetooth, WLAN için 2.4GHz, WiMax için 3.45GHz ve UHF RFID için tasarlanan 868 MHz'lik antenlerden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın büyük bölümünü en iyi kanal kestirme ve analiz yönteminin araştırılması oluşturmuştur. Çünkü hedeflene çalışma TOA, TDOA gibi tekniklerin ötesinde bir doğruluk hedeflemektedir. RF ve ses bölgesi tekniklerinin her ikisi de yansıma ve çözünürlük farklarının dışında benzer karakteristiğe sahiptir. Bu yüzden bu tez RF ve ses konumlama ve yer belirleme tekniklerinin kıyaslanmasına odaklandırılmıştır. Kıyaslamalı sonuçlar tezin sonunda verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yer Bulma, Kanalın Birim Vuruş Tepkesine Dayalı Yer Bulma Sayısal Haberleşme, Haberleşmede Kanal Analizi, Akustik Kanal Analizi

SUMMARY

Channel Impulse Response Based Location Finding Method

Because of recent developments on the wireless industry, scientists have turned their attention to RF detection, location finding and positioning by wireless devices which are widely available. Other than positioning a wireless device, this thesis is dedicated to detect a difference in an indoor environment and locate a person who caused to change the environment in a controlled area, by a commercially available wireless device or an audio system. Therefore, this work also aims to compare RF and audio propagation channels using the experimental data.

Two experimental sets, RF and audio systems have been set to carry out the experiments. First an audio transmitter and receivers, basically they are loudspeaker and microphone sets, have been built with DAC and ADC converters and their PC interface through an USB connection. Secondly RF measurement and test bench that includes a vector signal generator, RF power amplifier, Vector Signal Analyzer and designed antennas for frequency bands of considered standards, i.e. Bluetooth, WiMax and RFID. Thus channel sounding techniques for both audio and RF systems are the important part of this work. However, the main effort has been shown on the intruder detection and positioning by identifying a steady-state environment and detecting a change in the environmental variables through the channel measurements. In this thesis, in order to locate the place of a person or device made the difference, four reference location points are used to interpret or train the system. The experimental results have shown that both systems can observe a significant discrimination from a person who enters to controlled area. However, positioning a person using an RF system is much easier than whose using an audio system, since absorption rate of an audio signal is much higher than an RF signal.

Key Words: Location Finding, Intruder Detection, Positioning, Communication Channel, Acoustic Channel, Propagation Medium

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Yerden yansımali iki ışınlı yayılım modeli	4
Şekil 2. Çok yollu yayılımın meydana gelişi	7
Şekil 3. İki ışınlı Ricean ve Rayleigh kanal için genlik ve faz değişimleri	8
Şekil 4. AWGN kanalın gösterimi	10
Şekil 5. AWGN kanalın normalize güç profili	10
Şekil 6. AWGN kanalın frekans tepkesi: (a) Genlik (b) Faz	11
Şekil 7. Bir bina içi kanal için güç gecikme profili örneği	12
Şekil 8. Hiperlan 2 için öngörülen kanal modellerinin güç gecikme profilleri	14
Şekil 9. 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller	16
Şekil 10. 8 ışınlı model için kanal katsayılarının gerçel ve sanal kısımlarının olasılık yoğunlukları	16
Şekil 11. 8 ışınlı model için kanal katsayısının genliğinin olasılık yoğunluğu	17
Şekil 12. Üstel azalan gecikme profili ve genlik spektrumu	17
Şekil 13. Laplacian gecikme profili ve genlik spektrumu	18
Şekil 14. Gaussian gecikme profili ve genlik spektrumu	18
Şekil 15. Proakis gecikme profili ve genlik spektrumu	19
Şekil 16. Genlik spektrumlarının beraber karşılaştırılması.....	20
Şekil 17. OFDM'nin FDM'e göre bant verimliliği	23
Şekil 18. OFDM'nin veri hızına göre normalize edilmiş bant gereksiniminin ve bant gereksinimindeki azalmanın taşıyıcı sayısıyla değişimi	22
Şekil 19. Birbiriyle ortogonal OFDM taşıyıcıları	24
Şekil 20. OFDM işaretinin zaman bölgesinde oluşumu	25
Şekil 21. Alt-taşıyıcıların frekans bölgesinde simgesel gösterimi.....	26
Şekil 22. Bir alt-taşıyıcının spektrumu	26
Şekil 23. Ortogonal alt-taşıyıcılar ve ideal örnekleme noktalan.....	27
Şekil 24. Akustikte ses frekans alanının dağılımı	32
Şekil 25. Frekans ve dalga boyu	33
Şekil 26. Ses basınç düzeyleri karşılaştırılması	34
Şekil 27. İşitme Sınırları	35

Şekil 28. Ses güçleri ve ses gücü düzeyleri	36
Şekil 29. Düzlem yüzeyde yansıma	42
Şekil 30. Ses ışınlarının farklı yüzeylerden yansıması	42
Şekil 31. Sesin kırılmasının şematik gösterimi	43
Şekil 32. Sesin yutulması	43
Şekil 33. Referans noktalar, mobil kullanıcı ve insansız uçağın gösterimi	48
Şekil 34. Çok yönlü yayılımın belirlenmesi ve denkleştirilmesi	49
Şekil 35. PN üreten kaydırmalı kaydedicinin yapısı	50
Şekil 36. Ses kanalının ölçülmesi için yapılan donanımın blok şeması	53
Şekil 37. Ses kanalının ölçülmesi için yapılan donanımın fotoğrafı	53
Şekil 38. Tasarlanan ses üretim ve işleme devresinin akış diyagramı	54
Şekil 39. Ses kanalı ölçümü için kullanılan mikrofon dizisi	54
Şekil 40. Tektronix WCA380 Kablosuz Haberleşme Analizörü	55
Şekil 41. Agilent E4438C Vektör İşaret Üretici	55
Şekil 42. 868 MHz için tasarlanan biquad anten fotoğrafı	56
Şekil 43. RF ölçümlerin yapıldığı oda modeli, alınan sonuçlar	60
Şekil 44. Ses ölçümün yapıldığı oda modeli	61
Şekil 45. 1. Mikrofon için X1, X2 ve X3 noktalarının referanslardan farkları	57
Şekil 46. 2. Mikrofon için X1, X2 ve X3 noktalarının referanslardan farkları	57

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Değişik ortamlar için yol kaybı üs değerleri.....	5
Tablo 2. BRAN kanal modelleri	14

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Sinyal Genliği
$A_c(t)$: Alt Taşıyıcıların Zamanla Değişen Genliği
AOA	: Varış Açısı
$A_{(X,Y)}$: Izgarada Bulunan Noktalar
$A_{(Xr,Yr)}$: Izgarada Bulunan Referans Noktalar
a_n	: n . Yola Ait Genlik
AWGN	: Toplanır Beyaz Gürültü(Additive White Gaussian Noise)
$b(D)$: Üretilen Dizi
c	: Işık Hızı
c	: Sesin Yayılma Hızı
cm	: Santimetre
D	: İki Sensor Arası Varış Zamanı Farkı
D	: Polinom Katsayıları
d_0	: Referans Uzaklık
dB	: Desibel
DFT	: Ayrık Fourier Dönüşümü
DSMA	: Datagram Duyarlı Çoklu Erişim
E_d	: Direkt Işının Oluşturduğu Elektrik Alan
E_r	: Yansıyan Işının Oluşturduğu Elektrik Alan
E_0	: Referans Noktadaki Elektrik Alan Şiddeti
f	: Frekans
f_c	: Alt Taşıyıcı Frekansı
FDM	: Frekans Bölmeli Çoğullama
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
G	: Giga
GPS	: Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
gr	: Gram
$H(f)$: Kanalın Frekans Eksenli Transfer Fonksiyonu
$h(d,t)$: Kanalın Birim Vuruş Tepkisi

h_r	: Alıcı Anten Yüksekliği
h_t	: Verici Anten Yüksekliği
Hz	: Hertz
I	: Ses Yeğİnliği
I_0	: Referans Ses Yeğİnliği
I_d	: Dolaysız Ses Yeğİnliği
I_t	: Toplam Ses Yeğİnliği
I_y	: Yansıyan Ses Yeğİnliği
IL	: Yeğİnlik Düzeyi
I	: Reel Bileşen
K	: K Faktör
K	: Ölçüm Sayısı
k	: Kilo
k	: Benzetim Adım İndeksi
LOS	: Direkt Görüş(Line of Sight)
LAN	: Yerel Ağ
M	: Mega
m	: Metre
m	: Mili
n	: Nano
n	: Yol Kaybı Üssü
$n(t)$: Toplamsal Gürültü Gücü
nt	: Newton
N	: Yol Sayısı
N	: Taşıyıcı Sayısı
N_0	: Toplamsal gürültü gücü yoğunluğu
NLOS	: Direkt Görüşsüz
OFDM	: Dikey Frekans Bölmeli Çoğullama
P	: Ortalama güç yoğunluğu
p	: Akustik Basınç
p	: Piko
Pa	: Pascal
P_0	: Referans Ses Basıncı

PC	: Kişisel Bilgisayar
PN	: Sözde Rastgele Gürültü
R	: İstenen Veri hızı
RF	: Radyo Frekansı
RFID	: Radyo Frekansı Kimlik Tanımlama(Radio Frequency Identification)
RSS	: Alınan İşaret Gücü
RT-TOA	: Gidiş Geliş Zamanı
rms	: Karesel Kök Ortalama(Root Mean Squareroot)
SNR	: İşaret Gürültü Oranı
SPL	: Ses Basınç Düzeyi
SWL	: Ses Gücü Düzeyi
s	: Saniye(Second)
sn	: Saniye
$s(t)$: Gönderilen İşaret
T	: Yavaş Değişen İşaretin Periyodu
TDL	: Dalı Gecikme Hattı(Tapped Delay Line)
TDOA	: Varış Zamanı Farkları
TOA	: Varış Zamanı
t	: Zaman
V	: Volt
v	: Kullanıcı Hızı
$y(d,t)$: Alınan İşaret
Q	: Sanal Bileşen
$x(t)$: Gönderilen İşaret
W	: Watt
W	: Bant genişliği
W_0	: Referans Ses Gücü Düzeyi
w_c	: Açısal Frekans
A^2	: Direkt Görüş Bileşenine Ait Güç
α	: Ses Yutuculuk Sabiti
α_i	: i . Başlangıç Varış Açısı
β_i^d	: Alıcı ve Verici Arasındaki Karmaşık Genlik Farkı
\hat{d}	: Verici ile Alıcı Arası Uzaklık

d'	: Direkt Işının Aldığı Yol
d''	: Yansıyan Işının Aldığı Yol
Γ	: Yansıma Katsayısı
Δd	: Mesafe Farkı
$\Delta\theta$: Faz Farkı
Δf	: Alt Taşıyıcılar Arası Frekans Farkı
$\varepsilon_{d,w}$: Mesafe Kestirim Hatası
$\delta(t)$: Birim Vuruş İşareti
δ_i	: Alınan İşaretteki Faz Bozulması
λ	: Dalga Boyu
$\phi_c(t)$: Alt Taşıyıcıların Zamanla Değişen Fazı
θ_i	: Referansı ile Alıcı Arası Yön
μ	: Mikro
τ	: Geçen zaman
τ_n	: n . Yola Ait Gecikme
τ_{rms}	: Etkin Gecikme Yayılması
τ_i^d	: Alıcı ve Verici Arasındaki Karmaşık Zaman Farkı
σ^2	: Yansıyan Bileşene Ait Güç
ρ	: Özgül Ağırlık
Ω	: Ohm
*	: Katlama Fonksiyonu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yer bulma yöntemleri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. GPS' lerle uydu gören her yerde yolumuzu bulmada, ses ötesi (ultrasonic) algılayıcılarla araçların güvenli bir şekilde park etmesi, yine ses dalgalarıyla denizin derinliklerinde ki yüzeylerin belirlenmesi gibi sayısız birçok alanda aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

Yer bulma için çok çeşitli yöntemler literatürde mevcuttur. Bu çalışmada yer bulma işlemini hem RF hem de ses kanalının birim vuruş tepkelerini çeşitli matematiksel modellerle işleyerek gerçekleştirmeyi hedeflenmiştir. Kanalların birim vuruş tepkesinden yararlanma nedenimiz, fazladan bir donanım gerektirmeden artık evlerimizde yaygın olarak kullandığımız kablosuz modemlerin kendi haberleşme kanalı içerisindeki kanal değişimlerinden yararlanarak alıcı ve verici arasındaki insan veya benzeri büyüklükteki cisimlerin yüksek hassasiyette algılanması esasına dayanır.

Bu ve benzeri çalışmaların gereksinimi sadece bu konuyla sınırlı değildir. Örneğin bir RFID etiketinin sadece haberleşme kanal bilgileri ile tam olarak konumunun kestirilmesi birçok alanda büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Hedeflenen sistemin çok geniş uygulamaları olması nedeniyle buradaki çalışmalar sadece ses ve elektromagnetik dalgaların konum bilgisi hakkındaki hassasiyetlerinin ve kullanım farklarının araştırılması ile sınırlı tutulacaktır.

1.2. Gezgin Radyo İletişim Kanalı'nın Özellikleri ve Modellenmesi

Kablosuz iletişim sistemlerinin başarımını belirlemede en önemli etken gezgin radyo kanalıdır. Bu nedenle, taşınabilir cihazlar kullanılarak başarılı bir iletişim sistemi gerçekleştirilmek isteniyorsa, öncelikle birçok problemi bünyesinde taşıyan gezgin iletişim kanalının çok iyi anlaşılması gerekir. Verici ile alıcının birbirini direk görebileceği durumlar olsa da, genellikle binalar, dağlar, ağaçlar gibi çeşitli doğal ve insan yapımı engeller iletim ortamının bozulmasına neden olurlar. İşaret, vericiden alıcıya tek bir yolu takip ederek ulaşmaz. Genellikle işaretin birçok kopyası farklı yollardan, farklı

gecikmelerle, farklı genlik ve fazlara sahip olarak alıcıya ulaşırlar. Bütün bu işaretler alıcıda toplanmakta ve sonuçta seviyesi çok hızlı değişen bir işaret elde edilmektedir. Aynı zamanda kullanıcının hareket halinde olduğu da düşünülecek olursa, alınan işaretin seviyesindeki değişimler çok daha büyük ve hızlı olacaktır. Bunlara ek olarak, farklı yolları kat ederek gelen işaretlerin oluşturacağı gecikme yayılması (delay spread), yüksek hızlı veri iletiminin önündeki en büyük engel olarak görülen simgeler arası girişime neden olur.

1.2.1. Radyo Dalgalarının Yayılımı

Elektromagnetik dalga yayılımının arkasındaki mekanizmalar çeşitlilik gösterse de, genelde yansıma (reflection), kırınım (diffraction) ve saçınım (scattering) nitelikleri taşır [1]. Yansıma, elektromagnetik dalganın dalga boyuna oranla çok büyük bir cisimle etkileşimi sonucunda ortaya çıkar. Yansımalar daha çok yeryüzünden, binalardan ve duvarlardan olur. Kırınım, verici ile alıcı arasındaki yol kuleler, tepeler, bina kenar ve köşeleri gibi keskin düzensizliklere sahip yüzeyler tarafından engellendiğinde ortaya çıkar. Saçınım ise, dalganın ilerlediği ortamdaki nesnelerin boyutlarının dalga boyuna oranla daha küçük ve sayılarının büyük olduğu durumlarda ortaya çıkar. Pürüzlü yüzeyler, küçük nesneler ve ağaç dal ve yaprakları saçılmış dalgalara neden olurlar

Özellikle kentsel alanlardaki hücreli sistemlerin çoğunda verici ile alıcı arasında direk görüş (Line of Sight, LOS) bulunmaz ve direk görüşü engelleyen yüksek binalar önemli ölçüde kırınım kayıplarına neden olurlar. Çeşitli engellerden yansıyarak ve farklı uzunlukta yollar kat ederek alıcıya ulaşan dalgalar çok yollu yayılıma (multipath propagation) neden olurlar. Bu dalgaların gücü de verici ile alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak azalır.

Elektromagnetik dalga yayılım modelleri genel olarak iki guruba ayrılırlar: Birincisi, vericiden belirli uzaklıktaki bir noktada ortalama işaret gücünü tahmin ederek vericinin kapsama alanını belirlemeye yarayan büyük ölçekli yayılım modelleridir. Bu modeller verici ile alıcı arasındaki mesafenin birkaç yüz metreden birkaç kilometreye kadar olduğu durumlarda işaret gücünü karakterize etmeye yararlar. İkincisi ise, dalga boyu mesafelerde veya kısa sürelerle alınan işaret gücünü belirlemeye yarayan küçük ölçekli yayılım modelleridir. Bu modeller yardımıyla alınan işaretin gücündeki çok hızlı iniş ve çıkışlar modellenebilir.

1.2.2. İki Işınlı Yayılım Modeli

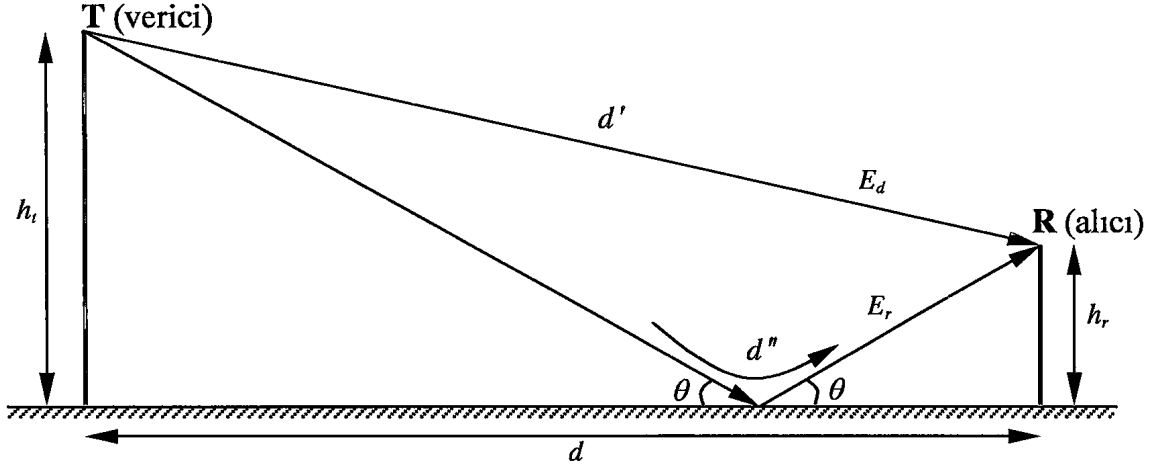
Serbest uzayda yayılım incelenirken vericiden alıcıya tek bir ışının ulaştığı ve her türlü yansıtıcı ve saçıcının ortamda bulunmadığı kabul edilmiştir. Verici ve alıcı antenlerin yer yüzeyine sabitlendiği düşünülecek olursa, yer yüzeyinden yansımanın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bir ışın vericiden direk olarak alıcıya ulaşırken, ikinci ışın ise yerden yansyarak alıcıya ulaşacaktır. Bu durum Şekil 1'de görülmektedir. Direk ışının alıcıda oluşturacağı elektrik alanı E_d ile, yansıyan ışının alıcıda oluşturacağı elektrik alanı ise E_r ile gösterilsin. Alıcıdaki toplam elektrik alanı, bu iki ışının oluşturduğu elektrik alanlarının toplamına eşit olacaktır. Bir verici antenin kendisinden d uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı elektrik alan şiddeti

$$E(d,t) = \frac{E_0 d_0}{d} \cos \left[w_c \left(t - \frac{d}{c} \right) \right] \text{ V/m} \quad (1)$$

ile verilir [1]. Burada E_0 , d_0 referans uzaklığındaki elektrik alan şiddetini, w_c açısal frekansı ve c de ışık hızını göstermektedir. Buna göre, yerin mükemmel yansıtıcı olduğu kabul edilerek, alıcıdaki toplam elektrik alan şiddeti

$$E_t = E_d + E_r = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos \left[w_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right] + \Gamma \frac{E_0 d_0}{d''} \cos \left[w_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right] \quad (2)$$

olacaktır. Burada $\Gamma = -1$ yerin yansıtma katsayısını, d' direk ışının aldığı yolun uzunluğunu ve d'' de yansyarak gelen ışının aldığı yolun uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 1. Yerden yansımali iki ışınlı yayılım modeli [1,11].

Son denklem biraz daha düzenlenecek olursa

$$E_t = E_0 d_0 \left\{ \frac{1}{d'} \cos \left[w_c \left(t - \frac{d'}{c} \right) \right] - \frac{1}{d''} \cos \left[w_c \left(t - \frac{d''}{c} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

elde edilir. Gelen dalganın yer yüzeyi ile yaptığı açı ile yansıyan dalganın yer yüzeyi ile yaptığı açı birbirine eşit olduğundan [1,11], Şekil 1'deki dik üçgenler birbirine benzerdirler. Bu benzerlik özelliği kullanıldığında,

$$\Delta d = d'' - d' \quad (4)$$

ve h_t verici antenin yüksekliği, h_r alıcı antenin yüksekliği olmak üzere,

$$\Delta d = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (5)$$

olduğu gösterilebilir. Antenler arasındaki mesafe d 'nin anten boyları h_t ve h_r 'den çok büyük olduğu düşünülerek Δd için Taylor serisel yaklaşıklığı kullanılacak olursa

$$\Delta d \cong \frac{2h_t h_r}{d} \quad (6)$$

olarak elde edilir. İki ışının aldığı yollar arasındaki fark belirlendikten sonra, bunlar arasındaki faz farkı $\Delta\theta$ ile gecikme zamanı τ_d kolaylıkla belirlenebilir.

$$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta d}{\lambda} = \frac{w_c\Delta d}{c}$$

$$\tau_d = \frac{\Delta d}{c} = \frac{\Delta\theta}{w_c}$$
(7)

Ara işlemler [1]'de verilmektedir. Sonuçta, alıcıdaki elektrik alan şiddeti

$$E_t = \frac{2E_0d_0}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \text{ V/m}$$
(8)

olarak bulunur. Alınan güç ise

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$
(9)

olur. Dikkat edilecek olursa bu durumda güç d^4 ile orantılı olarak azalmaktadır. Oysa serbest uzayda d^2 ile orantılı olarak azalmaktaydı. Genelde alınan güç, yayılım ortamının özelliklerine bağlı olarak d^n ile orantılı olarak azalmaktadır. Burada n yol kaybı üssünü göstermektedir. Tablo 1 'de çeşitli ortamlar için yol kaybı üs değerleri verilmektedir [1,11].

Tablo 1. Değişik ortamlar için yol kaybı üs değerleri

Ortam	Yol kaybı üssü, n
Serbest uzay	2
Kentsel alan, hücresele radyo	2.7 - 3.5
Gölgeli alan, hücresele radyo	3-5
Bina içi, direk görüş var	1.6 -1.8
Bina içi, direk görüş yok	4-6
Fabrika içi, direk görüş yok	2-3

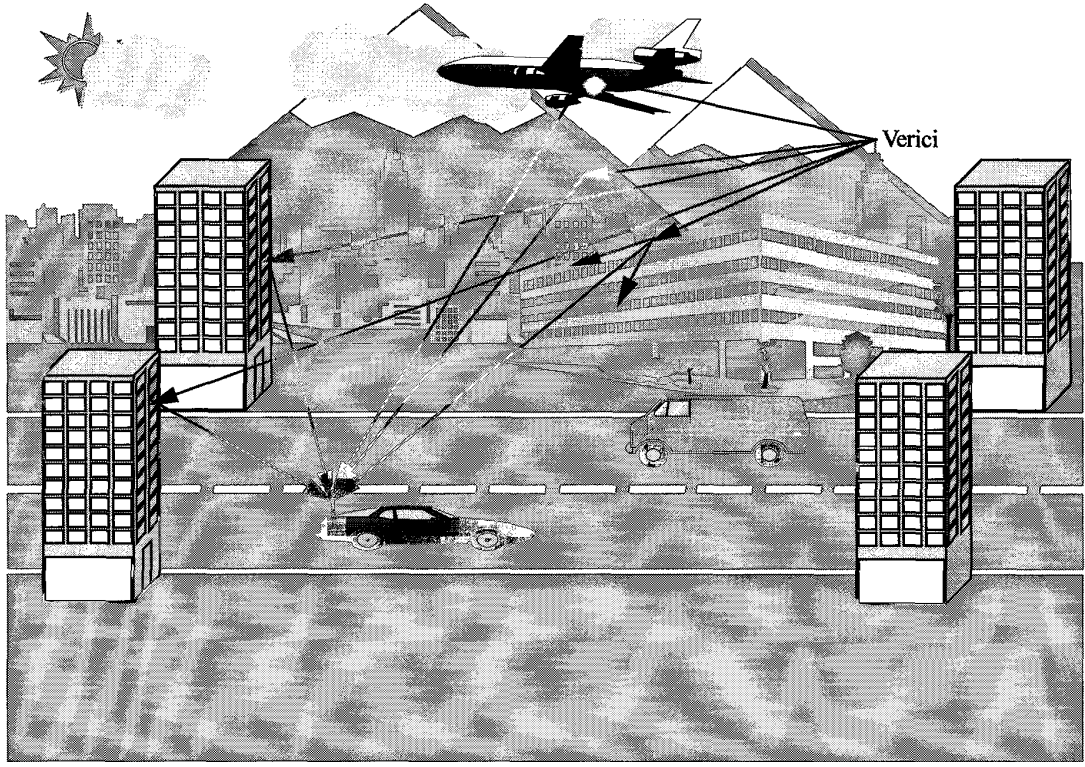
1.2.3. Çok Yollu Yayılım

İletim ortamının özelliklerine bağlı olarak, gönderilen işaretin iki veya daha fazla kopyası alıcıya farklı zamanlarda ulaşırlar. Dolayısıyla, iletim ortamında aynı anda birden çok simgeye ait işaret bulunur ve bu işaretler alıcıya aynı anda ulaşırlar. Aynı simgeye ait işaretlerin farklı yollardan, farklı gecikmelerle ve farklı fazlara sahip olarak alıcıya ulaşmaları "çok yollu yayılım" olarak adlandırılır. Alıcıdaki işaret, bu işaretlerin toplamından oluştuğu için, genliği ve fazında büyük değişimler olan bir işaret olacaktır. Alınan işaretin zarfında, ortalamaya göre 40 dB'lik zayıflamalar görülebilecektir [2]. Şekil 2'de çok yollu yayılımın meydana gelişi görülmektedir.

Verici ile alıcının birbirini gördüğü durumda, yani direk görüş varken, alıcıdaki işaret, doğrudan ulaşan işaret ile çok yollu yayılım bileşenlerinin toplamından oluşacaktır. Bu durumda alıcıdaki işaretin zarfındaki değişimler Ricean dağılım fonksiyonu ile modellenilebilir [1,11]. Eğer alıcı ile verici birbirine yakın ise, alıcıya doğrudan ulaşan işaretin gücü çok yollu yayılım bileşenlerinin gücünden daha büyük olacaktır. Bu yüzden, genlik ve faz değişimlerini belirlemede daha baskın olacaktır. Dolayısıyla da alıcının vericiye yakın olduğu durum için, alınan işaretin genlik ve fazında çok büyük değişimler meydana gelmez. Alıcı vericiden uzaklaştıkça, doğrudan ulaşan işaret zayıflayacağı için genlik ve faz değişimleri üzerindeki belirleyiciliği de azalacaktır. Böylece, alınan işaretin genlik ve fazında daha büyük değişimler meydana gelecektir. Direk görüşün olduğu durumlarda kanal "Ricean kanal" olarak adlandırılır. Genlik ve fazdaki değişimlerin derecesini belirleyen K katsayısı (K factor) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır:

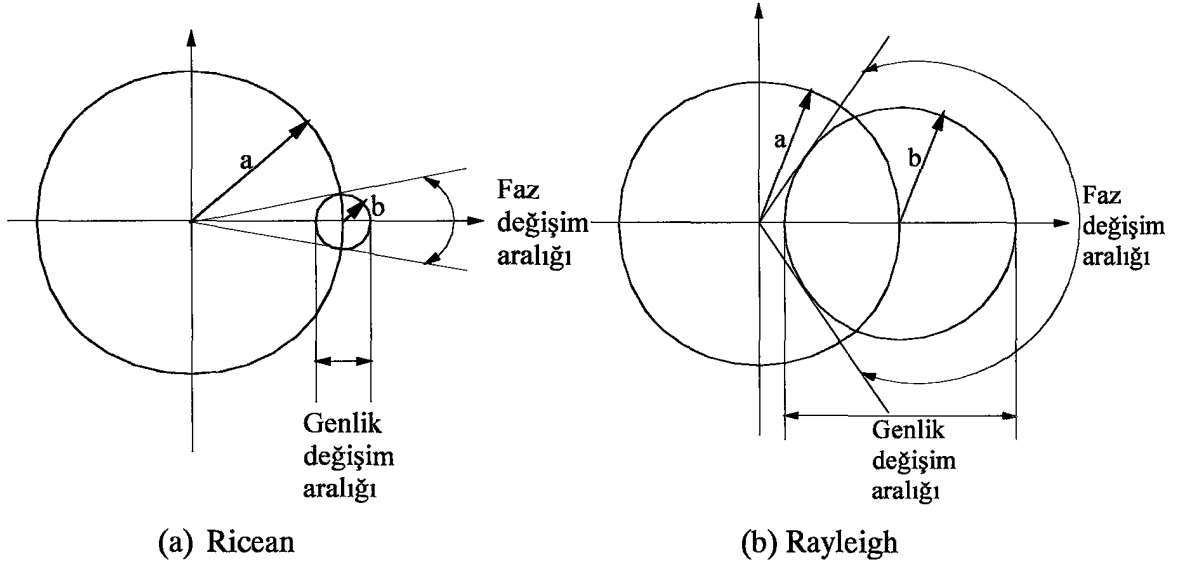
$$K = 10 \log_{10} \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (10)$$

Burada A^2 direk görüş bileşenine ait gücü, σ^2 ise çok yollu yayılım bileşenlerine ait gücü göstermektedir



Şekil 2. Çok yönlü yayılımın meydana gelişini

Verici ile alıcının birbirini göremediği durumda, yani direk görüş yokken, alınan işaretin zarfındaki değişimler Rayleigh dağılım fonksiyonu ile modellenilebilir ve bu tür kanallar "Rayleigh kanal" olarak adlandırılır [1,11]. Rayleigh kanallar için alıcıdaki işaretin genlik ve fazında Ricean kanallara oranla daha büyük değişimler meydana gelir. Ricean ve Rayleigh kanallarda genlik ve faz değişimlerini karşılaştırabilmek için Şekil 3'ün incelenmesi yararlı olacaktır. Şekil 3 (a)'da Ricean kanalda iki ışınlı model için genlik ve faz değişimleri görülmektedir. Alıcıya direk ulaşan ışını temsil eden fazör değerine göre oldukça büyük alınmıştır. Alıcıdaki işaret, bu iki fazörün toplamından meydana gelecektir. Toplam işaretin genliğinde meydana gelebilecek değişim, bu iki fazörün genliklerinin toplamı ile farkı arasında olabilecektir. Direk gelen işaret değerine göre oldukça büyük olduğundan, toplamları ile farkları arasındaki fark da oldukça küçük olacaktır. Dolayısıyla, toplam işaretin genliğinde çok büyük değişimler beklenmez. Toplam işaretin fazındaki değişim ise, iki fazörün genliği ile doğrudan ilişkili olduğu için, fazı belirlemede de direk ışının ağırlığı oldukça fazladır. Bu yüzden, toplam işaretin fazında da çok büyük değişimler meydana gelmez.



Şekil 3. İki ışınlı Ricean ve Rayleigh kanal için genlik ve faz değişimleri [2].

Şekil 3 (b)'de Rayleigh kanal için direk gelen ve yansiyarak gelen işaretler için genlikler birbirine yakın alınmıştır. Toplam işaretin genliği, işaretlerin genliklerinin toplamı ile farkı arasında değişecektir. Dolayısıyla, eğer genlikler birbirine çok yakın ise, toplam işaretin genliği sıfıra kadar inebileceği gibi, işaretlerin iki katına da çıkabilecektir. Yani, değişim aralığı oldukça büyük olacaktır. Faz değişimi ise, $0^\circ - 180^\circ$ arasında olabilecektir. Özellikle 180° 'lik faz değişimlerinin olduğu durumlarda çok yüksek frekans bozulmaları ortaya çıkacaktır.

1.2.4. Kanallın Vuruş Tepkisi

Vuruş tepkisi (impulse response), bütün sistemlerde olduğu gibi kanallın analizi açısından gerekli olan bilgileri bünyesinde taşır. Alınan işaret ile kanallın vuruş tepkisi birbiriyle doğrudan ilişkilidir. Gezgin radyo kanalı, vuruş tepkisi zamanla değişen doğrusal bir filtre olarak modellenenebilir [1,11]. Vuruş tepkesindeki zamana bağlı değişimler alıcının uzayda hareketine bağlıdır. Eğer alıcının konumu sabit ise, kanallın zamanla değişimi ortadan kalkar. Bu durumda kanall zamanla değişmeyen doğrusal bir sistem olarak modellenenebilir. Sonuç olarak kanallın vuruş tepkesinin konuma ve zamana bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Böyle bir kanall için vuruş tepkisi $h(d,t)$ ile iki

değişkenli bir fonksiyon olarak gösterilebilir. Burada d , verici ile alıcı arasındaki uzaklığı temsil etmektedir.

Kanaldan gönderilen işaret $x(t)$ olmak üzere, vericiden d kadar uzaklıktaki alıcıda alınan işaret $y(d,t)$, gürültü göz ardı edilirse, $x(t)$ ile kanalın vuruş tepkisi $h(d,t)$ ' nin katlaması olarak yazılabilir. Bu durumda

$$y(d,t) = x(t) * h(d,t) \quad (11)$$

olur. Burada " * " katlama işlemini göstermektedir. Eğer alıcının hızı sabit ise, alınan işaret sadece zamanın bir fonksiyonu olacaktır. Bu durumda

$$y(t) = x(t) * h(d,t) \quad (12)$$

olacaktır. Katlama işlemi de entegral işlemi ile değiştirilecek olursa

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(vt, t - \tau) d\tau \quad (13)$$

olarak yazılabilir. Burada v alıcının hızını göstermektedir. Nedensel bir sistem olarak kanal için, eğer $t < 0$ ise, $h(vt, t) = 0$ yazılabilir. Bu durumda aşağıdaki eşitlik elde edilir:

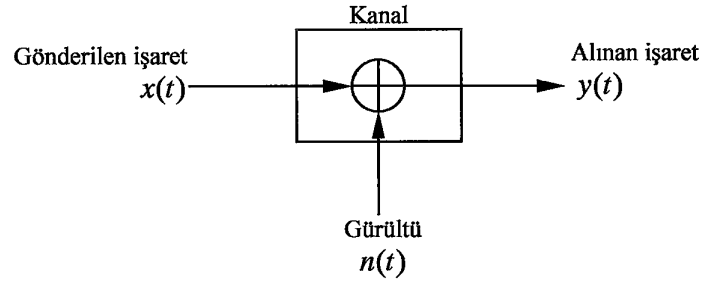
$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) h(vt, t - \tau) d\tau \quad (14)$$

1.2.5. Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (AWGN) Kanal

Gönderilen işaretin sadece toplanır beyaz Gauss gürültüsü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) ile bozulduğu durumdaki kanal "AWGN kanal" olarak adlandırılır. Aslında bu ideal durumu temsil etmektedir. Gönderilen işaretin genliğinde ve fazında herhangi bir bozulma söz konusu değildir. Kanalda işarete sadece beyaz Gauss gürültüsü

eklenmektedir. Şekil 4'te AWGN kanal yapısı verilmektedir. Özellikle gezgin iletişim söz konusu olduğunda kanalın çok yönlü kanal olacağı açıktır.

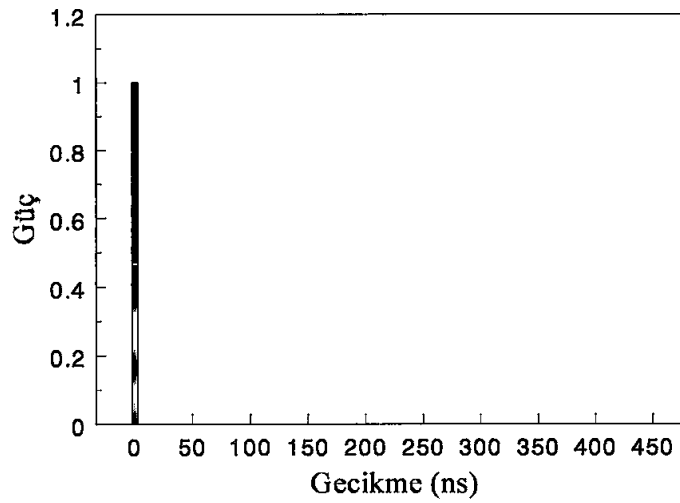
Günümüzde çok farklı iletişim yöntemleri ve sistemleri vardır. Bunların her birinin başarımı da kullanıldığı ortama bağlı olarak değişmektedir. Bu sistemler arasında karşılaştırma yapabilmek için ortak bir zemin gerekmektedir. İşte bu ortak zemin AWGN kanalıdır. Toplanır beyaz Gauss gürültüsüyle bozulmuş kanalda bit hata olasılığı farklı iletişim biçimleri için karşılaştırma ölçütü olarak kabul edilmektedir [2].



Şekil 4. AWGN kanalın gösterimi

AWGN kanal çıkışındaki işaret

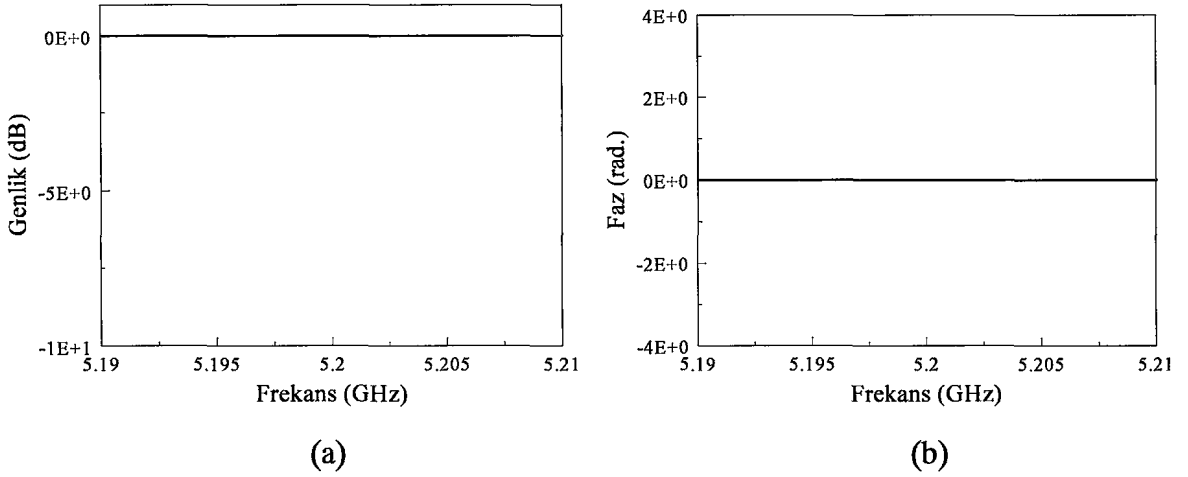
$$y(t) = x(t) * h(t) + n(t) = x(t) + n(t) \quad (15)$$



Şekil 5. AWGN kanalın normalize güç profili

olarak yazılabilir. Burada $n(t)$ güç spektrum yoğunluğu $N_0/2$ olan toplanır beyaz Gauss gürültüsüdür. Ayrıca $h(t) = \delta(t)$ 'dir. Şekil 5'te AWGN kanalın normalize güç profili verilmektedir. Sadece $t = 0$ 'da bir dal (tap) bulunmaktadır.

Şekil 6'da ise AWGN kanalın frekans tepkisi $H(f)$ görülmektedir. Burada bant genişliği 20 MHz ve merkez frekansı 5.2 GHz olarak alınmıştır. Görüldüğü gibi kanal kazancı $H(f)=0\text{dB}$ ve faz kayması $\arg(H(f)) = 0$ radyan'dır. Yani kanal herhangi bir zayıflamaya ve faz dönmesine neden olmamaktadır. Bu, kanalın ideal olma durumudur.



Şekil 6. AWGN kanalın frekans tepkisi: (a) Genlik (b) Faz

1.2.6. Çok Yollu Kanal

İletişim sistemlerinin çoğunda kanal çok yolludur. Yani, alıcıya değişik yolları takip ederek gönderilen işaretin birçok kopyası gelir. Bunların takip ettikleri yolların uzunluğu farklı olduğundan farklı gecikmelerle ve farklı zayıflamalarla alıcıya ulaşacaklardır. Bu durum için, kanalın değişmez olduğu da kabul edilerek, kanal vuruş tepkisi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \delta(t - \tau_n) \quad (16)$$

Burada, N yol sayısı, a_n n . yola ait genlik ve τ_n n . yola ait gecikmeyi temsil etmektedir. Böyle bir kanalın frekans tepkisi ise

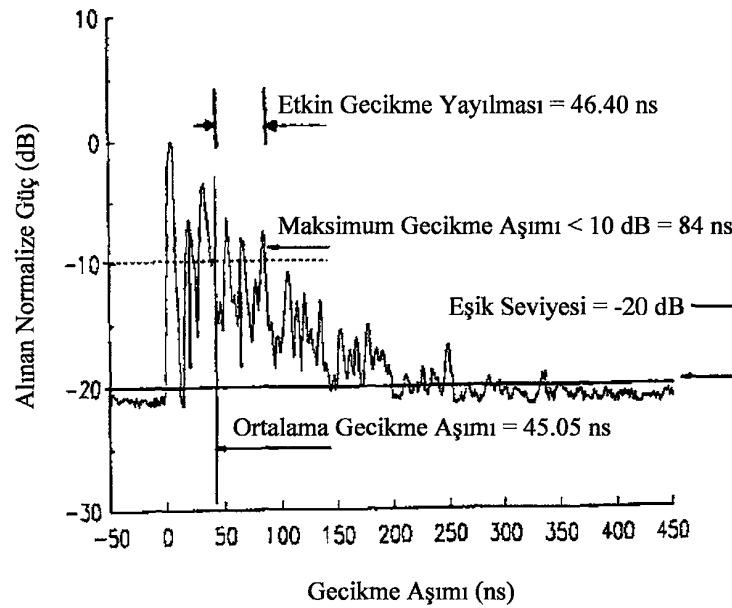
$$H(f) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \exp(-j2\pi f \tau_n) \quad (17)$$

olacaktır. Kanal çıkışındaki işaret, gürültü göz ardı edilerek,

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n x(t - \tau_n) \quad (18)$$

olarak yazılabilir. Kanalın vuruş tepkesinin uzunluğu τ_1 , gönderilen işaretin zamandan ne kadar yayıldığını göstermesi açısından önemlidir. Bu parametre, en büyük gecikme ile en küçük gecikme arasındaki fark olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\tau_1 = \max(\tau_n) - \min(\tau_n) \quad (19)$$



Şekil 7. Bir bina içi kanal için güç gecikme profili örneği [1,11].

Kanalın vuruş tepkesinin uzunluğu "maksimum gecikme aşımı" (maksimum excess delay) ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Kanalın güç gecikme profili için maksimum gecikme aşımı (X dB), gecikmeli alınan çok yollu işaret bileşenlerinin enerji seviyesinin maksimum enerji seviyesinden XdB aşağı düştüğü süre olarak da tanımlanmaktadır [1,11].

Şekil 7'de kanalları birbiriyle karşılaştırabilmek için kullanılacak bazı parametreler gösterilmektedir. Ortalama gecikme aşımı (mean excess delay), etkin gecikme yayılması (rms delay spread) ve gecikme aşımı yayılması (excess delay spread) kanalın güç gecikme profilinden belirlenebilen parametrelerdir. Kanalın ortalama gecikme aşımı güç gecikme profilinin birinci momentidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır [1]:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} a_n^2 \tau_n}{\sum_{n=0}^{N-1} a_n^2} \quad (20)$$

Etkin gecikme yayılması τ_{rms} ise güç gecikme profilinin ikinci merkezi momentinin kareköküdür ve aşağıdaki gibi tanımlanır [1]:

$$\tau_{rms} = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (21)$$

Burada

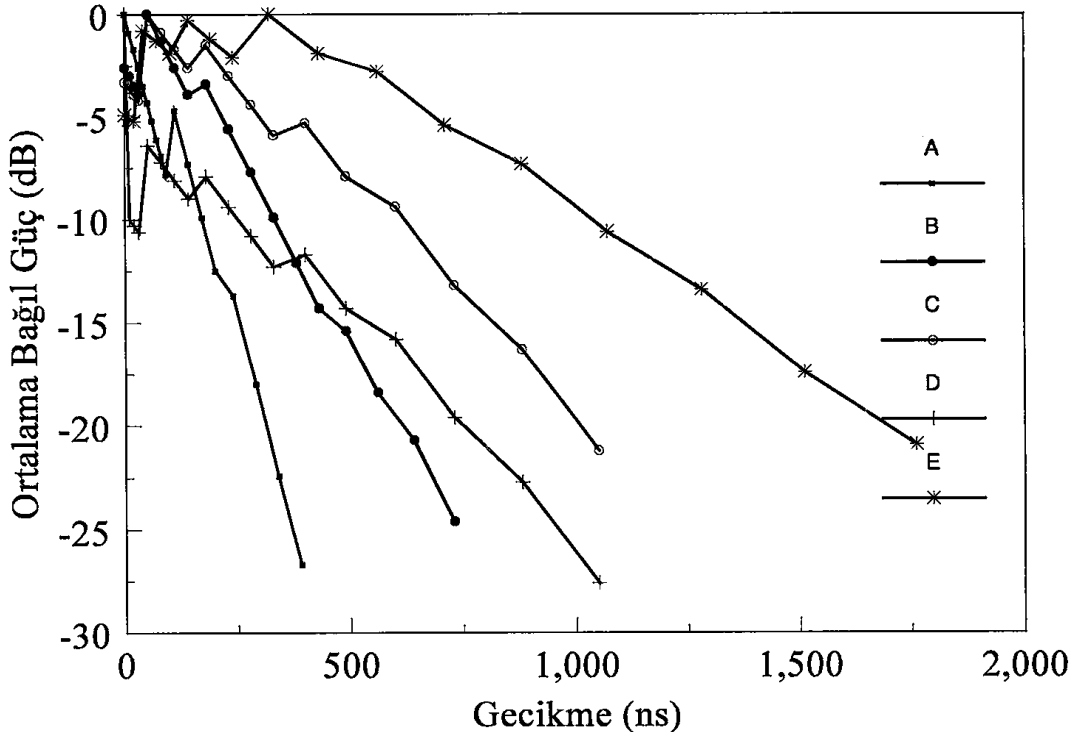
$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} a_n^2 \tau_n^2}{\sum_{n=0}^{N-1} a_n^2} \quad (22)$$

Tablo 2'de, ETSI'nin BRAN projesi için tanımlanan 5 farklı kanal için etkin gecikme yayılması ve K faktörü verilmektedir.

A kanal modeli tipik bir ofis ortamı için uygundur. B kanal modeli direk görüşün olmadığı açık alan veya gecikme yayılması büyük olan ofis ortamları için uygundur. C kanal modeli oldukça geniş alana sahip bina içi ortamlar ve E kanal modeli ise çok geniş açık alanlar için uygundur. D kanal modeli ise direk görüşün bulunduğu geniş bina içi ve açık alan ortamları için uygun kanal modelidir. D kanal modeli için $K = 10$ dB'dir [3]. Bu kanal modelleri için güç gecikme profilleri [3]'deki veriler kullanılarak Şekil 8'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 2. BRAN kanal modelleri [4].

Kanal Modeli	Etkin Gecikme Yayılması (ns)	K Faktörü	Ortam
A	50	-	Ofis / Direkt görüş yok
B	100	-	Açık alan, ofis / Direkt görüş yok
C	150	-	Geniş ofis / Direkt görüş yok
D	140	10 dB	Geniş, açık alan, geniş ofis / Direkt görüş
E	250	-	Geniş, açık alan / Direkt görüş yok



Şekil 8. Hiperlan 2 için öngörülen kanal modellerinin güç gecikme profilleri

1.3. Gezgin Radyo Kanalının İstatistiksel Modeli

1.3.1. Rayleigh Kanal Modeli

Çok yollu yayılımda alıcıya ulaşan işaretin çeşitli nesnelere yansıtılarak, kırınım ve saçınımına uğrayarak gelen, birbirinden bağımsız ve birbirine özdeş dalgaların toplamından oluştuğu kabul edilmektedir [2]. Bu işaretlerin genliklerinin eşit, varış açılarının ise $0-2\pi$ arasında düzgün dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Her biri bir rastlantı değişkeni olarak kabul edilen bu işaretlerin toplamı, merkezi limit teoremine göre, $N \rightarrow \infty$ durumunda Gauss olasılık yoğunluk dağılımına sahip olur [5]. Fakat uygulamada sonsuz sayıda ışın almak mümkün olmadığından, Şekil 9'da verilen 8 veya 16 ışınlı modeller kullanılmaktadır [6]. 6'dan çok ışın alınarak yapılan benzetimle elde edilen dağılım ile gerçek dağılım arasındaki hata oldukça küçüktür [2]. Şekil 10'da ise 8 ışınlı model kullanılarak elde edilen 50000 adet kanal katsayısının gerçel ve sanal kısımlarının olasılık yoğunluk dağılımları görülmektedir.

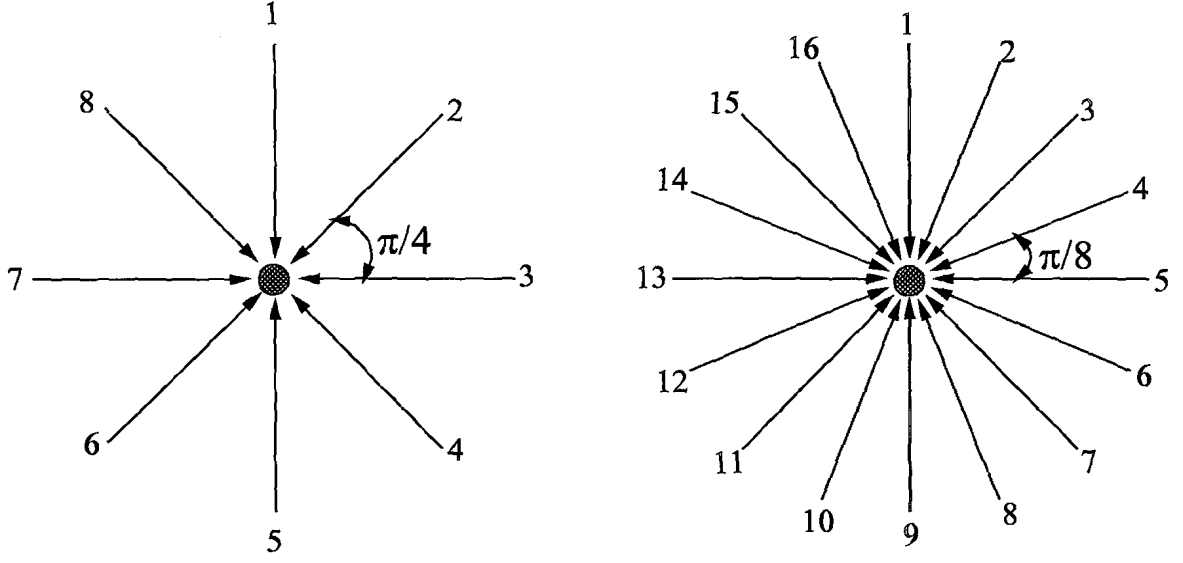
Şekil 9'da görüldüğü gibi, N ışınlı modelde i . ışın için varış açısı

$$\theta_i = 2\pi(i-1)/N, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (23)$$

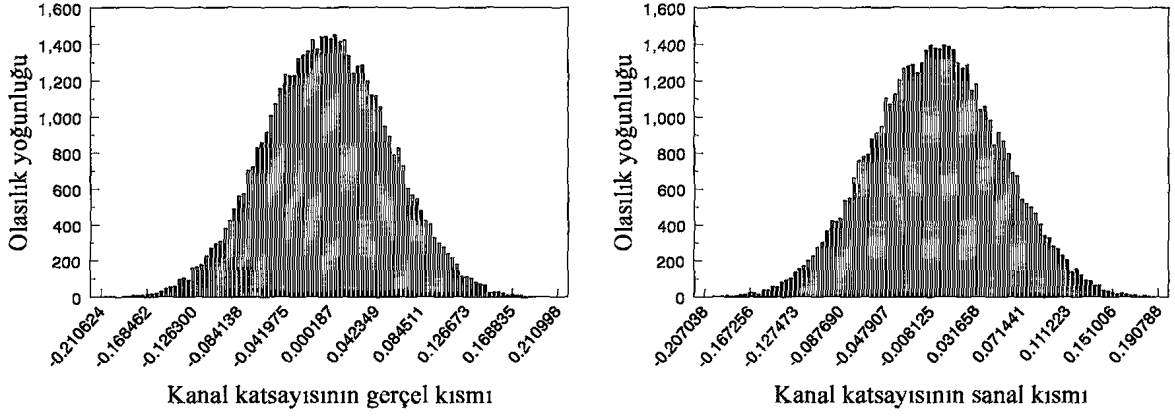
olarak hesaplanabilir. Kanal modelinin eşvreli I ve dikevrelili Q bileşenleri matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [6]:

$$I_k = \sum_{i=1}^N A \cos \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] \quad (24)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^N A \sin \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] \quad (25)$$



Şekil 9. 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller

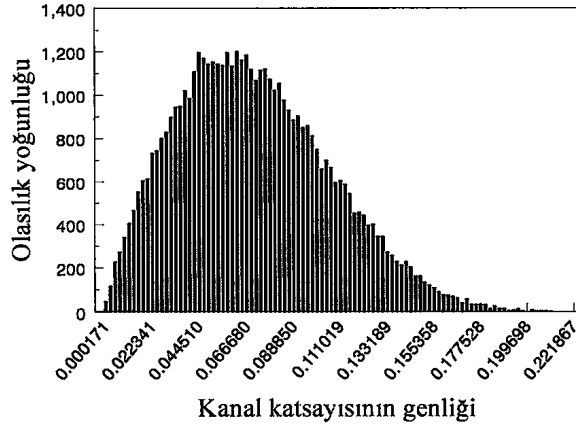


Şekil 10. 8 ışınlı model için kanal katsayılarının gerçel ve sanal kısımlarının olasılık yoğunlukları

Burada, k benzetim adım indeksini, T_s örnekleme periyodunu, v kullanıcı hızını, α_i i . ışının başlangıç varış açısını ve λ ise taşıyıcı dalga boyunu temsil etmektedir. Kanal katsayısı

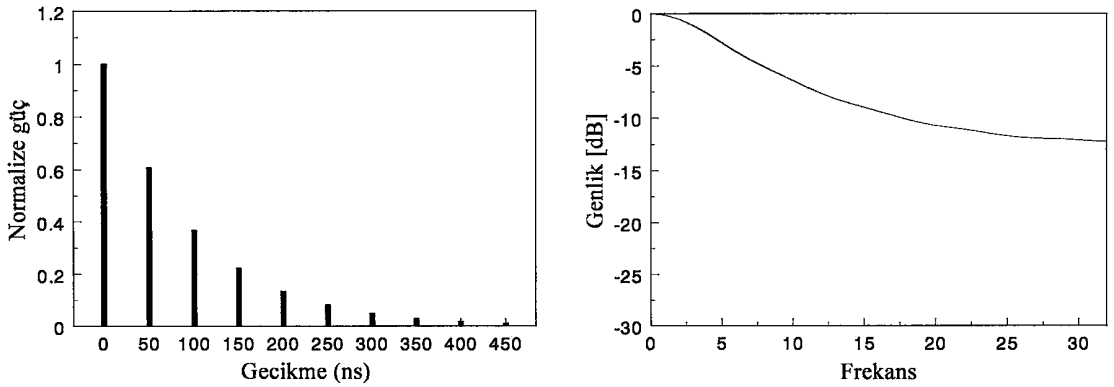
$$h(kT_s) = I_k + jQ_k \quad (26)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu model dar bantlı bir kanalı modellemek için yeterli olmasına rağmen, geniş bantlı kanalı modellemek için yeterli değildir. Geniş bantlı kanalın doğrusal bir filtre olarak dikkate alınması gerekmektedir [1], [5], [7], [11]. Doğrusal filtrenin her bir katsayısı, dar bantlı kanal katsayısının hesaplandığı gibi hesaplanır. Şekil 11'de kanal katsayılarının genliğinin olasılık yoğunluğunun Rayleigh dağılıma sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 11. 8 ışınlı model için kanal katsayısının genliğinin olasılık yoğunluğu

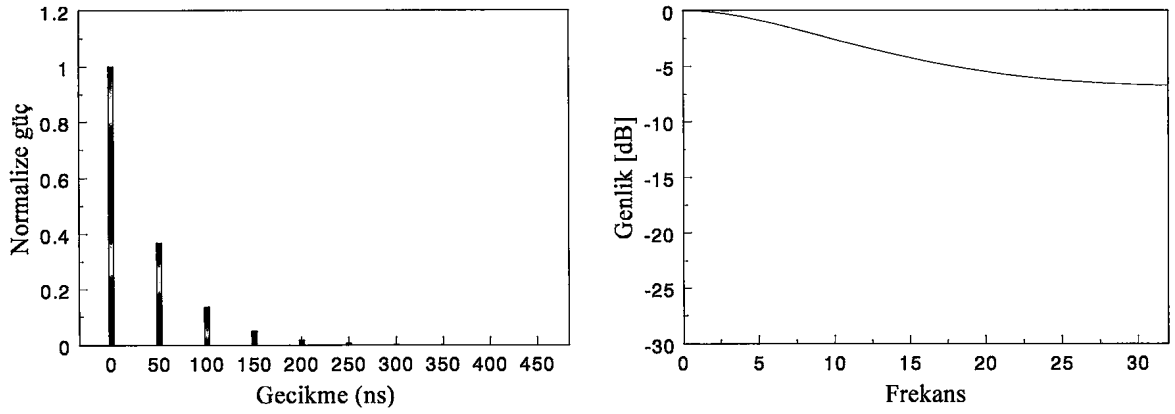
İletişim kanalı, dallı gecikme hattı (tapped delay line, TDL) filtre modeli ile temsil edilebilmektedir [8]. TDL filtre modelinin her bir katsayısı dar bantlı kanal katsayısı gibi belirlenirken, bu katsayıların genlikleri kanalın gecikme profilinin nasıl olacağını (üstel azalan, Laplacian veya Gaussian) belirlemektedir [6].



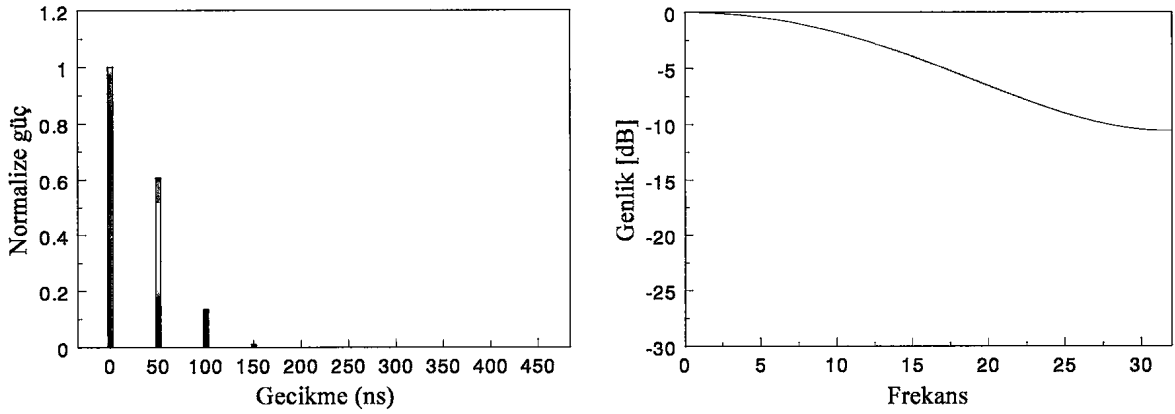
Şekil 12. Üstel azalan gecikme profili ve genlik spektrumu

Üstel azalan yoğunluk fonksiyonu

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b} \exp[-(x-a)/b] & , x > a \\ 0 & , x < a \end{cases} \quad (27)$$



Şekil 13. Laplacian gecikme profili ve genlik spektrumu



Şekil 14. Gaussian gecikme profili ve genlik spektrumu

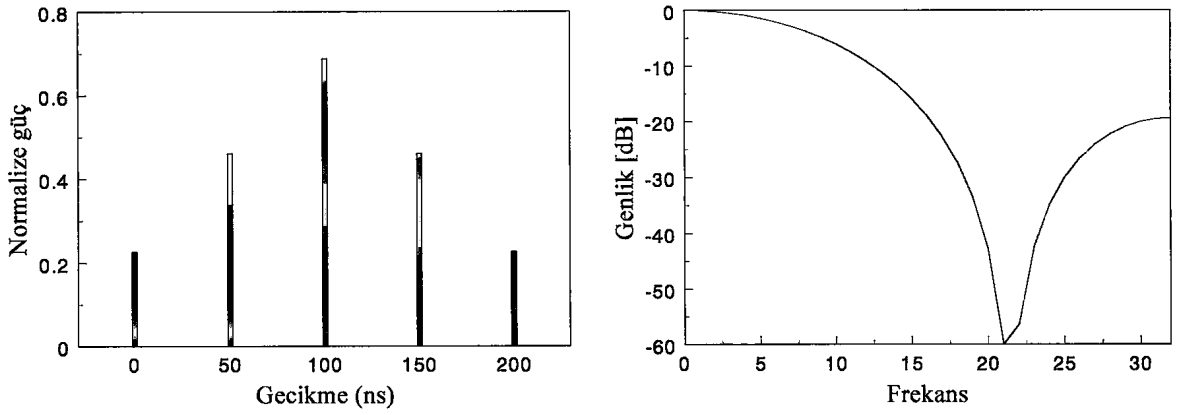
ile, Laplacian yoğunluk fonksiyonu

$$f_x = a \exp[-|x-m|/b] \quad (28)$$

ile ve Gaussian yoğunluk fonksiyonu ise

$$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-(x-a_x)^2 / 2\sigma_x^2\right] \quad (29)$$

ile verilmektedir [9].



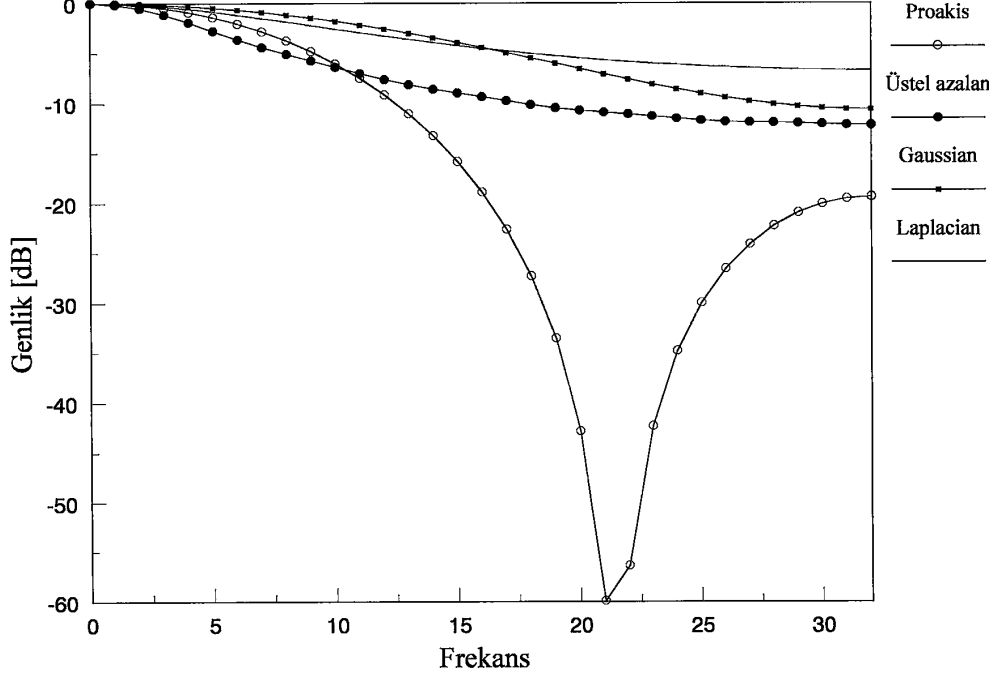
Şekil 15. Proakis gecikme profili ve genlik spektrumu

Gerçel ve sanal kısımları Gaussian dağılıma sahip karmaşık bir rastgele değişkenin zarfı Rayleigh dağılıma sahip olur ve aşağıdaki ifade ile verilir [1]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp(-r^2 / 2\sigma^2), & 0 \leq r \leq \infty \\ 0, & r < 0 \end{cases} \quad (30)$$

Şekil 12, 13 ve 14'te de görüldüğü gibi, üstel azalan, Laplacian ve Gaussian tipi gecikme profiline sahip kanalların genlik spektrumları arasında çok büyük fark yoktur. Oysa, Proakis tipi gecikme profiline sahip kanalın genlik spektrumu, Şekil 15'te de görüldüğü gibi oldukça kötüdür. Bazı frekans bileşenlerinin aşırı zayıflamaları nedeniyle, bu kanala ait başarımlar oldukça düşük olacaktır. Şekil 16'da genlik spektrumları birlikte

verilmektedir. Burada verilen genlik spektrumları ilk 32 alt taşıyıcı için çizilmiştir. Gerçek dizilerin Fourier dönüşümleri merkeze göre simetrik oldukları için ikinci kısımlarının çizilmesine gerek duyulmamıştır.



Şekil 16. Genlik spektrumlarının beraber karşılaştırılması

1.3.2. Ricean Kanal Modeli

Rayleigh yayılımının aksine, eğer direk görüş bileşeni gibi diğer çok yollu yayılım bileşenlerine göre daha baskın bir bileşen var ise, alınan işaretin zarfı Ricean dağılıma sahip olur. Pratikte, kanalların pek çoğunda vericinin bulunduğu doğrultuda bir baskın bileşen bulunduğu için, genellikle Ricean yayılım söz konusudur. Sistemlerin bilgisayar benzetimlerinde genellikle Rayleigh yayılımının seçilmesinin nedeni, olabilecek en kötü durumları içermesidir.

Ricean kanal modelini elde etmek için, yukarıda verilen Rayleigh kanal modeline B genlikli ve y varış açılı baskın bir bileşen eklemek yeterli olacaktır. Buna göre Ricean kanalın matematiksel modeli aşağıdaki gibi verilir [6]:

$$I_k = \sum_{i=1}^N A \cos \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] + B \cos \left[\varphi + \frac{2\pi k T_s}{\lambda} \cos \gamma \right] \quad (31)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^N A \sin \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] + B \sin \left[\varphi + \frac{2\pi k T_s}{\lambda} \cos \gamma \right] \quad (32)$$

Ricean olasılık dağılım fonksiyonu

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp \left[-(r^2 + B^2) / 2\sigma^2 \right] I_0 \left(\frac{Br}{\sigma^2} \right), & B \geq 0 \text{ ve } r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \quad (33)$$

ile verilir [1]. Burada B baskın bileşenin genliğini, $I_0(\cdot)$ ise sıfırıncı dereceden ve birinci tür değiştirilmiş Bessel fonksiyonunu göstermektedir. Ricean kanalı karakterize eden K katsayısı, baskın bileşenin gücünün diğer çok yollu yayılım bileşenlerinin güçlerinin toplamına oranı olarak tanımlandığına göre,

$$K (dB) = 10 \log_{10} \frac{B^2}{NA^2} \quad (34)$$

olarak elde edilir.

1.4. OFDM

OFDM tekniği, veriyi, tahsis edilen bant genişliğini verimli kullanmak için, birbiriyle örtüşmesine izin verilen belirli sayıda farklı alt-kanaldan paralel olarak gönderme ilkesine

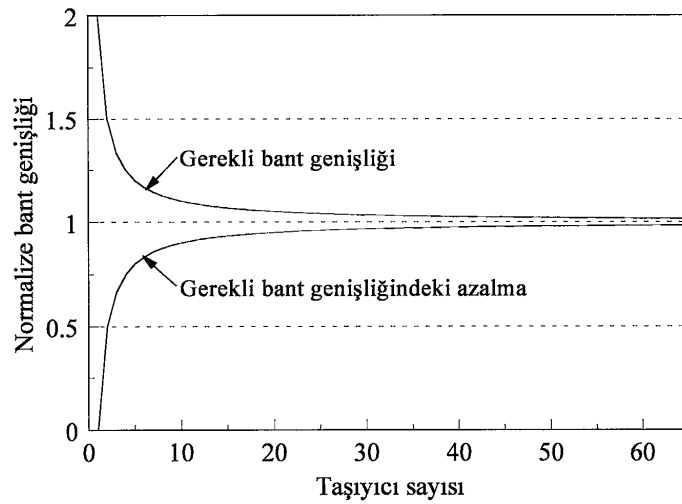
dayanmaktadır. Her bir alt-kanal taşıyıcısı diğer taşıyıcılara dik (orthogonal) olduğundan, birbirleriyle girişim yapmamakta, böylece frekans bandı verimli kullanılmış olmaktadır. Şekil 17'de OFDM ile FDM'in frekans bandını nasıl kullandıkları görülmektedir. Şekil 17 incelendiğinde, taşıyıcı sayısının artması ile aynı veri hızını elde edebilmek için kullanılması gereken frekans bandının OFDM için azalmakta olduğu görülecektir. N taşıyıcı sayısını, R istenen veri hızını ve W gerekli bant genişliğini göstermek üzere, OFDM kullanılması durumunda gerek duyulacak bant genişliği için

$$W = \frac{(N+1)}{N} R \quad (35)$$

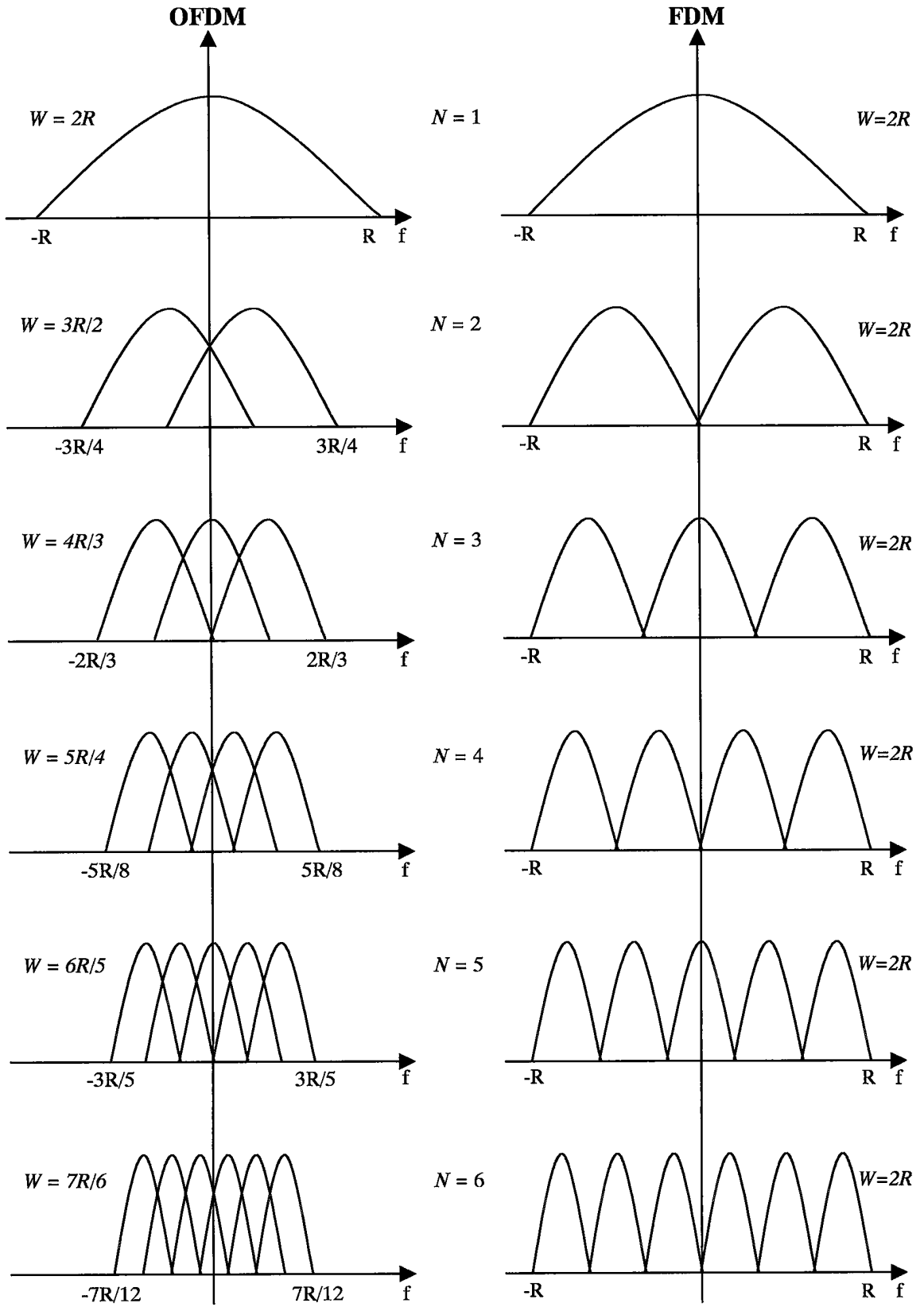
yazılabilir. Sonuçta OFDM'nin sağladığı bant tasarrufu ise

$$\Delta W = 2R - \frac{(N+1)}{N} R = \frac{(N-1)}{N} R \quad (36)$$

olarak elde edilir.



Şekil 18. OFDM'nin veri hızına göre normalize edilmiş bant gereksiniminin ve bant gereksinimindeki azalmanın taşıyıcı sayısı ile değişimi



Şekil 17. OFDM'nin FDM'e göre bant verimliliği

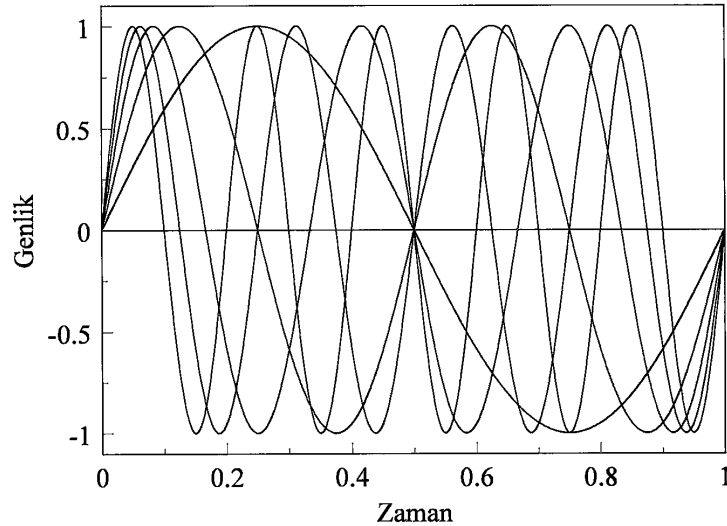
Her şeyin bir üst sınırı olduğu gibi bu bant tasarrufunun da bir üst sınırı vardır. Limit durumunda

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Delta W = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{(N-1)}{N} R \right) = R \quad (37)$$

olacaktır. Bu, OFDM'nin, üst sınırı %50'ye varan bant tasarrufu sağladığı anlamına gelmektedir. Şekil 18'de taşıyıcı sayısına bağlı olarak, veri hızı R 'ye göre normalize edilmiş gerekli bant genişliği ve gerekli bant genişliğindeki azalma verilmektedir. Buna göre, 64 taşıyıcılı OFDM kullanılması halinde bile, yaklaşık %50 bant tasarrufu sağlanmaktadır. Şekil 19'da birbiriyle ortogonal olan 5 adet OFDM alt-taşıyıcısı görülmektedir. İki işaretin birbiriyle ortogonal olma şartı

$$\int_{t=0}^{t=T} f_1(t) f_2(t) dt = 0 \quad (38)$$

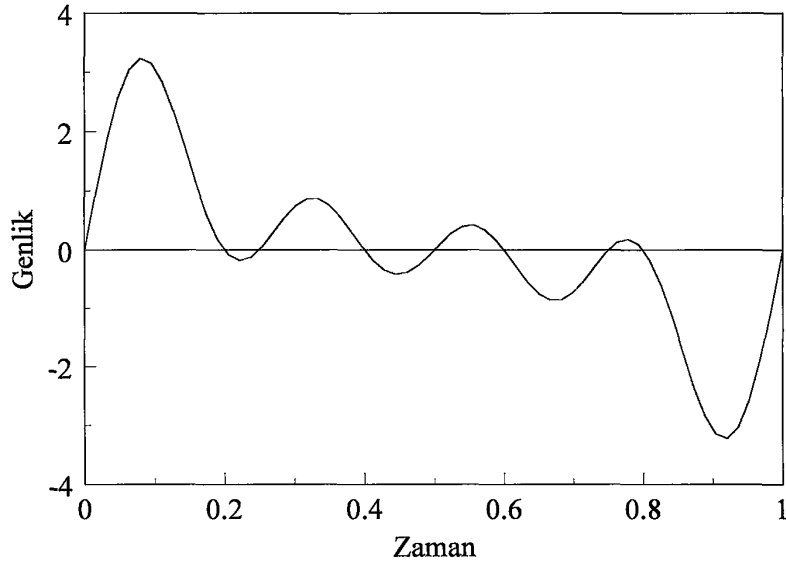
ile verilebilir. Burada T yavaş değişen işaretin periyodunu göstermektedir.



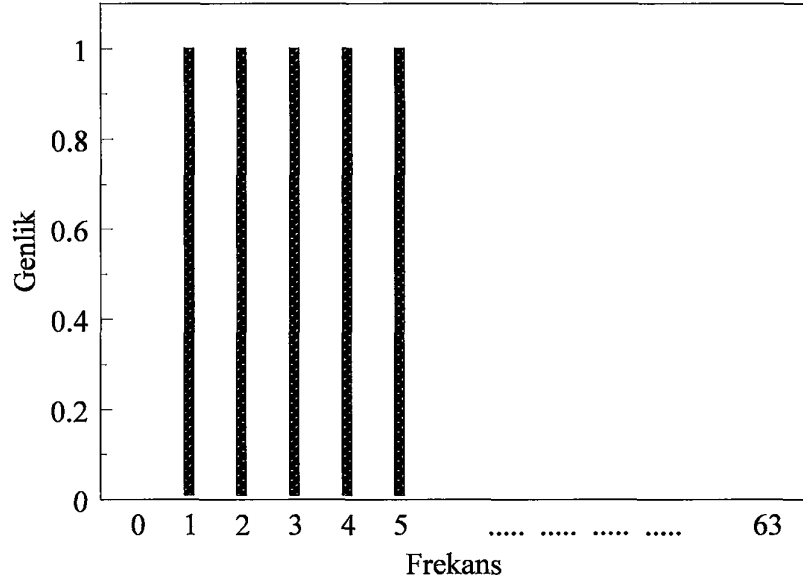
Şekil 19. Birbiriyle ortogonal OFDM taşıyıcıları

OFDM için bütün alt-taşıyıcılar ortogonallik şartını sağlamaktadır. Bir simge süresi içerisinde bütün alt-taşıyıcıların tam sayılarla ifade edilen miktarda periyodu bulunmaktadır. Bir başka deyişle, her bir alt-taşıyıcının frekansı, simge periyodunun tersinin tam katlarından oluşmaktadır. Bunun önemli bir avantajı da, ilerde değinileceği üzere, simgeler arası girişimin önlenmesi amacıyla oluşturulan çevrimsel öneğin ortogonallığı bozmamasını sağlamasıdır. Alt-taşıyıcıların ortogonal olması, her bir alt-taşıyıcı ile farklı verilerin aynı kanal üzerinden iletilebilmesini sağlamaktadır. Ortogonallığın kaybolması durumunda ise, iletilmek istenen veriler birbirine karışır ve iletişim kalitesi düşer. Şekil 20'de birbiriyle ortogonal işaretlerin toplanması sonucu elde edilen OFDM işareti görülmektedir.

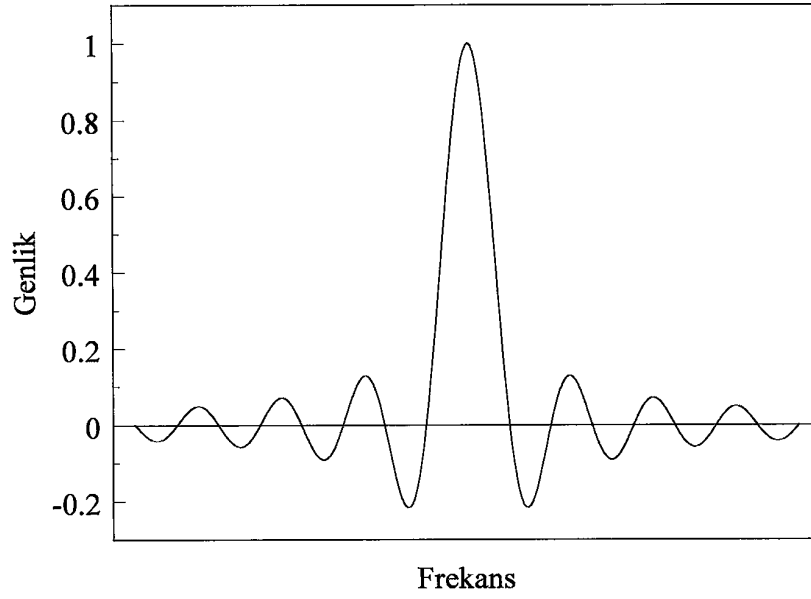
Şekil 20'deki OFDM işareti bir spektrum analizörde incelenecek olsaydı, bu işareti oluşturan her bir alt-taşıyıcı için frekans ekseninde bir bileşen görülecekti. Şekil 21'de ortogonal alt-taşıyıcıların frekans bölgesinde simgesel gösterimi verilmektedir. Her bir alt-taşıyıcı frekans bölgesinde, Şekil 22 'deki gibi bir spektruma sahiptir. Merkezde dar bir ana kulak (lob), sağında ve solunda ise genlikleri gittikçe azalan yan kulaklar görülmektedir. Her bir alt-taşıyıcının spektrumunun tepe değeri, Şekil 23'te görüldüğü gibi, diğer alt-taşıyıcıların spektrumundaki sıfırlara denk gelmektedir. Eğer alıcıda örnekleme atılan bu noktalara karşı düşürülebilirse, taşıyıcılar arası girişim (ICI) engellenmiş olur. Şekil 22'de bir alt-taşıyıcının spektrumu, Şekil 23'de ise 10 adet alt-taşıyıcının frekans bandında yerleşimi görülmektedir.



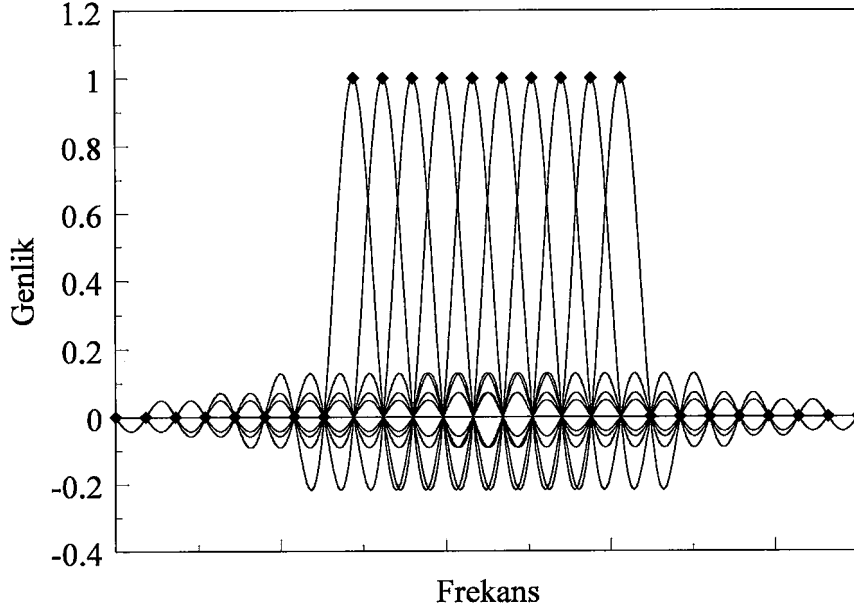
Şekil 20. OFDM işaretinin zaman bölgesinde oluşumu



Şekil 21. Alt-taşıyıcıların frekans bölgesinde simgesel gösterimi



Şekil 22. Bir alt-taşıyıcının spektrumu



Şekil 23. Ortogonal alt-taşıyıcılar ve ideal örnekleme noktalan

Sonuçta, 10 adet ortogonal alt-taşıyıcıdan oluşan OFDM işaretinin spektrumu Şekil 23 görülmektedir. Kaim çizgi ile gösterilen toplam spektrum, her bir alt-taşıyıcı spektrumunun maksimum olduğu noktalardan geçmektedir. Bu noktalar aynı zamanda diğer alt-taşıyıcı spektrumlarının sıfır olduğu noktalara karşı düşmektedir.[11]

$$B_{OFDM} = N\Delta f \quad (39)$$

olacaktır. Ortogonallik şartının sağlanabilmesi için, bu alt-taşıyıcıların başlangıç fazlarının aynı olması yanında, frekanslarının da birbirlerinin tam katları olması gerekmektedir. Her bir alt-taşıyıcı için, diğer alt-taşıyıcılarla eş fazlı ve hassas bir osilatör gereksinimi düşünüldüğünde, vericide ve alıcıda birer büyük osilatör bankasına ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, verici ve alıcının yapışım karmaşılaştırırken, beraberinde başka problemler de getirmektedir. Alt-taşıyıcılar arasında eş fazlılığın sağlanması ve frekansların tam olarak tutturulması bu problemlerin başlıcalarıdır. Bunlardan kurtulmak için kullanılacak en uygun yöntem ayrık Fourier dönüşümüdür [10]. Uygulamada, DFT'nin işlem karmaşıklığından kurtulmak için ise hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılır.

1.4.1. OFDM İşaretinin Üretilmesi

OFDM işareti birçok sinüzoidal işaretin toplamından oluşmaktadır. Her bir sinüzoidal işaret bir alt-taşıyıcıya karşı düşmektedir. Dolayısıyla her bir alt-taşıyıcı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$s_c(t) = A_c(t) e^{j[2\pi f_c t + \phi_c(t)]} \quad (40)$$

Burada $A_c(t)$, alt-taşıyıcının zamanla değişen genliğini ve $\phi_c(t)$ alt-taşıyıcının zamanla değişen fazını göstermektedir. f_c ise alt-taşıyıcı frekansıdır. Bu ifade karmaşık olduğundan gerçel ve sanal bileşenlere sahiptir. Alt-taşıyıcı işareti bu ifadenin gerçel kısmından oluşmaktadır. OFDM işaretinin N adet sinüzoidal işaretin toplamından oluştuğu noktasından hareketle,

$$s_c(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n(t) e^{j[2\pi f_n t + \phi_n(t)]} \quad (41)$$

yazılabilir. Toplam ifadesinin önündeki 1/N birim güç elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Burada,

$$f_n = f_0 + n\Delta f \quad (42)$$

dır. Elde edilen bu işaret, OFDM işaretinin sürekli biçimidir. İşareti oluşturan her bir alt-taşıyıcının genlik ve fazının bir simge süresince değişmediği göz önüne alınacak olursa,

$$\begin{aligned} A_n(t) &= A_n \\ \phi_n(t) &= \phi_n \end{aligned} \quad (43)$$

yazılabilir. Elde edilen sürekli işaret, örnekleme frekansı $f_s = 1/T_s$ ile örneklendiğinde

$$s_s(kT_s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j[2\pi(f_0+n\Delta f)kT_s+\phi_n]}, k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (44)$$

elde edilir. Bir simge süresince işareti ifade etmek için sürekli işaretten N adet örnek alınmaktadır. Dolayısıyla simge süresi elde edilir. Bir simge süresince işareti ifade etmek için sürekli işaretten N adet örnek alınmaktadır. Dolayısıyla simge süresi

$$T_{sym} = NT_s \quad (45)$$

olacaktır. $f_0 = 0$ alınırsa, örneklenmiş işaret için

$$s_s(kT_s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j\phi_n} e^{j2\pi n\Delta f k T_s} \quad (46)$$

yazılabilir. Eğer,

$$\Delta f = \frac{1}{NT_s} \quad (47)$$

olacak şekilde seçilirse, örneklenmiş işaret

$$s_s(kT_s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j\phi_n} e^{j2\pi nk/N} \quad (48)$$

haline gelir. Bu son denklem dikkatle incelenecek olursa, bunun, N elemanlı ve elemanları $A_n e^{j\phi_n}$ olan bir dizinin ters ayırık Fourier dönüşümü (Inverse DFT, IDFT) olduğu görülecektir.[11]

1.5. Ses

Ses, fiziksel olarak bir basınç altında elastik bir ortamdaki parçacıkların yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Titreşim olarak belirtilen bu olayın insan kulağında yarattığı etkiler insanın sesi algılaması olarak görülebilir. Bir enerji olarak açıklanan ses, ortamın özgül ağırlığına, esnekliğine ve koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sesin bir noktadan ötekine iletimi için elastik bir ortamın varlığı gereklidir.

İnsan kulağında işitsel duyulanma uyandıran maddesel ortamdaki basınç değişimlerine ses denir. [12].

Maddesel görüşe göre, işitme sınırları dışında da ses, her zaman için evrende var olan, ancak şiddet ve frekansı çeşitli malzemelere çarparak yansıma veya yutulma yoluyla değişim gösteren, fiziksel ve fizyolojik bir kavramdır.

Sesi tanımlanabilir kılan özellikler, sesin yayılma hızı, frekansı, dalga boyu ve şiddetidir. Sesin yayılma hızı (m/sn), çeşitli ortamlarda molekül düzenlerinin farklı olmasından ötürü, malzemenin elastiklik modülüne (kg/cm^2) ve birim ağırlığına (gr/cm^3) bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca ortamın sıcaklığı da sesin yayılma hızı üzerinde etkili olmaktadır.

1.5.1. Sesin Tanımı ve Yardımcı Kavramlar

Ses, hareket halindeki bir cisimden oluşarak titreşime dönüşmüş molekül hareketlerinin belli bir şiddet ve frekans sınırları içerisinde belirginleşen ve kulağımıza işitme hissi doğuran küresel bir dalga hareketidir.

Bir titreşimde ses alanının iletildiği ortamın parçacıkları, periyodik (devinsel) hareketler yaparlar. Bu hareketler basit ya da karmaşık olabilir. Hatta periyodik olmadıkları durumlar da vardır. Bu durumda, ses terimi yerine gürültü terimi kullanılır. Titreşim sonucunda ortaya iki tür dalga çıkar. Diğer bir deyişle, titreşimler, kütleli

parçacıkların, dalganın yayılma yönündeki yer değiştirmelerine bağlı olarak karakterize edilmiştir. [13]

Boyuna Dalgalar: Titreşen parçacık, dalganın yayıldığı doğrultuya paralel olarak hareket ettiği zaman oluşur.

Enine Dalgalar: Parçacık, yayılma doğrultusuna dikey olarak titreştiği anda ortaya çıkan dalgalara denilmektedir. Bu türde boyuna dalgaların tersine, basınç oluşturan kuvvet, yayılma doğrultusuna dik etki etmektedir. Herhangi bir dalganın yayılması, iki farklı hareketi içerir.

1. Dalgayı taşıyan ortamın parçacıkları, harmonik biçimde titreşirler. Değişik zamanlarda buldukları yerler, harmonik hareketin periyot, genlik ve fazı gibi özelliklerine bağlıdır.

2. Dalganın kendisi, homojen bir ortam içinde, sabit hızla ileri doğru gider ve eşit zaman periyotları içinde eşit miktarda ilerler.

Tek Parçacığın Titreşim Hareketi: A'dan başlayarak B'ye, sonra tekrar A'ya veya 0'a gelmesi bir titreşim hareketini oluşturur. Ses, titreşiminin yayılma doğrultusu olan boyuna dalgalar şeklinde yayılır.

Sesin tanımlanmasında; inceliği-kalınlığı, azlığı-çokluğu ve tınısı olarak üç temel kriter kullanılır. Sesin bu özellikleri birbirinden bağımsız olarak değişebilmektedir.

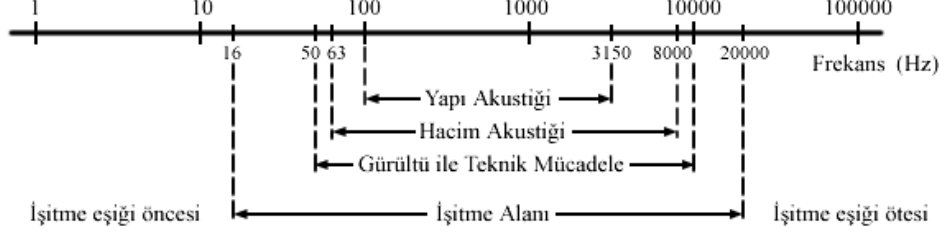
1.5.1.1. Sesin İnceliği ve Kalınlığı

Sesin inceliği ve kalınlığı konusu, sesin oluşmasına temel olan parçacık hareketinin özelliklerine bağlı olarak yapılan frekans, devir süresi ve dalga boyu tanımlamalarını içermektedir.

1.5.1.1.1. Frekans

Bir partikülün bir saniyedeki yer değiştirme ve salınımına verilen addır. Frekans "f" harfi ile gösterilir. Frekansı yaklaşık olarak 16 ile 16.000 arasında olan titreşimler insanda işitsel duyulanmayı doğurur. Frekansın birimi "Hertz" Hz'dir. 1 Hertz saniyede bir titreşimdir. Frekansı 16 Hz' in altındaki titreşimlere ses altı, 16 Hz üstü olanlara ise ses üstü titreşimler denir.

Kişiye göre bu aralık miktarı değişim göstermektedir. Merkez frekanslar 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz arasındadır.



Şekil 24. Akustikte ses frekans alanının dağılımı, [14]

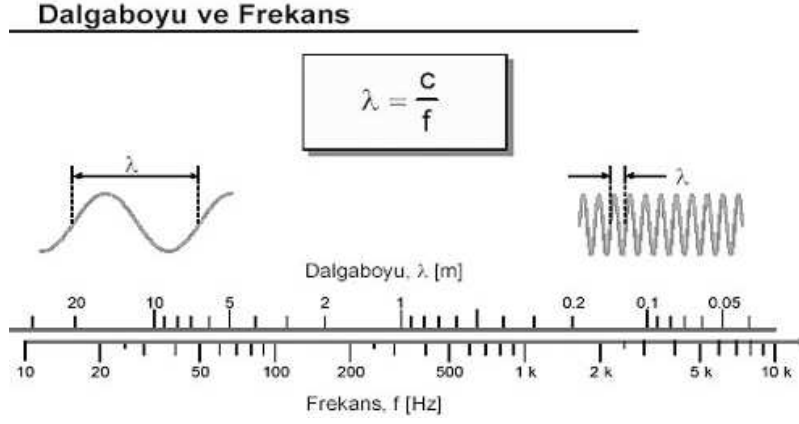
Duyduğumuz sesler genellikle birbiri üstüne binmiş birçok frekanstan oluşur. Bunların içindeki en düşük frekansa temel frekans (*fundamental ton*) denir. Frekans yükseldikçe saniyedeki titreşim sayısı artar. Ses incelik.

1.5.1.1.2. Periyot (Devir Süresi)

Bir titreşimin gerçekleşme süresidir. Devir süresi "T" harfi ile gösterilir. Devir süresinin birimi saniyedir. $T = 1/f$ olarak ifade edilir. T = Devir süresi (sn) F = Frekans (Hz)

1.5.1.1.3. Dalga Boyu

Titreşim hareketinin bir devir süresi boyunca aldığı mesafeye verilen addır. Dalga boyu λ harfi ile gösterilir. Birimi metre (m)'dir. Hem titreşim hareketinin özellikleri, hem de ortamın özellikleri ile bağlantılıdır. $\lambda = \text{Dalga boyu (m)}$ $c = \text{Sesin yayılma hızı (m/sn)}$ $f = \text{Frekans (Hz)}$



Şekil 25. Frekans ve dalga boyu, [15]

1.5.1.2. Sesin Azlığı ve Çokluğu Kavramları

Sesin ortam içindeki oluşturduğu basınç ve enerji değişimlerine bağlı olarak değişim gösteren yeğnlik, akustik basıncı, ses gücü, genlik ve ses düzeyinin tanımları bu başlık altında incelenebilir

1.5.1.2.1. Yeğnlik

Birim zamanda yayılma doğrultusundaki birim alandan geçen ses enerjisinin ortalama değeridir. Herhangi bir serbest ilerleyen (düzlem ya da küresel) dalga için yeğnlik aşağıda belirtildiği gibidir. Simgesi I , birimi Watt/m^2 'dir. $I = p^2 / \rho c$ I = Sessel yeğnlik (W/m^2) p = Akustik basınç ($\text{Pa} = \text{nt/m}^2$) ρ = Özgül ağırlık (kg/m^3) c = Sesin yayılma hızı (m/sn)

Ses yeğnliği, kimi doğrultularda enerji akımı olduğu halde, kimi doğrultularda olmayabilir. Bu nedenle doğrultunun belirlenmesinde yarar vardır. Hem niceliğinin hem de doğrultusunun olması, ses yeğnliğinin vektörel bir büyüklük olması sonucunu doğurur. Ses yeğnliği genellikle, içinde ses enerjisi akımı olan, belirlenmiş bir alana dik doğrultuda ölçülür.

Kimi durumlarda enerji ileri ya da geri hareket ediyor olabilir. Bu durumda ses yeğnliği ölçülemez. Net enerji akımı yoksa net yeğnlik de yoktur. [16]

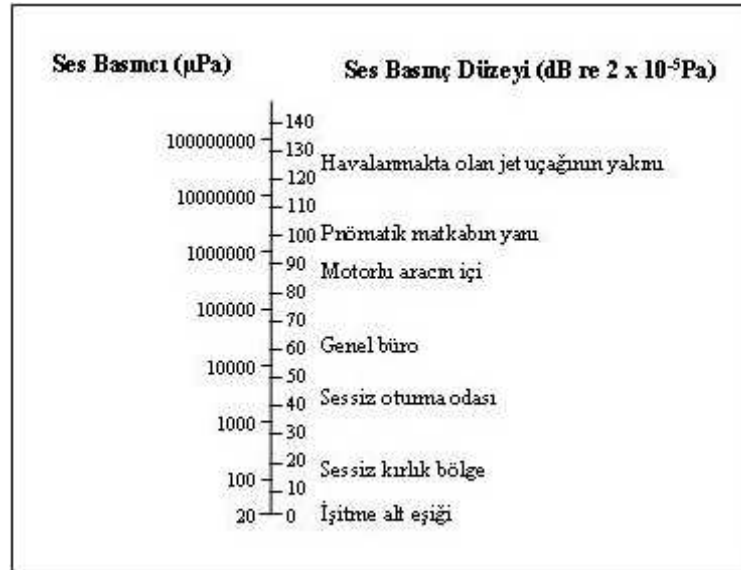
1.5.1.2.2. Ses Akustik Basıncı

Ses titreşimlerinin hava basıncı üzerindeki değişimleri, ses basıncını (yani akustik basıncı) oluşturmaktadır. Bir ses kaynağının yakınındaki bir gözlem noktasında, ses dalgalarının geçişinden önce, hava basıncına (P) eşit olan, durağan bir basınç vardır. Ses dalgaları, gözlem noktasından geçerken, yol açtıkları ilave basınç (akustik basınç) aşağıdaki eşitlikle görüldüğü gibidir. Simgesi p , birimi pascal (Pa) ya da mikro bar (μbar)'dır. p_a = Akustik basınç (Pa, Paskal) p_0 = Basınç genliği sabiti f = Frekans t = Zaman olmak üzere şöyle ifade edilir:

$$p_a = p_0 \sin(2\pi f)t \quad (49)$$

Bu ifade akustik basınç hava basıncının üzerine eklenir. Böylelikle gözlem noktasındaki toplam basınç aşağıda gösterildiği gibi bulunur.

$$p_a = p + p_0 \sin(2\pi f)t \quad (50)$$

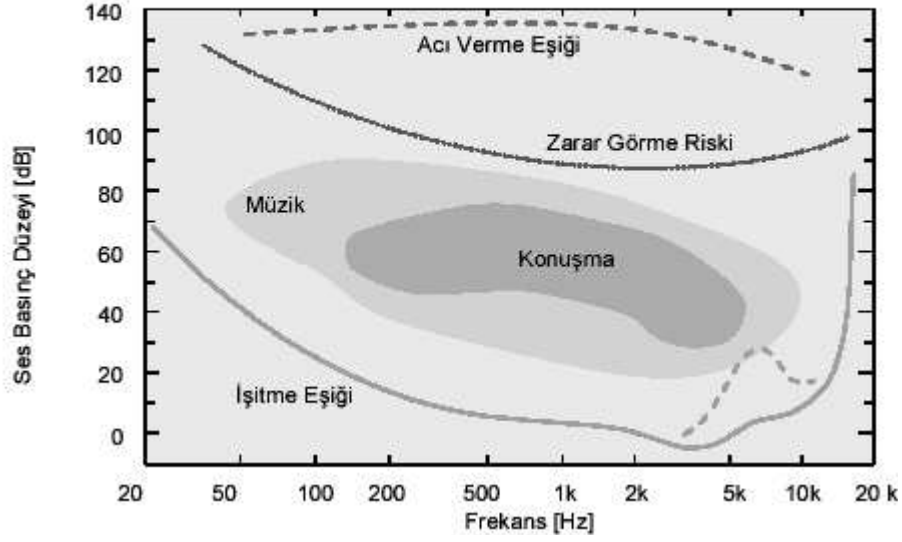


Şekil 26. Ses basınç düzeyleri karşılaştırılması [12]

Birbirine en yakın iki sıkışma (basınç fazlalığı) ya da iki açılma (basınç azlığı) bölgesi arasındaki uzaklık, dalga boyudur.

Genliğin artmasıyla, basınç fazlalığı ve basınç azlığı arasındaki farklılığın da artacağı açıktır. Akustikte bu basınç farklarına akustik basınç adı verilir. Akustik basınç, işitilebilen en hafif sesle en yeğin ses arasında 0,0002 mikrobar ile 200 mikrobar arasında değişen değerler alır. Akustik basıncı 200 mikrobardan daha çok olan titreşimler, kulakta ses yerine kulak zarına katı bir cisimle dokunuluyormuşçasına acılı duyulanmalar doğurur. [17]

İşitme Sınırları



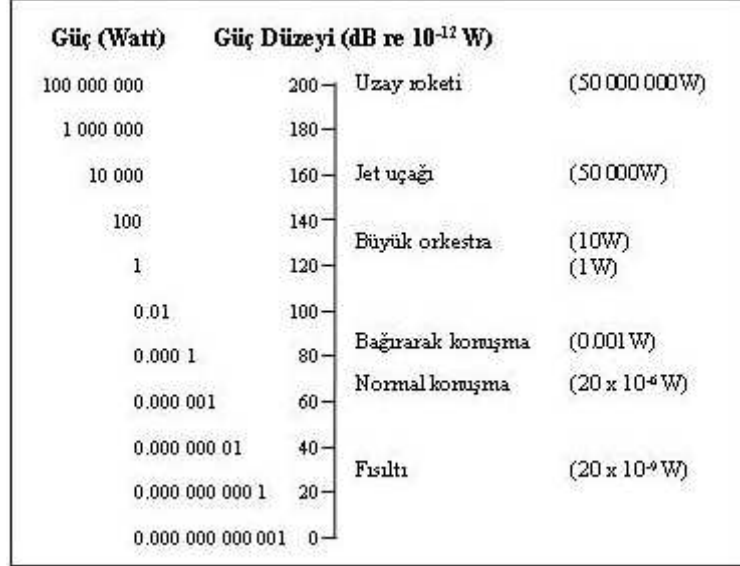
Şekil 27. İşitme Sınırları, [15]

1.5.1.2.3. Ses Gücü

Simgesi W, birimi Watt (W)'dır. Güç sözcüğü, mühendislikte, insan kontrolünde üretilen ve mekanik iş yapmaya uygun enerjiyi belirtir. Ses gücü ise akustik enerjinin yayılım (*emission*) hızıdır. Gücün birimi olan Watt, saniyede 1 joule'luk enerji üretimi yapan güç olarak tanımlanır. Bir ses kaynağı, ses gücü yayımlar ve bunun sonucunda ses basıncı oluşur.

İşittiğimiz şey, kaynağın yayımladığı ses gücünün yol açtığı ses basıncıdır. İşitilen ses gücü genelde Watt ya da pikowatt (1 pikowatt = 10^{-12} Watt) cinsinden gösterilir.

Anlık güç (ses enerjisinin herhangi bir andaki yayımlanma hızı) çok değişkendir. Herhangi bir zaman aralığındaki maksimum değere, uç gücü adı verilir. Ortalama güç genelde uç gücün çok altındadır ve ortalamanın alındığı zaman aralığı ile ortalamanın alınma biçimine bağlıdır. [16]



Şekil 28. Ses güçleri ve ses gücü düzeyleri [12]

1.5.1.2.4. Genlik

Simgesi a , birimi metre (m)'dir. Titreşen bir taneciğın, maksimum ayrılmasına, titreşimin genliğı denir. Uygulamalı alanda, havada doğan ses dalgalarının genlikleri çok küçüktür. İnsan kulağının algılayabildiğı en hafif sesin genliğı 0,1 μm 'dir. Genliğın üst sınırı olan 100 μm ise, kulağın zarar görme sınırındır.

1.5.1.2.5. Ses Düzeyi

Tanım olarak düzey, verilen bir büyüklüğün aynı cinsten bir referans büyüklüğe oranının logaritmasıdır.

Akustikte ses düzeyleri, desibel cinsindedir. Desibel (dB) güçle orantılı iki büyüklüğün oranını anlatan düzey birimidir. Bu orana gelen desibel değerleri, bu oranın logaritmasının 10 katıdır.

$$1 \text{ dB} = 10 \log_{10} r \quad r = W / W_0 \quad (51)$$

r simgesinin çeşitli cinsten verilen büyüklüklerin oranı olduğu kabul edilirse, ses basıncı, gücü ya da tanecik hızının oranları düşünülmelidir.

Ses basınç düzeyinin simgesi SPL , birimi (dB)'dir. P basınçlı bir sesin ses basınç düzeyi SPL aşağıda belirtilen denklemde olduğu gibidir.

$$SPL = 10 \log_{10} (P / P_0)^2 = 20 \log_{10} (P / P_0) \quad (52)$$

Burada SPL = Ses basınç düzeyi (dB) P = Ses basıncı (Pa) P_0 = Referans ses basıncı (2×10^{-5} Pa) dır

Ses gücü düzeyinin simgesi SWL , birimi (dB)'dir. Bir kaynağın ses gücü Watt cinsinden gösterilir. Kimi durumlarda, ses kaynaklarının güçlerinin, ses gücü düzeyi cinsinden belirlenmesi uygun olur. Bir kaynağın ses gücü düzeyi aşağıda belirtilen denklemde olduğu gibidir.

$$SWL = 10 \log (W / W_0) \quad (53)$$

Burada SWL = Ses gücü düzeyi (dB) W = Ses kaynağının ses gücü (Watt) W_0 = Referans ses gücü (10^{-12} Watt) dür.

Yeğnlik düzeyinin birimi I 'dir. I yeğnliğindeki bir sesin düzeyi IL olarak gösterilir.

$$IL = 10 \log (I / I_0) \quad (54)$$

Burada IL = Yeğnlik düzeyi I = Yeğnlik I_0 = Referans ses yeğnliğidir.

Toplam Ses Düzeyi Bir ses kaynağı normal bir hacimde (yani serbest alan odası ya da yansım odası olmayan bir hacimde) yer aldığında, hacimdeki ses alanı, serbest ses alanı ile yansımış ses alanlarının toplamından oluşur.

$$I_t = I_d + I_y \quad (55)$$

Burada I_t = Toplam ses yeğinliği I_d = Dolaysız ses yeğinliği I_y = Yansımış ses yeğinliğidir.

1.5.2. Tını

İnsan kulağı kim sesleri ayırt edebilme özelliğine sahiptir. Bir piyanonun başka bir sestem farkının anlaşılması sesin tınısına bağlıdır. İşitilen sesin ne sesi olduğu, neye ya da kime ait olduğunu anlamaya yarayan ses bileşenine tını denir.

Genellikle, ses kaynaklarının çıkardığı sesler tek frekanslı olmazlar. Ses, temel bir ses ve onun uyumlularından oluşan bir topluluk olarak görülmelidir. Bu topluluğa karmaşık ses denir. Karmaşık sesin uyumlularından en kalın olanına temel ya da birinci uyumlu denir. Sesin tınısı, temel sese eşlik eden ve her ses kaynağına göre değişen ve de o ses kaynağına özgü olan uyumlulardır.

Bir sese çoğunlukla yedi, sekiz doğal uyumlusu eşlik eder. Bir sese eşlik eden uyumluların sayısı ve yeğinliklerinin oranı, o sesin ne sesi olduğunu tanımamızı sağlar. Yani uyumluları, sese bir ses frekansı ve yeğinliği dışında tını diye adlandırılan belirli bir karakter verir.

1.5.3. Sesle İlgili Fiziksel Olaylar

Sesin doğması, yayılması, yansınması, kırılması, yutulması ve geçişi bu başlık altında incelenecek fiziksel olaylardır.

1.5.3.1. Sesin Doğması

Sesin doğması, yani başka bir cins enerjinin ses enerjisine dönüşmesi, doğal veya yapay olarak, mekanik ya da fiziksel olaylar sonucu ses titreşimlerinin elde edilmesi demektir.

Bir ses kaynağının yarattığı akustik basınç genellikle ve yaklaşık olarak, yayın yapan yüzeyin büyüklüğü ve hızı ile doğru orantılıdır. Pratikte rastlanan ses kaynakları için kesin bir formül vermek olanaksızdır.

Sesin doğması ile ilgili sınıflar:

- Titreşim yapan katı cisimler: Yaylı çalgılar, telli çalgılar, vurgulu çalgılar, hoparlör ve telefonlar
- Titreşim yapan hava sütunları: Nefesli çalgılar
- Hava içinde hızla yer değiştiren cisimlerin ya da aralıklardan hızla geçen havanın doğduğu hava burgaçları: Kapı ve pencere aralıklarında uğuldayan rüzgar, türbinli uçak vb.
- Birdenbire olan basınç değişimleri: Patlamalar, şimşek, yıldırım gürültüleri vb. [17]

1.5.3.2. Sesin Yayılması

Ses, ortamın geometrik özelliklerine bağlı olarak üç şekilde yayılır. Yayılış, tek, iki ve üç boyutlu ortamlarda farklılıklar gösterir.

1.5.3.2.1. Tek Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması

Boyutlarından biri, ötekilerin en az on katı olan ortamdır. Yapılarda tek boyutlu ortamlara örnek olarak uzun koridorlar, yüksek yapıların merdiven ve asansör boşlukları, havalandırma kanalları, su ve ısıtma tesisatları gösterilebilir.

Bu gibi tek boyutlu ortamlarda ses ya ortam içinde doğar ya da herhangi bir şekilde dışarıdan tek boyutlu ortama girer. Her iki durumda da ortamın özelliklerinden ötürü küresel dalgalar düzlem dalgalara dönüşür. Düzlem dalgalarla yayılan ses enerjisinin birim yüzeye düşen bölümü uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalır. Buna karşın, düzlem dalgalarda ses enerjisinin birbiri ardından ulaştığı yüzeylerin aralarında bir büyüme olmadığından, birim yüzeye düşen enerjide de geometrik özelliklere bağlı bir azalma olmaz. Yani düzlem dalgalar halinde yayılan sesin yoğunluğu, çeşitli yutulmalar bir yana bırakılırsa, kaynaktan uzaklaştıkça geometrik nedenlerle azalmayıp hep aynı kalır. Bu cins yayımlarda ses yoğunluğu düzeyinde, yutulma dışında değişiklik görülmez. [17]

1.5.3.2.2. İki Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması

Boyutlarından biri ötekilerin en çok onda biri olan ortamdır. Hacim olarak bu cins ortamlara pek rastlanmaz. Yapı elemanı olarak ise döşeme ve duvarların hemen hepsi iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu cins ortamlarda, ses enerjisi geometrik nedenlerle fazla dağılmadan oldukça uzaklara az bir kayıpla gidebilir. [17]

1.5.3.2.3. Üç Boyutlu Ortamlarda Sesin Yayılması

Üç boyutlu olarak niteleyebileceğimiz ortamlarda sesin yayılması sınırsız ortamlar (açık hava) ve sınırlı ortamlarda (kapalı hacimler) farklılıklar gösterir.

- Üç boyutlu sınırsız ortamda ses kaynağının özelliklerine göre küre, küre parçaları ya da bunlara yakın şekillerdeki dalgalar halinde yayılacağından ses enerjisinin birim yüzeye düşen bölümü kaynağa olan uzaklığın karesiyle azalır.

Açık havada sesin yayılmasında, rüzgar ve sıcaklığın etkisi ile sesin yayılış doğrultusundaki doğru ya da eğrilere ses ışınları; bu ışınlara dik yüzeylere ise dalga alını adı verilir.

- Yapı akustiğinde üç boyutlu sınırlı ortamlardan yapıların içindeki çeşitli hacimler anlaşılır. Sesin yayılma hızı bu gibi hacimler içinde ortalama 345 sn/m'dir. Demek ki normal boyutlu hacimlerde, ses peş peşe yansımalar sırasındaki yutulmalarla sönüp gidinceye kadar çok defa yansıtacaktır. Böylece kapalı hacimlerde yayınık ses alanı doğar. Bu alan, hacmin küçüklüğü oranında daha yayınık olur. Çok büyük kapalı hacimlerde yayınıklık azalır.

Yayınıklığın en önemli özelliklerinden biri, ses alınının doğrultusuz oluşu başka bir deyişle, ses kaynağının yeri ve duruşuyla ilgili olmayışıdır. Bunun sonucunda yayınık alanda, ses yeğinliğinin bütün noktadaki yayınıklık oranı aynı olur. Yani kapalı bir hacimde ses o hacmi doldurur. Bütün noktalarıyla yaklaşık olarak belirli bir ses düzeyi meydana getirir. Bu düzey, ses kaynağının yayınladığı ses enerjisi ile hacmin bütün yutucu yüzeylerinin yuttuğu ses enerjisi arasında dengeyi gösterir. [17]

Sesin hacim içinde yayılması, pek çok yolla sağlanabilir; bunların en çok kullanılanları aşağıda sıralanmıştır:

- Yüzeylerde, girinti ve çıkıntı ya da malzeme farklılıkları gibi düzensizlikler ve ses saçıcı elemanların bolca kullanılması;

- Ses yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin ardışık düzenlenmeleri;
- Ses yutucu malzemelerin gelişi güzel, düzensiz dağılımı,

Hacim içinde yer alan yüzey düzensizlikleri, yayması gereken ses dalga boylarının en az 1/7'si kadar olmalıdır. [18]

1.5.3.3. Sesin Yansıması

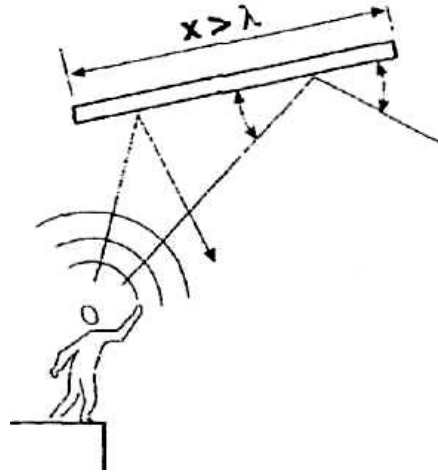
Hava içindeki yayılan ses enerjisi, duvar döşeme kapı perde camlı bölme vb. engelle rastladığı zaman, bu enerjinin bir bölümü bu engelin yüzeyinde yansır. Bir bölümü çeşitli şekillerde engeli geçer; bir bölümü de yine çeşitli şekillerde engelde yutulur. Engelin yüzeyinde yansıyan, engeli geçen ve engelde yutulan enerjilerin oranları ve bununla ilgili fizik özellikler, sesin engelleri geçmesi ve sesin yutulması konularında incelenecektir. [17]

Sesin yansıması çoğu zaman ışığın yansımasına benzetilir. Yansıma, düzgün ya da yayınık olur. Yansıtıcı yüzeyin girinti ve çıkıntıları, pürüzleri, pütürleri, yani düzgünsüzlükleri yüzeye gelen ışınımın dalga boyundan küçükse yansıma düzgün olur. Yansıtıcı yüzeyin düzgünsüzlüklerinin boyutları yüzeye gelen ışınımın dalga boyu ölçülerinde ya da daha büyükse yansıma yayınık olur. Yayınık yansımada, yansıyan ışınım gelen ışınımın doğrultusuyla bazen az ilgili olan bazen de hiç ilgili olmayan birçok doğrultulara dağılır. [17]

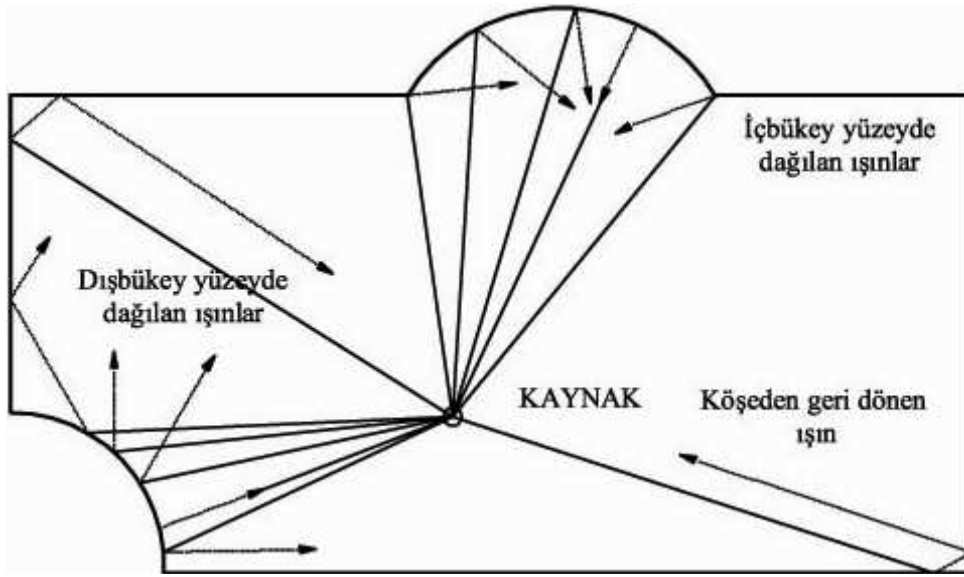
- Düzlem yüzeyde yansıma: Ses dalgasının bir ışınının çarptığı nokta ile normali arasındaki açı sabit kalmak suretiyle aynı açı ile yansır. Yalnız ses dalgasının yansıması için yansıtıcı yüzeyin boyunun dalga boyundan büyük olması gereklidir. Bu koşul sağlanmadığı zaman sesin yansıma açısı, geliş açısına eşit olmaz. Dolayısıyla ses saçılarak dağılır.

- Dış bükey yüzeylerde yansıma: Ses ışınları dış bükey dairesel yüzeylere çarptığı zaman, her ışın çarptığı noktada dış bükey eğrinin normaline nazaran geliş açısıyla eşit bir yansıma açısı yaparak yansır. Sesin dağılması amaçlandığında dış bükey yüzeyler kullanılır.

- İç bükey yüzeylerde yansıma: Ses ışınları iç bükey yüzeylere çarptığı noktada dairenin normali ile eşit açı yaparak yansır. Bu yüzeylere çarpan ses ışınları kapanarak yansır. Bu da odaklanma ve ses konsantrasyonuna neden olur.



Şekil 29. Düzlem yüzeyde yansıma, [19]

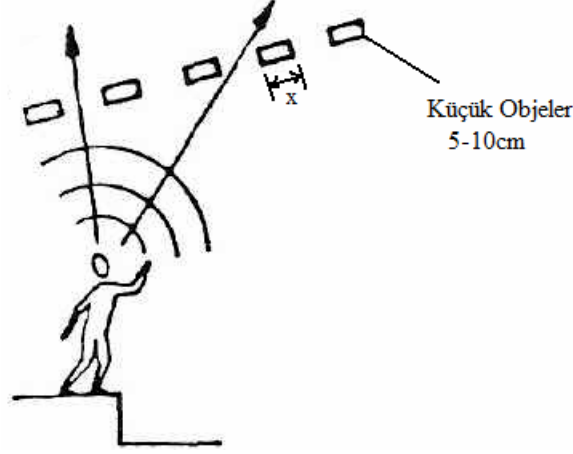


Şekil 30. Ses ışınlarının farklı yüzeylerden yansıması, [19]

1.5.4. Sesin Kırılması

Sesin kırılması, ses dalgalarının izotrop olmayan bir ortamda (yani özellikleri doğrultuya göre değişen bir ortamda) hız değişimleri sonucu, ya da bir ortamdan başka bir ortama geçmeleri sonucu, doğrultu değiştirmeleri olayıdır. [17]

Kırılma, ses dalgalarının, köşeler, kolonlar, duvarlar, kirişler gibi engellerde bükülerek uzaklaşması ya da saçılmasıdır. Küçük, üniform, düzgün hacme sahip yansıtıcı yüzeyler istenmeyen kırılma etkileri yaratabilir.

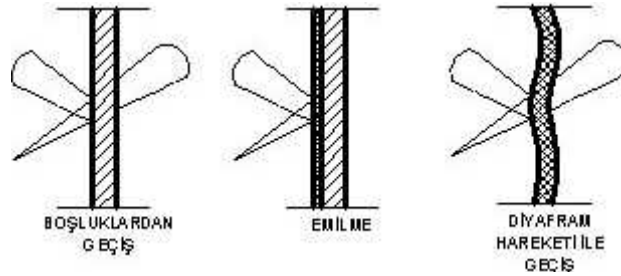


Şekil 31. Sesin kırılmasının şematik gösterimi, [19]

1.5.5. Sesin Yutulması

Sesin emilmesi, ses enerjisinin başka bir enerji türü ya da ses dışı titreşimlere dönüşmesi olarak tanımlanır. En rastlanan durum ses enerjisinin emilerek ısı enerjisine veya titreşerek hareket enerjisine dönüşmesidir.

Gerçekte hiçbir malzemenin tam bir katı yüzeye sahipmiş gibi görülmemesi gerekmektedir. Ses yüzeyden tam bir yansıma gerçekleştirmez ve sesin bir miktarı malzemenin oluşum niteliğine göre emilme suretiyle kaybolur. Yüzeyin emilme katsayısı yansımayan sesin gelen sese oranı olarak kabul edilir. Emilme katsayısı α ile simgelenir.



Şekil 32 : Sesin yutulması [20]

Sesin Emilerek Isı Enerjisine Dönüşümü: Sesin çarptığı yüzeyin oluşumuyla ilgilidir. Boşluklu malzeme yapısal olarak kılcal borular ve aralarındaki hava boşluklarından oluşmaktadır. Emilen ses, malzemenin içeriğinde bulunan kılcal borular ve aralıklardaki havanın titreşmesi sonucunda çeperlerine sürtünmeye başlamaktadır. Bu olay da ses enerjisinin az ya da çok bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesine yol açmaktadır. Bu şekilde sesin emilmesi sürtünmenin fazlalığına ve malzemenin porozite özelliklerine, titreşim hareketinin frekansına, genliğine bağlıdır. Boşlukların çok ince ya da az olması ve titreşim hareketini azaltması sonucu emilme az olmaktadır. Boşlukların çoğalması durumunda titreşim kolayca harekete geçer. Fakat bu olayın neticesinde sürtünme az olacağından emilim de az olacaktır.

Sesin Emilerek Hareket Enerjisine Dönüşümü: Sesin emilerek titreşme vasıtasıyla hareket enerjisine dönüşmesi kullanılan malzeme ile ilgilidir. Malzemenin boşluklu değil, esnek yapıda olması nedeniyle ses dalgalarının yüzeye çarpması akustik basınç oluşturmaktadır. Oluşan basınç farkı nedeniyle düzlem dalgalar bir piston gibi hareket ederek titreşimleri oluşturmaktadır. Bu şekilde ses enerjisinin bir kısmı kaybolur.

Bir malzemenin ses yutuculukta, belli bir frekans içinde, ne derece yeterli olduğu, ses yutuculuk katsayısı ile değerlendirilir. Bir yüzeyin ses yutuculuk katsayısı, o yüzeye gelen ses enerjisinin yutulan ya da yansıtılmayan oranıdır ve α ile gösterilir. Bu değer; 0 ile 1 arasında değişebilir. Örneğin, akustik bir malzemenin, 500 Hz'de üzerine gelen ses enerjisinin % 65 'ini yutup, % 35'ini yansıtması, o malzemenin 500 Hz'deki yutuculuk katsayısının 0.65 olduğunu gösterir. Tuğla, beton, taş gibi sert yüzeylere sahip malzemeler ise ses enerjisinin ancak %5'ini yutarak, 0.05lik bir yutuculuk katsayısına sahip olurlar. Bu değer, kalın yalıtım örtülerinde 0.80'i bulur. Ses yutuculuk katsayısı değeri, ses dalgasının geliş açısına ve frekansa göre değişir. Ancak akustik literatürde yer alan ses yutuculuk katsayısı değerleri, geliş açılarının ortalamaları ile elde edilmiştir.

Bir yüzeyin ses yutuculuğu, sahip olduğu ses yutuculuk katsayısı ile yüzey alanının çarpımı sonucunda elde edilen ve Sabin adı verilen birim ile ölçülür. 1 sabin, $\alpha=1$ yutuculuk değerine sahip 1 m^2 alanı temsil eder. ¹

Ses yutucu malzemeler, başta reverberasyon kontrolü olmak üzere hacimlerde gürültü azaltımı ve eko kontrolünde kullanılırlar. [19]

1.5.6. Sesin Geçişi

Sesin geçmesi, genellikle ses erkesinin bir ortamdan başka bir ortama geçmesi anlamına gelir. Geçen ses erkesinin hesap şekli, bu erkenin büyüklük aşaması ve ses geçmesine karşı alınacak tedbirler açısından temel farklar gösteren dört ayrı biçimde incelenebilmektedir: [17]

Sesin açıklıklardan geçmesi: Sesin bir ortamdan diğer bir ortama geçmesi için süreklilik sağlayan bir aralıktan geçmesine verilen addır. Bir açıklıktan geçen ses erkesi, açıklığın boyutları ve sesin dalga boyu arasındaki farkla ilintilidir.

Sesin geçirgenlikle geçmesi: Bir ortamın atom ya da moleküllerinin sesle ilgili titreşimlerinin, iki ortamı ayıran sınırdaki, ikinci ortamın atom ya da molekülleri üzerindeki etkisiyle, atom ya da molekül ölçeğinde bir olayla bir ortamdan öteki ortama geçmesine geçirgenlikle geçme denir. Sesin bu türlü geçişi, ısı geçişine benzetilmektedir.[17]

Sesin geçişi esnasında ortamların elastiklik modülü oranına bağlantılı olarak kayıplar söz konusu olmaktadır.

Hava ile katı cisimler arasındaki esneklik modülü oranı yaklaşık olarak 10^5 'dir. Logaritmik olarak hesaplanan dB cinsinden, bu değer 50 dB eder. Yani ses havadan duvara geçerken yaklaşık olarak 50 dB azalır. Bu şekilde düşünüldüğünde sesin diğer mekâna geçmesi için 50 dB bir kayıp söz konusudur. Bu durumda duvarın kalınlığının rolü yoktur.

- Sesin cidar titreşimiyle geçmesi: Ses dalgalarının duvar, döşeme, kapı, cam bölme vb. cidarları bütünüyle titreştirmesi ve titreşen bu cidarların da, öteki yanda bulunan havayı tıpkı bir hoparlör gibi titreştirmesi ile sesin geçmesi olayıdır. Geçirgenlikle geçmede titreşime geçen, örneğin bir duvarın kitlesi içindeki moleküller iken, cidar titreşimi ile geçmede titreşime geçen duvar kitlesinin bütünüdür.

Sesin cidar titreşim ile geçmesinde etkin olan, sesin hava basıncı içindeki değişimler olarak görülmektedir. Sesin yutulması ile sesin geçmesinin birbiri ile karıştırılmaması gerekmektedir.

- Sesin dolaylı geçmesi: Sesin cidar titreşimiyle geçmesinde, cidarın dalgalanma hareketleri yaptığı ve cidarların esnekliği oranında bu hareketin cidar boyunca yayıldığı açıklanmıştır.

1.6. Yer Bulma Yöntemleri

Yer bulma yöntemleri beş farklı temele dayanır, literatürde çok farklı yöntemler olmasına karşın tüm yöntemler bu beş yöntemin türevleri şeklindedir. Yöntemler başlıklar halinde sıralayacak olursak;

1 RSS(Receive Signal Strength) alınan işaretin gücünün belirlenmesi

2 TOA(Time of Arrival) varış zamanının kestirilmesi,

3 AOA(Angle of Arrival) geliş açısının kestirilmesi,

4 TDOA(Time Difference of Arrival) varış zamanı farklarının kestirilmesi

5 RT-TOA(Round Trip Time of Arrival) gidiş geliş zamanının kestirilmesi ile hareketli kullanıcının yerinin tespit edilmesi şeklindedir.

1.6.1. RSS(Receive Signal Strength)

Bu teknik mobil kullanıcının yerini gelen RF işaretin güç seviyelerinin kıyaslamasıyla tespit etme temeline dayanır.[21] Diğer yöntemlere nazaran ucuz ve uygulanması çok daha kolaydır. Ancak başarımı direkt görüşün olmadığı NLOS ortamlarda düşüktür. Bu yöntemde en etkili parametre yol kaybının en doğru şekilde modellenmesidir. Bu nokta aynı zamanda bu yöntemin en büyük dezavantajıdır.[22]

Eğer gönderilen işarete $x(t)$ dersek alınan işaret

$$r_d = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)h_d(t-\tau) d\tau \quad (56)$$

ve alıcı ile verici arasındaki kanalın birim vuruş tepkisi $h_d(t)$

$$h_d(t) = \sum_{i=1}^L \beta_i^d \delta[t - \tau_i^d] \quad (57)$$

Şeklindedir. Burada β_i^d ve τ_i^d alıcı ve verici arasındaki karmaşık genlik ve yol gecikmeleridir. Burada RSS sensörlerinin alınan işaretin gücünü kullanırlar ve aşağıdaki gibi ifade edilir. [23]

$$RSS_d = \int_{-\infty}^{+\infty} |r_d(t)|^2 dt = \sum_{i=1}^L \int_{-\infty}^{+\infty} |\beta_i^d x[t - \tau_i^d]|^2 dt \quad (58)$$

1.6.2. TOA(Time of Arrival)

Bu yöntemde mobil kullanıcı ve yer belirleme sensörlerinin hepsi eşzamanlı saatlere sahiptirler. Bu bize işaretin gelmesi beklendiği zamanla gerçekten geldiği zaman arasındaki farkı ölçerek mesafeyi bulmayı sağlar. Bu fark yalnızca direkt görüşün olduğu LOS(Line of Sight) kanallarda uçuş süresine bağlıdır ve bu da direkt olarak mesafeyle ilişkilidir. Fakat TOA yöntemindeki saat tutarlılığının getirdiği donanım maliyeti özellikle mobil kullanıcı için oldukça fazladır.[24]

Matematiksel olarak RSS ölçümündeki formül 58'deki i alt indisi farklı sensörler olarak ele alınırsa, her i . sensör için bir RSS değeri hesaplanacaktır. Burada d alıcıyla verici arasındaki mesafeyse, TOA sensörlerinin kestirdiği mesafe

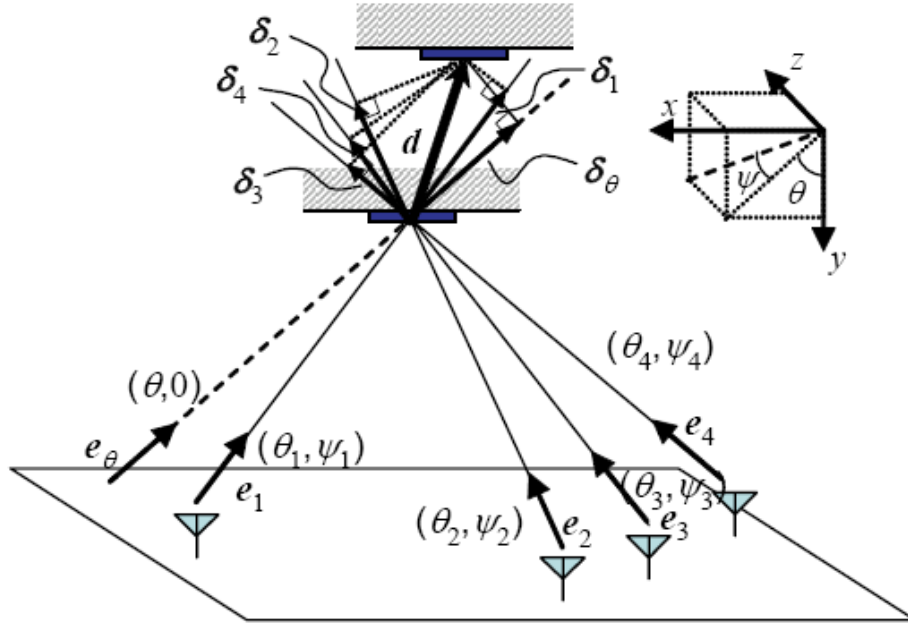
$$\hat{d}_w = c\hat{\tau}_{1,w} \quad (59)$$

şeklinde olacaktır. Burada c ışık hızı, $\hat{\tau}_{1,w}$ ise TOA yöntemiyle kestirilen alıcı ve verici arasındaki direkt yoldur, w ise sistemin bant genişliğidir. Bu durumda mesafe ölçüm hatası şu şekilde tanımlanır; [23]

$$\varepsilon_{d,w} = \left| \hat{d}_w - d \right| \quad (60)$$

1.6.3. AOA(Angle of Arrival)

Bu yöntem referans noktaların mobil kullanıcıdan gelen işaretin açısını hesaplayarak mobil kullanıcıyı yerini hesaplama esasına dayanır ki bunun için bir anten dizisi lazımdır. Burada açıların çok hassas hesaplanması önemli bir noktadır. Çünkü 1km de 0.57° lik bir hata yaklaşık 10m lik bir hesaplama hatasına yol açmaktadır. Bundan dolayı gerçek zamanlı anten yer değiştirmesi kompanzasyonu yapılması elzemdir.



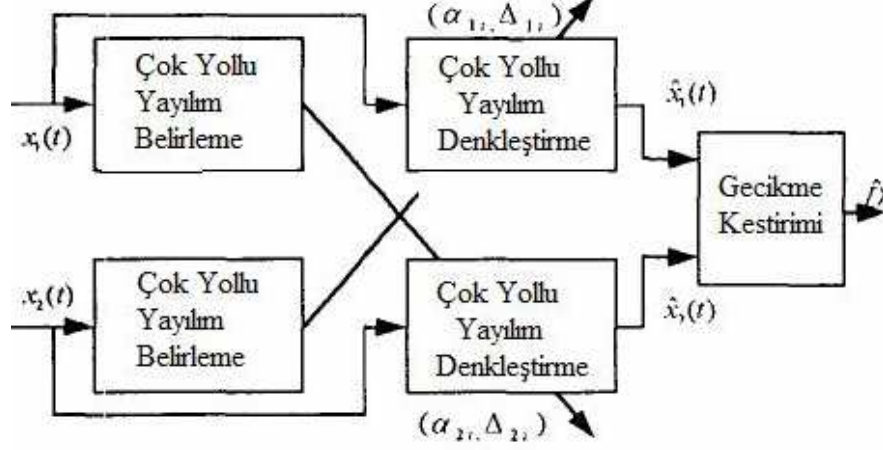
Şekil 33. Referans noktalar, mobil kullanıcı ve insansız uçağın gösterimi

Şekil 33'de bir insansız uçak, 4 adet bilinen referans noktası ve birde mobil kullanıcı gösterilmektedir. İnsansız uçağın üzerindeki anten dizisi bilinen referanslara göre varış açısı hesaplarıyla mobil kullanıcının yerini AOA yöntemiyle bulabilmektedir. Burada θ_i referans istasyonlarla insansız uçak arasındaki yön, d anten dizisinin yer değiştirme vektörü, δ_i alınan işarettaki faz bozulmasıdır.[25]

1.6.4. TDOA(Time Difference of Arrival)

Bu yöntem TOA yöntemine kıyasla mobil kullanıcı maliyetini oldukça düşürecek kadar daha az duyarlı saat hassasiyetine sahip olabilir. Buradaki sorun mobil kullanıcının

saat ofseti gibi bilinmeyen değişkenlerle başa çıkmak olacaktır. Ve performansı da TOA yönteminden iyi değildir.



Şekil 34. Çok yollu yayılımın belirlenmesi ve denkleştirilmesi

Şekil 34’te görüldüğü gibi $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ iki ayrı sensörün aldığı işaretlerdir ve şu şekilde ifade edilirler;

$$\begin{aligned} x_1(t) &= \sum_{i=0}^{N-1} a_{1i} s(t - \Delta_{1i}) + n_1(t) & \Delta_{10} &= 0 \\ x_2(t) &= \sum_{i=0}^{N-1} a_{2i} s(t - \Delta_{2i} - D) + n_2(t) & \Delta_{20} &= 0 \end{aligned} \quad (61)$$

burada $s(t)$ gönderilen işaret, N çok yollu yayılım sayısı, a_{1i} , a_{2i} ve Δ_{1i} , Δ_{2i} alınan iki işarettaki genlikler ve zaman gecikmeleri, $n_1(t)$ ve $n_2(t)$ her iki kanal için AWGN gürültü, D ise TDOA yöntemiyle kestirimini yapmak istediğimiz iki sensör arası varış zamanı farkıdır. [26]

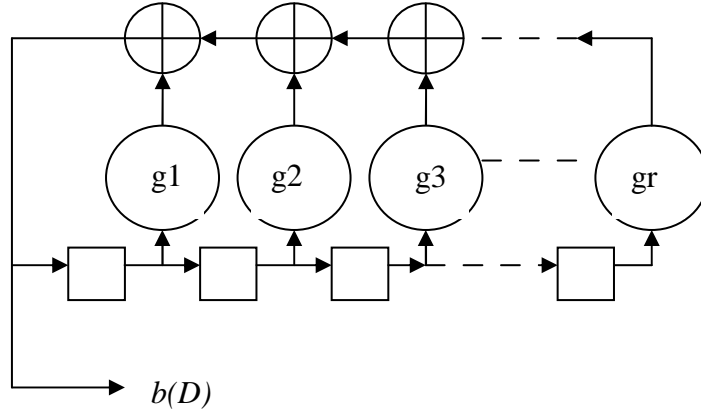
1.6.5. RT-TDOA(Round Trip - Time of Arrival)

Bu yöntemde tüm saatler asenkron dur. Kısa mesafede tutarlılığı yüksek ve maliyeti düşüktür ama performansı TOA’ yı aşamaz. Yöntemde sabit istasyon önden ileri yön linki adıyla mesafeleşme dalga formu gönderir daha sonra bunu mobil istasyon alır ve geri yön

mesafeleşme dalga formunu gönderir. Bu sayede sabit istasyon dalganın gidip gelme ve işlem süresini hesaplayarak mobil kullanıcının yerini (kısa mesafe için saatlerin yeterli güvenilirlikte olduğu kabul ederek) kestirmeye çalışır.

1.7. PN (Pseudo Random Noise) Dizilerinin Üretilmesi

Spektrum yaymalı sistemlerin uygulanmasında hem alıcı hem de vericide yayma kodlarının üretimi gereklidir. Kod yayma işlemi ise birbirlerine göre farklı üstünlükleri olan PN ve m dizileri ile yapılmaktadır. PN dizilerinin öz ilişki fonksiyonları çok iyi sonuç verirken m dizilerinin de çapraz ilişki fonksiyonları çok iyi sonuç vermektedir. Bu diziler bir doğrusal geri beslemeli kaydırmalı kaydedici ile kolayca hesaplanabilirler.[27]



Şekil 35. PN üreten kaydırmalı kaydedicinin yapısı

$$b(D) = g_1 D b(D) + g_2 D^2 b(D) + \dots + g_r D^r b(D) \quad (62)$$

Burada D polinom katsayıları, D gecikme değişkeni ve $b(D)$ üretilen dizidir.

Bu çalışma genel olarak ses ve elektromanyetik kanal analizi esasına dayanmasından dolayı ses ve elektromanyetik kanalların fiziksel esaslarının iyi gözden geçirilmesi tezin sağlam temellere dayandırılması anlamına gelmektedir. OFDM işaretleri ve PN dizileri sayesinde de düşük işaret güçlerinde bile kanalların hem frekans tepkeleri hem de birim vuruş tepkeleri rahatlıkla elde edilebilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Giriş

Bu çalışmada, ses ve RF kanalın modellenmesi ve ölçülmesi için gerekli donanımlar elde edilip bir oda içinde insan dolaştırmak suretiyle ses ve RF kanalın katsayılarındaki değişimler gözlenerek kişinin oda içinde bulunduğu konum kestirilmeye çalışılmıştır.

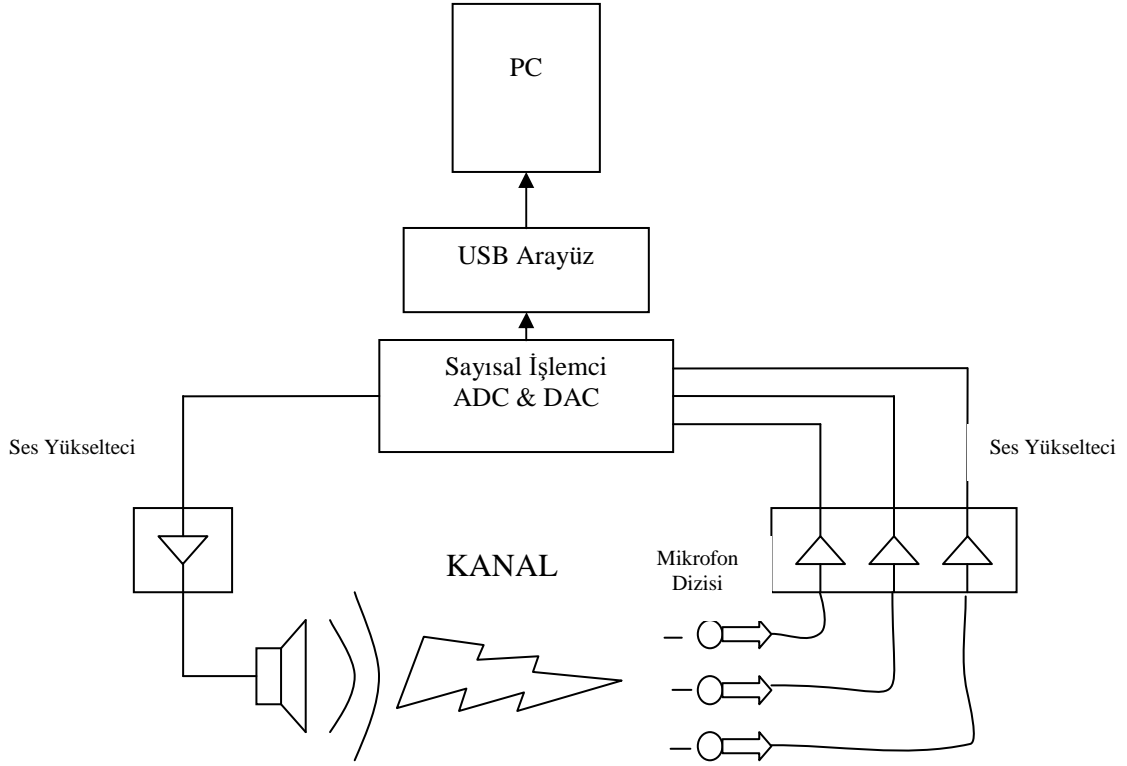
Yapılan işlemler sırasıyla; ses kanalının ölçümlerini yapabilmek için analog ses yükseltici, sayısal örnekleme devresi ve bilgisayar ara yüzünün tasarımı ve uygulanması şeklindedir.

RF kanalın ölçümlerinin yapılması için Tektronix WCA380 (Kablosuz Haberleşme Analizörü) ve Agilent E44238C (Vektör İşlet Üretici) ölçüm aletleri için 868MHz de biquad antenlerin tasarımı ve ölçümlerin yapılması şeklindedir. Daha sonra elde edilen veriler bir bilgisayar programı vasıtasıyla işlenerek bir oda içinde dolaşan insanın yeri kestirilmeye çalışılmıştır.

2.2. Ses Kanalının Ölçülmesi İçin Donanım Tasarımı ve Uygulanması

Ses kanalının ölçülmesi için Nyquist kriterine göre örnekleme hızımız örnekleyeceğimiz işaretin içindeki en yüksek frekans bileşenin en az iki katı olmalıdır. Bu çalışmada işaret gürültü oranının (SNR) yüksek olması için bu değeri kanala verilen işaretin 4 katı olarak alındı. İşareti yine Nyquist kriterinin üstünde bir değer olarak, bir sayısal - analog dönüştürücü vasıtasıyla kanala verildi. Yapılan bilgisayar ara yüzüyle kanaldan örneklene ses işaretinin genlikleri bilgisayara aktarıldı.

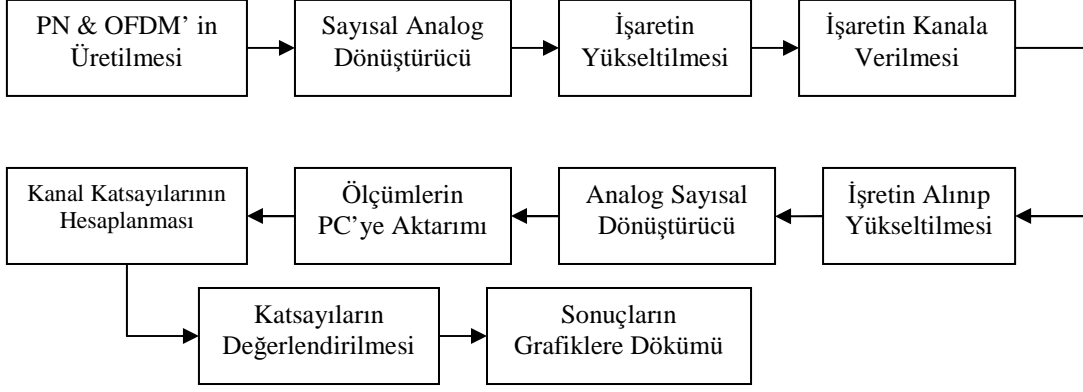
Bu işlemler şekil 36'da blok şeması verilen donanımla gerçekleştirilmiştir. Kanal ölçümleri PC'ye aktarıldıktan sonra gerekli matematiksel işlemlerden geçirilip sonuçlar grafiksel tabana aktarılmıştır.



Şekil 36. Ses kanalının ölçülmesi için yapılan donanımın blok şeması



Şekil 37. Ses kanalının ölçülmesi için yapılan donanımın fotoğrafı



Şekil 38. Tasarlanan ses üretim ve işleme devresinin akış diyagramı

Yukarıda Şekil 36'da verilen devrenin gerçekleştirilmiş olarak şekil 37'de verilmiştir. Burada kullanılan sistemlerin ses kanalı ölçümü için geliştirilen algoritması Şekil 38'de akış diyagramı olarak verilmiştir.

Öncelikle daha önceden C++ programı içinde işlenerek üretilmiş ve konu edinilen ses frekans bandı aralığında (0-1000 Hz) her frekansta eşit genliğe sahip olan OFDM işareti mikroişlemci kalıcı belleğine kaydedilmiştir. Buradan alınan ses parçaları kanala verilmek üzere alınan ölçümlerle kanalın frekans tepkisi elde edilmiştir. Daha sonra mikroişlemci içerisinde üretilen ilgili PN dizisi yardımı ile kanalın zaman ekseninde kanal katsayıları elde edilerek değerlendirilmiştir ve grafiklere aktarılmıştır.



Şekil 39. Ses kanalı ölçümü için kullanılan mikrofon dizisi

2.3. RF Kanalının Ölçülmesi İçin Donanımsal Düzeneğin Kurulması ve Antenlerin Tasarımı

KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü DSP Laboratuvarında bulunan Kablosuz Haberleşme Analizörü WCA380 yardımıyla, 0-8GHz arasında 40MHz örnekleme frekansıyla örnekleme yapabilmekteyiz.



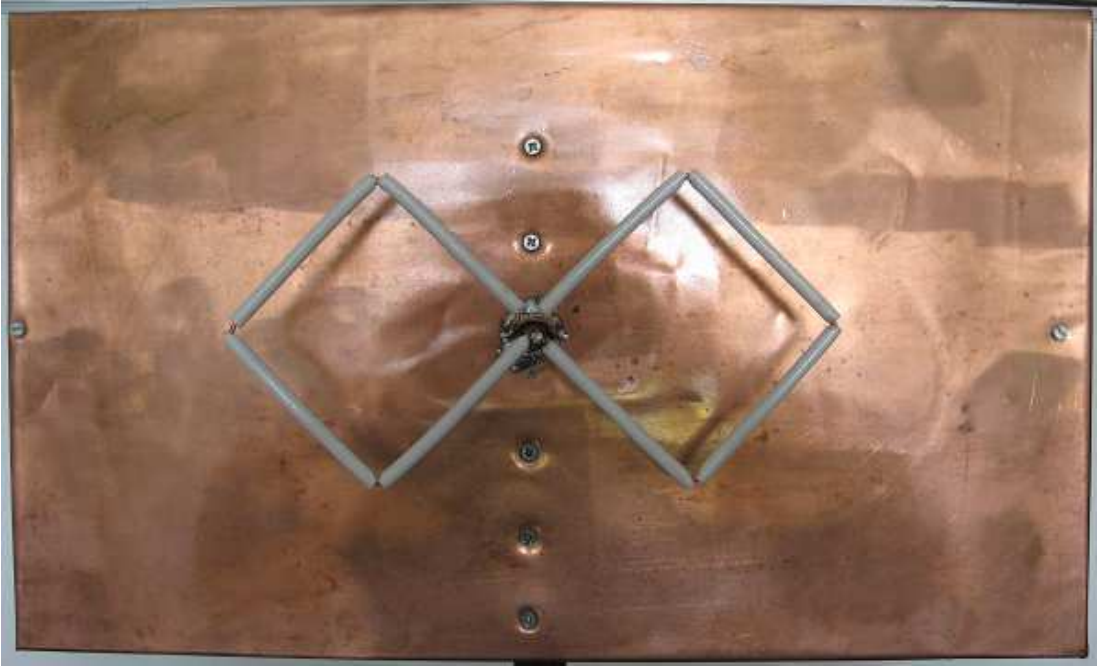
Şekil 40. Tektronix WCA380 Kablosuz Haberleşme Analizörü

RF kanalında alıcı olarak kullandığımız Tektronix WCA380 Kablosuz Haberleşme Analizörü PC tabanlı bir ölçü aleti olduğundan sırasıyla; düşük gürültülü yükselteç (LNA), RF yükselteç, I/Q demodülatör ve kestirim donanımlarına sahip bir bilgisayardır denilebilir. RF kanalın ölçüm sonuçlarını kendi belleğine atarak bize sadece ölçüm sonuçlarını değerlendirmek için matematiksel modeli çıkartmak ve ilgili bilgisayar programını yazma işlemini bırakmaktadır.

RF sistemin verici olarak ta Agilent E4438C Vektör İşaret Üreteci kullanıldı. Bu ölçü aleti içerisine yüklediğimiz zaman eksenindeki herhangi bir işareti istenilen kod yaymasından geçirerek, istenilen modülasyona tabi tutup ve istenilen yüksek frekans işaretiyle çarparak işareti RF katına çıkartmaktadır.



Şekil 41. Agilent E4438C Vektör İşaret Üreteci



Şekil 42. 868 MHz için tasarlanan biquad anten fotoğrafı

Bu kısımda tasarım olarak kanala RF işareti vermek için ve gönderilen işareti almak için giriş empedansı 50Ω olan bi-quad antenler tasarlanmıştır. Bu antenlerin avantajı yönsmeli olmaları ve 3dB açıklıklarının 60° olması, kazançlarının da 9-11dB_i arasında olmasıdır. Bu antenler sayesinde yönsesiz antenlere nazaran istenilen doğrultuda daha yüksek kazanç elde edilmektedir.

2.4. Deneysel Çalışmalar, Kanal Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

2.4.1. RF Kanalın İçin Yapılan Ölçümlerin Değerlendirilmesi

RF ölçümleri için yine kanala PN dizisi verilerek, alıcıda alınan dataları bilinen PN dizisiyle korelasyon yapılmış ve sonuçlar RF kanalın katsayıları olarak alınmıştır. Burada işlemler sırasıyla alınan ölçümlerin kanal katsayılarının tespiti, kanal katsayılarının hızlı fourier dönüşümlerinin (FFT) alınması, FFT katsayılarının genliklerinin alınarak ortalamalarının çıkarılıp varyanslarına bölünmesinden sonra bilinmeyen noktaların herbir referansa göre farklarının bakılmasıyla noktaların tespiti şeklindedir. Matematiksel olarak ifade edilecek olunursa:

$$f_i(t) = \int_{n=1}^N PN(\tau_n) * V_i(t - \tau_n) d\tau \quad \tau = 0, Ts, 2Ts, \dots \quad (64)$$

Alınan V_i dataları PN dizisi ile korele edilerek $f_i(t)$ zaman domeni kanal katsayıları bulunmuştur. Burada i ölçüm alınan noktalar olup bu işlem hem referans noktalar hemde bilinmeyen noktalara uygulanmıştır.

$$\ddot{f}_i(t) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^M f_i(t)_n \quad (65)$$

Referans noktaların net bir şekilde bilinmesi gerektiği için $f_i(t)$ zaman domeni kanal katsayılarının sadece referans noktalar için alınan $M_{max} = 10$ örneğin ortalaması alınmıştır.

$$F_i(f) = \left| \text{fft} \left\{ \ddot{f}_i(t) \right\} \right| \quad (66)$$

Tüm ölçümlerin $f_i(t)$ zaman $N_{max} = 32$ adet domeni kanal katsayılarının $2N_{max} = 64$ noktalı hızlı Fourier dönüşümleri alındı ve her ölçüme ait 64 adet F_i katsayısı elde edilmiştir. (66)

$$\mu_i = \frac{1}{2N} \sum_{n=0}^{2N} F_i(f)_n \quad (67)$$

Her ölçüm için bulunan frekans domeni katsayılarının ortalaması bulundu (μ_i). (67)

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{n=0}^{2N} |F_i(f)_n - \mu|^2} \quad (68)$$

Her ölçüm için bulunan frekans domeni katsayılarının varyansları bulundu (σ_i). (68)

$$Fn_i(f) = \left| \frac{F_i(f) - \mu_i}{\sigma_i} \right| \quad (69)$$

Her ölçüm için bulunan frekans domeni katsayılarından ortlamaları çıkarılarak varyanslarına bölünüp mutlak değerleri alınmış ve normalize frekans domeni katsayıları bulunmuştur $Fn_i(f)$. (69)

$$Xu_{a_i} = \sum_{n=0}^{2N} |Fn_{a_i}(f)_n - Fn_{x_i}(f)_n| \quad Xun_a = \frac{Xu_a}{Xu_a + Xu_b + Xu_c + Xu_d} \quad (70)$$

Bilinmeyen X noktasının referans a noktasına göre farkı Xu_{a_i} şeklinde ifade edildi ve bunu diğer referans noktalara göre normalize edilerek normalize fark Xun_a şeklinde ifade edildi. Bu formül tüm referans noktalar ve tüm bilinmeyen noktalar için tekrarlanmıştır. (70-73)

$$Xu_{b_i} = \sum_{n=0}^{2N} |Fn_{b_i}(f)_n - Fn_{x_i}(f)_n| \quad Xun_b = \frac{Xu_b}{Xu_a + Xu_b + Xu_c + Xu_d} \quad (71)$$

$$Xu_{c_i} = \sum_{n=0}^{2N} |Fn_{c_i}(f)_n - Fn_{x_i}(f)_n| \quad Xun_c = \frac{Xu_c}{Xu_a + Xu_b + Xu_c + Xu_d} \quad (72)$$

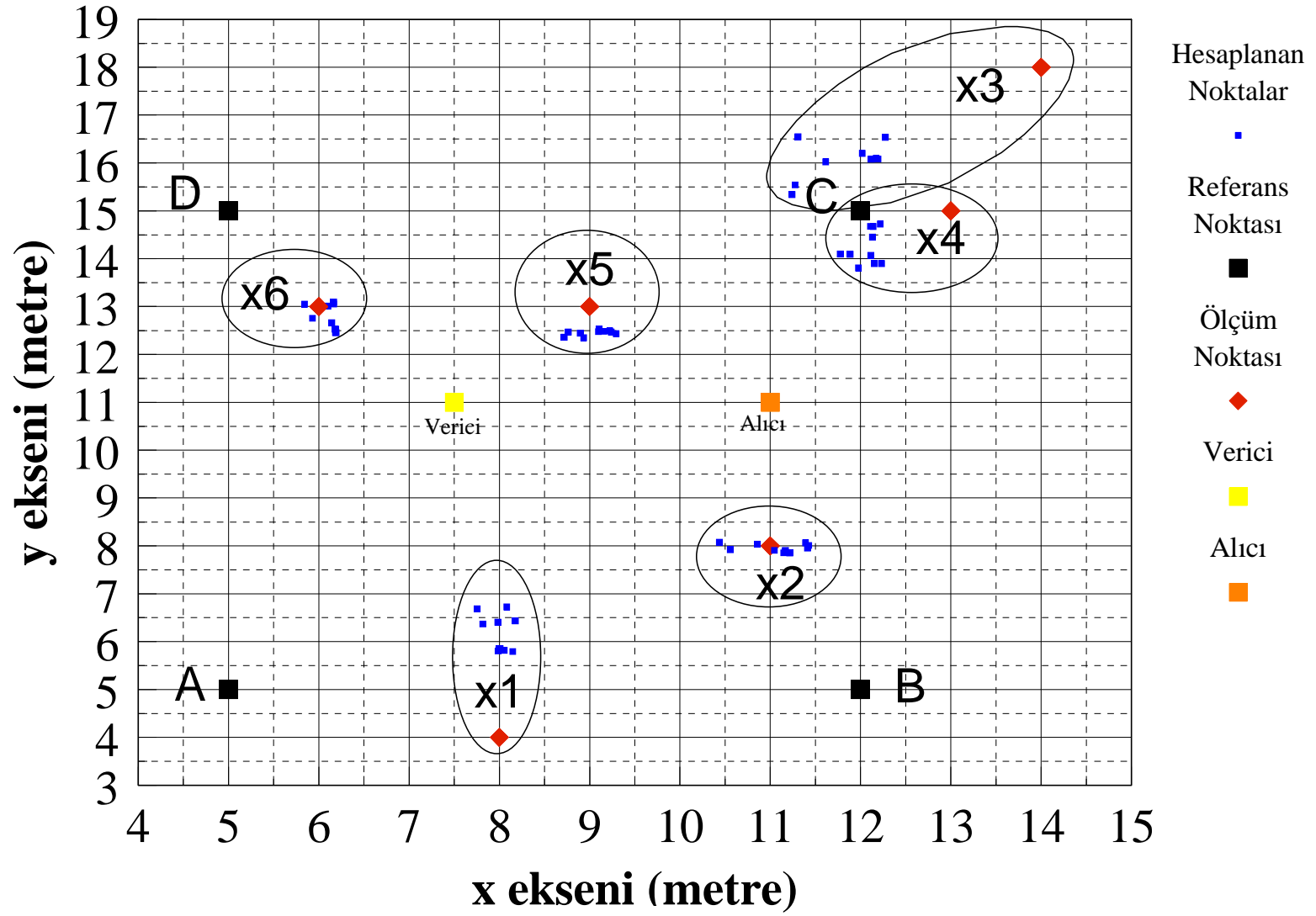
$$Xu_{d_i} = \sum_{n=0}^{2N} |Fn_{d_i}(f)_n - Fn_{x_i}(f)_n| \quad Xun_d = \frac{Xu_d}{Xu_a + Xu_b + Xu_c + Xu_d} \quad (73)$$

Ve bu bulunan normalize referans farklarından bilinmeyen noktaların x ve y koordinatları birim değer şeklinde bulunmuş ve metrik birime getirmek için referans noktalar arasındaki metrik farklarla çarpılmıştır. (74,75)

$$a_{xu} = [(Xun_a / (Xun_a + Xun_b)) + (Xun_d / (Xun_d + Xun_c))] / 2 \quad (74)$$

$$a_{yu} = [(Xun_a / (Xun_a + Xun_d)) + (Xun_b / (Xun_b + Xun_c))] / 2 \quad (75)$$

Bu duruma göre ölçümün yapıldığı odanın modeli ve sonuçlar şekil 48'deki gibidir olmuştur.

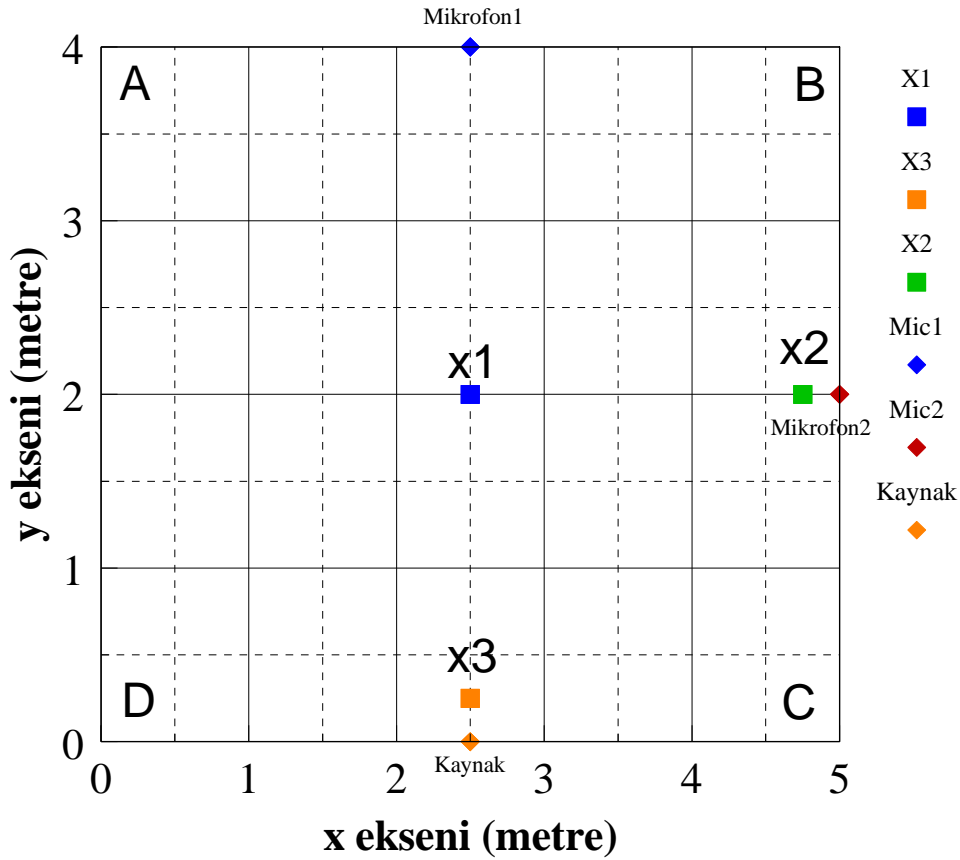


Şekil 43. RF ölçümlerin yapıldığı oda modeli, alınan sonuçlar

Bu sonuçlara göre RF ölçümlerde bilinmeyen nokta referans noktalarının arasında kaldığı zaman başarımın daha yüksek olduğu görülmektedir. Referans noktaları arasında kalan noktalar X6, X5 ve X2 için 1m başarımı bu ölçümlerde %100 iken, tüm noktalarda 1m için başarım %58'e düşmüştür. Buda bize referans noktalarının seçimindeki önemi belirtmektedir. Referans noktaları ölçümün yapılacağı alanı kaplayacak şekilde seçilmelidir. Bunu yanında ses kanalının böyle belirgin bir seçiciliği bulunamamıştır.

2.4.2. Ses Kanalı İçin Yapılan Ölçümlerin Değerlendirilmesi

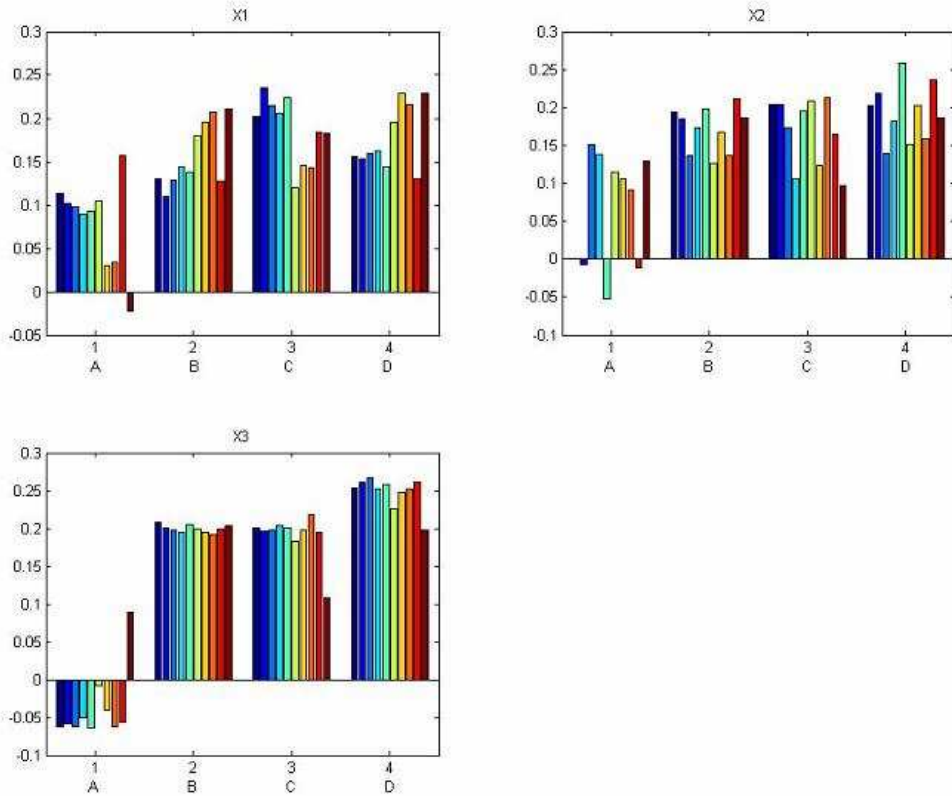
Hazırlanan donanımlar bir odanın bir duvarına verici diğer duvarlarının ikisine de alıcı mikrofonlar konmak üzere sırayla odanın 4 köşesinde bir insan dururken referans ölçümleri alınmıştır. Daha sonra odada bilinmeyen 3 ayrı noktada ölçümler alınmış ve bu ölçümler referans noktalarındaki ölçümlerle kıyaslanarak yer kestirimine gidilmeye çalışılmıştır.



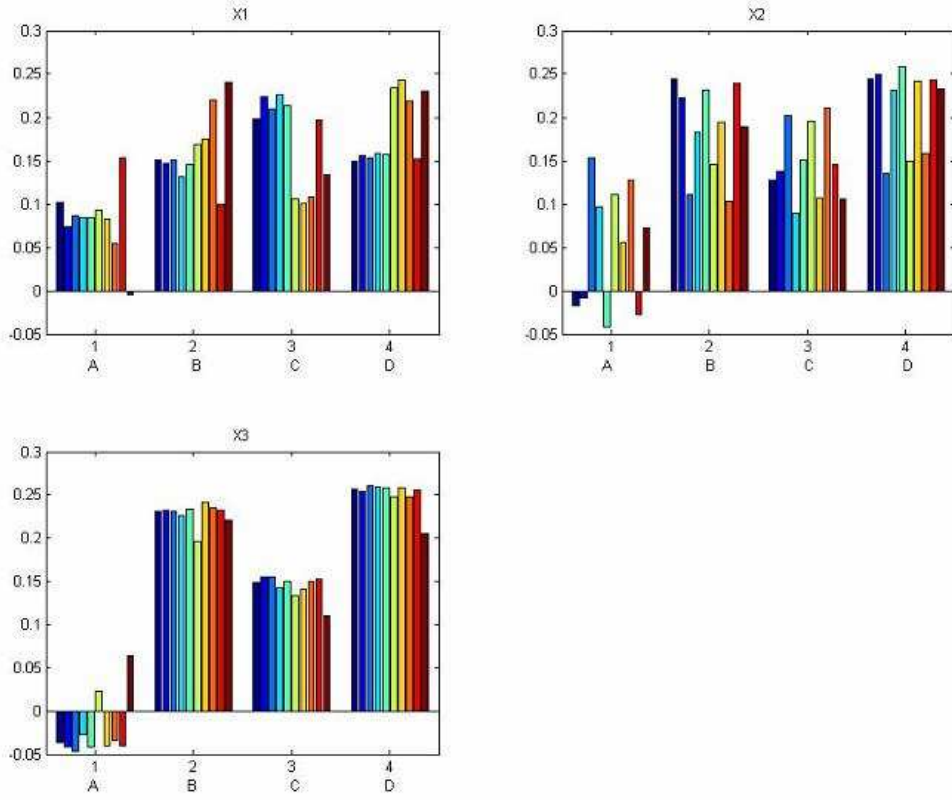
Şekil 44. Ses ölçümünün yapıldığı oda modeli

Yukarıda da bahsedildiği gibi ses kanalının RF kanal gibi yer belirlemede seçicilik elde edilememiştir. Ancak çalışmalar tamamen sonuçsuz da kalmamıştır. Sesin yansıma ve emilme karakteristiğinin çok değişken olmasından dolayı yer belirleme işleminde belirleyici bir çıkış vermemektedir. Ses bandındaki kanal ölçümleri ve yer belirleme için kullanılan matematiksel ifadeler denklemler (64-75) ile verilmiştir. Buradaki fark RF kanalında 32 adet zaman bölgesi katsayıları değerlendirilmesine karşın ses kanalında 512 adet zaman bölgesi katsayıları değerlendirilmeye alınmış olmasıdır.

Ses kanalında yapılan ölçümlerde bilinmeyen noktalar ile referans noktalar arasında fark gözlenmiş ancak bu fark kararlı bir değişim göstermediğinden belirleyici bir matematiksel yaklaşım ile yer tespiti yapılacak düzeye gelememiştir. Şekil 44'te ve 45'te bu farklar gösterilmiştir. Şekil 44 ve 45'te her bir renk bulunmaya çalışılan noktaya ilişkin kanallardan elde edilen dört adet (A, B, C, D) referans noktalarına ilişkin 10 adet ölçüm değerlerdir.



Şekil 45. 1. Mikrofon için X1, X2 ve X3 noktalarının referanslardan farkları.



Şekil 46. 2.Mikrofon için X1, X2 ve X3 noktalarının referanslardan farkları.

Şekillerden de görüldüğü gibi özellikle X3 noktası diğer noktalarla bariz bir fark oluşturmasına karşın belirleyici bir değişim göstermemesi yer belirlemeden ziyade algılama işlevi gerçekleştirmiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ses ve RF kanallarının deneysel ölçümleri yapılmış ve kanalın birim vuruş tepkelerinden yararlanarak haberleşme kanalında etkisi bulunan bir cismin yerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1. RF kanalın ölçüm yöntemi ile yapılan yer belirleme, kıyaslanacak referans noktaların iyi seçilmesi durumunda çok yüksek doğruluk göstermiştir.
2. Referans noktaların seçiminde korelasyonu düşük noktalar, yani bir birine benzemeyen ve mümkün olduğunca yer tespiti yapılmak istenen alanı kaplayacak noktalar olmasına dikkat edilmelidir.
3. Bu tezde önerilen ve uygulanan yöntemle ses bölgesindeki kanal ölçümlerinde sesin çeşitli cisimlerle emilimi yüksek olmasından dolayı yansıyan dalgaların alıcıya çok düşük genlikte ulaşmış olması ortam hakkında belirleyici bilgi verememesine yol açmıştır.
4. Bu tezde bahsi geçen yöntemle RF bölgesinde yüksek hassasiyette yer belirleme işlemi yapılmasına karşın ses bölgesinde yer belirleme işlemi yapılamamaktadır.

4. ÖNERİLER

1. Bu çalışmada kanalın birim vuruş tepkesinden yararlanılarak yer kestirimi yapılmaya çalışılmıştır ve RF ölçümlerde birçok yöneme kıyasla çok üstün bir başarıml elde edilmiştir. Ancak ses ölçümlerinde böyle bir sonuç alınamadığından başka bir bakış açısıyla değerlendirilirse daha belirleyici sonuçlar alınabilir.
2. RF ölçümleri için referans noktaların belirlemlesinde en uygun nokta seçilmelidir. Bunun için yer belirlemlenin yapılacağı alanı tamamen kaplayan ve birbirleriyle benzerlik oluşturmayan noktalar seçilmelidir.
3. Her türlü malzemeden ses ve elektromanyetik dalganın nasıl yansıtacağı yansıtmasız bir odada test edilerek malzemelerin yansıtma karakteristikleri kütüphanesi oluşturulup daha net bir modellemeye gidilebilir.
4. Yukarıda önerilen karma yöntemle bu sistem evlerimizde kullandığımız MIMO türü kablosuz modemlere rahatça uygulanabilir ve bu kanaldaki herhangi bir hareket eden cisim tespit edilebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Rappaport, T.S., Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA, 1996.
2. Nix, A.R., Fundamental Investigation into Short Range High Capacity Mobile Data Transmission, Ph.D. Thesis, University of Bristol, England, September 1993.
3. Medbo, J. ve Schramm P., Channel Models for HIPERLAN 2, ETSI/BRAN Document No: 3ERI085B, 30 March 1998.
4. Dettmar, U., Khun-Jush, J., Schramm, P., Thielecke, J. ve Wachsmann, U., Modulation for HIPERLAN Type 2, Proceedings of the IEEE 49th Vehicular Technology Conf., May 1999, Houston-Texas, USA, 2, 1094-1100.
5. Proakis, J.G., Digital Communications, Fourth Edition, McGraw-Hill Co., Singapore, 2001.
6. Kaya, İ., A Study of High Performance Equalisation and Pre-Equalisation for High Speed Wireless Data Communications, Ph.D. Thesis, Centre for Communications Research, University of Bristol, April 1998.
7. Haykin, S., Communication Systems, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 1994.
8. Turin, G.L., Clapp, F.D., Johnston, T.L., Fine, S.B. ve Lavry, D., A Statistical Model of Urban Multipath Propagation, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 21,1, (1972), 1-9.
9. Peebles, P.Z., Probability, Random Variables and Random Signal Principles, McGraw-Hill Book Company, New York, 1980.
10. Weinstein, S.B. ve Ebert, P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Trans. Commun. Tech., 19, (1971), 628-634.
11. Soysal, B., OFDM Tabanlı Kablosuz İletişim Sistemleri için Yüksek Başarımli Alıcı Tasarımı, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
12. Karabiber, Z., Mimari Akustikte Ses Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1992.
13. Kurra, S., Uçak ve Havaalanlarında Gürültü ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1984.
14. Özer, M., Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, Arpaz, İstanbul, 1979.

15. Anonim, Çevresel Gürültünün değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği <http://www.cevre.gov.tr/birimler/ckok/gky.htm>., 2005.
16. Karabiber, Z., Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül ve Büyüklükler, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1991.
17. Sirel, Ş., Yapı Akustiği I – Temel Bilgiler, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, İstanbul, 1974.
18. Doelle, L., Environmental Acoustics, Mc Graw Hill Company, ABD, 1972.
19. Budak, A., Atatürk Kültür Merkezi'nin Akustik Açıdan Performansının Değerlendirilmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.
20. Baytın, T., Binalarda Akustik Tedbirler, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1963.
21. Pahlavan, K., ve Li, J.-P.M.X.: 'Indoor geolocation science and technology', IEEE Commun. Mag., 40, 2 (2002), 112–118.
22. Zemek, R., Hara, S., Yanagihara, K., ve Kitayama, K., The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC, 2007, Yunanistan, A Joint Estimation Of Target Location And Channel Model Parameters In An IEEE 802.15.4-Based Wireless Sensor Network.
23. Hatami A., Pahlavan K., The 17th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC, 2006, USA, Performance Comparison Of RSS And TOA Indoor Geolocation Based On UWB Measurement Of Channel Characteristics.
24. Qi Y., Kobayashi H., ve Suda H., Analysis of Wireless Geolocation in a Non-Line-of-Sight Environment, IEEE Transactions On Wireless Communications, 5, 3 (2006) 19-22.
25. Tsuji H., Gray D., ve Suzuki M., ve Miura R., The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC, 2007, Yunanistan, Radio Location Estimation Experiment Using Array Antennas For High Altitude Platforms.
26. Liangxue Z., Jinkang Z., Vehicular Technology Conference, IEEE VTS 54th Volume 4, 7-11 Oct. 2001 Page(s):2750 - 2753 vol.4, A New Model and its Performance for TDOA Estimation.
27. Ziemer R. E., Peterson R. L., Introduction to Digital Communication, Mcmillan Publishing Company, USA, 1992.

ÖZGEÇMİŞ

Cemaleddin ŞİMŞEK 1983 yılında Adana’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana Seyhan Emine-Nabi Menemencioğlu İlköğretim Okulunda ve lise öğrenimini Adana Ayşe Atıl Anadolu Öğretmen Lisesi’nde yaptı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde Lisans Programı’na başladı ve 2005 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Programı’na başladı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir. Eşi Seçil hanımla 2006’da evlenmiştir.

BAŞLICA YAYINLARI:

1. Kaya, İ., Şimşek, C., “Implementing A Thermopile Sensor Array For Detecting Differences in Food”, ATC 2002, Texas Instruments MSP430 Advanced Technical Conferans, Münih ALMANYA, 2002.