

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UHF BANDI RFID SİSTEMLERİNİN
GİRİŞİM ÖLÇÜM VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisi Zeynep Seda MOR

**TEMMUZ 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UHF BANDI RFID SİSTEMLERİNİN
GİRİŞİM ÖLÇÜM VE ANALİZİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisi Zeynep Seda MOR

**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 : 14.07.2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Murat EKİNCİ**

Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, UHF Bandında RFID sistemlerinin girişim ölçüm ve analizlerinin yapılması amacıyla, farklı ortamlarda farklı antenlerle ve değişken konumlarda yapılan ölçümler sonucunda RF kanalın katsayılarındaki değişimler gözlenmiş ve bu değişimlerin analizleri yapılmıştır.

Çalışmalarım boyunca bana değerli zamanını ayıran ve verdiği fikirler ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail KAYA' ya ve çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen araştırma görevlisi hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana hep varlıklarını hissettiren aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Zeynep Seda MOR
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1.1 GİRİŞ.....	1
1.2. RFID Sistemleri.....	1
1.2.1 Okuyucu(Reader).....	2
1.2.2 Etiket(Tag).....	3
1.3 Elektromanyetik Yayılma(Işıma).....	5
1.4 Gezgin Radyo Kanalının İstatistiksel Modeli.....	9
1.4.1 Rayleigh Kanal Modeli.....	9
1.4.2 Rician Kanal Modeli	11
1.5 Anten Paterni Ölçüm Yöntemleri.....	12
1.5.1 Kesik Konik Metodu.....	15
1.5.2 Büyük Daire Metodu.....	16
1.5.3 Methodların Karşılaştırılması.....	18
1.6 Sinyal Zayıflaması.....	19
1.7 PN (Pseudo Random Noise) Dizilerinin Üretilmesi	23
2 YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
2.1 Giriş.....	25
2.2 UHF Bandı RFID Sistemlerinin Girişim Ölçüm ve Analizi.....	25
3 ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	31
4 ÖNERİLER.....	32
5 KAYNAKLAR.....	33
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

RFID sistemleri üç temel frekansı kullanmaktadır. 134 kHz(LF) bandını daha çok yakın mesafeler için (0-15 cm) magnetik etkileşim, 13.54 MHz(HF) frekansı kısa ve orta mesafe için (7-30 cm) magnetik ve elektromagnetik etkileşimlerin her ikisi ile birlikte ve 868-915 MHz (UHF) bandı ise sadece elektromagnetik etkileşim ilkesi ile 0.3-7 m mesafeler için kullanılmaktadır. Özellikle UHF bandı RFID okuyucuların işaretlerinin gönderilmesinde kullanılan enerji seviyesinin yüksek olması ve yüksek frekanslı işaretlerin daha uzak mesafeye ulaşabilmesi bu sistemlerin oluşturacakları girişim etkisini gündeme getirmiştir. Bant dışına taşan enerjiler bir yana bu işaretin merkez frekans bileşelerinin dahi belirli bir mesafeden sonra yeniden kullanımına imkan verilecek bir enerji boyutunda çalışılması gerekmektedir. Dolayısı ile bu tez UHF bandı işaretlerin gerek zayıflama mesafesini deneysel verilere dayanarak kestirmek, gerekse diğer kullanıcılara verebileceği olası girişim durumlarını araştırmak amacıyla yönelik bir çalışmadır. Bunun için tasarlanan anten, ölçüm cihazları, ölçüm yöntem ve nesnelere ile elde edilen bulgular ilerideki bölümlerde verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: RFID, tag (etiket), reader (okuyucu), elektromanyetik dalga, elektromanyetik yayılım, zayıflatma (attenuation), UHF Band, kanal ölçümleri, kanal katsayıları.

SUMMARY

UHF Band RFID Systems Interference Measurement and Analysis

Radio Frequency Identification(RFID) systems have been taking a strong interest from many industrial applications, that it smoothly solves many tag reading, identifying, positioning etc. Three kinds of RFID systems are widely accepted by the industry. First Low Frequency (134 Hz) system which is based on magnetic coupling from very short distances (0-10 cm) have been used for almost 20 years. Secondly, High Frequency (13.54 MHz) system which is used for sort distance contactless reading over 30 cm and the most popular RFID systems for personal identity and item markings, have been recently introduced to application areas. The third system is the UHF (868-915 MHz) RFID system which is used with pure electromagnetic coupling over relatively long distance, up to 7 meters and it is quite new to market having no more than a three years of history. But, the UHF RFID system happens to be the most desirable system by industry for more than one reason. Along side to these passive RFID tag systems, a wide range of active RFID systems have been used for toll readings, parking, vehicle identifications where the power is not a problem.

Therefore the current trends show that RFID systems are going to be widely used in the industry with the market increase rate of %120, starting from bar code replacement. In particular research on the passive UHF RFID systems continuing and a standard yet to be finalised since it covers longest distance, uses smaller antenna etc. However, because of the essential of UHF system, its signal travels longer distance with high energy therefore when considering an indoor environment, vehicle or market place, the use of more than one RFID reader system would not be possible. On the other hand RFID reader system may have well be responded by an unwanted tag from a log distance. Therefore an interference analysis and propagation model for the RFID systems should be obtained before the system installation.

This thesis considers an experimental analysis of propagation and fading profile of an UHF RFID systems. It deals with antenna design, multipath fading, multipath spreading and signal attenuation of items(things) (i.e. wall, door, glass etc.).

The thesis is concluded with exhibiting interference level over the measured site, in order to guide an RFID insulation system or avoid its effects.

Key Words: RFID, Tag , Reader , Electromagnetic Waves, Electromagnetic Propagation, Attenuation, UHF Band, Channel Measurement , Channel Coefficient.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Elektrik ve manyetik alanların salınımı	3
Şekil 2. Sinüs dalgalarının çakışması	6
Şekil 3. Elektromanyetik ışının kırınımı.	7
Şekil 4. Polarlanmamış ve düzlem polarlanmış ışın	8
Şekil 5. 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller	11
Şekil 6. Tek eksenli kutupsal patern ölçümü için test kurulum düzeneği	13
Şekil 7. Dikey polarizeli dipol, yatay polarizeli dipol ve Standard-kazanç horn için çift kutuplu kutup paternleri.	14
Şekil 8. Küresel anten paterni ölçümü için Kesik Konik Methodunun görselleştirilmesi	15
Şekil 9. Test edilmekte olan bir antenin Büyük Daire Konfigürasyonu	16
Şekil 10. Küresel anten paterni ölçümü için Büyük Daire Methodunun gösterimi	17
Şekil 11. Ölçüm noktalarının Kesik Konik (a) ve Büyük Daire (b) Methodları ile karşılaştırılması, (c) 2 ölçüm sonucunun üst üste görüntüsü, (d) hangi methodun kullanılarak elde edildiğinin söylenmesinin imkansız olduğunu gösteren data noktaları	18
Şekil 12. Basitleştirilmiş yapı.....	20
Şekil 13. Agilent E4438C	24
Şekil 14. Tektronix WCA380	25
Şekil 15. Dört farklı ortamın ölçülen güç değerlerinin frekansa bağlı olarak değişim grafikleri	26
Şekil 16. KTÜ-TI-DSP Laboratuvarında geliştirilen Vektor programı.....	28
Şekil 17. Ölçüm 1	30
Şekil 18. Ölçüm 2	30
Şekil 19. Ölçüm 3	31
Şekil 20. Ölçüm 4	31
Şekil 21. Ölçüm 5	32

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 868 MHz için kanal ölçümleri	71

SEMBOLLER DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
CEPT	: Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Birliği (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)
D	: Sinyal zayıflaması
DC	: Doğru Akım
EPC	: Elektronik Ürün Kodu (Electronic Product Code)
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi (European Telecommunications Standard Institute)
F	: Farad
G	: Giga
H	: Henry
HF	: Yüksek Frekans
Hz	: Hertz
I	: Ana kol akımı
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
KET	: Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazlarının Kurma ve Kullanma Esasları
l	: İletken boyu
L	: Ölçüm sayısı
LBT	: Söylemeden Dinle
LF	: Düşük Frekans
LPDA	: Log – periodic dipole array
M	: Mega
m	: Metre
m	: Mili
MA	: Measurement Antenna (Ölçü Anteni)
Msp/s	: Mega Sample Per Second(Saniye Başına Milyon Örnek)
n	: Nano
p	: Piko

R	: Hat direnci
RF	: Radyo Frekansı
RFID	: Radyo Frekanslı Kimlik Tanımlama (Radio Frequency Identification)
SHF	: Süper Yüksek Frekans
UHF	: Ultra Yüksek Frekans
V	: Volt
VHF	: Çok Yüksek Frekans
VLf	: Çok Alçak Frekans
WORM	: Bir Kez Yazılıp Birçok Kez Okunabilen (Write Once Read Many)
YG	: Yüksek Gerilim
W	: Bant genişliği
W	: Watt
a_i	: Kanal katsayısının genliği
a_z	: Ara değişken
b_h	: Ara değişken
bps	: Saniye başına bit sayısı
c	: Işık hızı
c_h	: Ara değişken
d	: Hat boyu
dB	: Desibel
d_h	: Ara değişken
e_h	: Ara değişken
f	: Frekans
f_c	: Çalışma frekansı
f_h	: Ara değişken
f_s	: Kaynak frekansı
g(t)	: Temel dalga şekli
h(t)	: Darbe cevabı
I	: Gerçek Bileşen
I_c	: Kondansatör üzerinden akan akım
I_L	: Çıkış akımı
k	: Kilo
Q	: Sanal Bileşen

V_L	: Alıcı giriş gerilimi
V_s	: Kaynak gerilimi
Z	: Giriş empedansı
$ Z $: Giriş empedansının genliği
Z_L	: Alıcı giriş empedansı
L	: Hat endüktansı
H	: Transfer fonksiyonu
$ H $: Transfer fonksiyonunun genliği
Z_{Lx}	: Alıcı giriş empedansının reel bileşeni
Z_{Ly}	: Alıcı giriş empedansının sanal bileşeni
Z_T	: Verici çıkış empedansı
$z(t)$: Zayıflamış sinyal
Z_y	: Giriş empedansının sanal bileşeni
Z_x	: Giriş empedansının reel bileşeni
X_C	: Kapasitif reaktans
X_L	: Endüktif reaktans
α	: Zayıflama sabiti
α_z	: Giriş empedansının fazı
α_h	: Transfer fonksiyonunun fazı
δ	: Dalma derinliği
λ	: Dalga boyu
μ	: Mikro
Ω	: Ohm
ω	: Açısal hız
τ	: Geçen zaman
τ_a	: Ortalama τ
τ_{RMS}	: Gecikme yayılımının etkin değeri
Φ	: Azimut Rotasyonu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Nesnelerin otomatik olarak tanımlanmasına olanak sağlayan Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID - Radio Frequency Identification) teknolojisinin geçmişi 50 yıl öncesine dayanmaktadır. II. Dünya Savaşı sırasında uçakların dost veya düşman uçağı olarak ayırt edilmesi amacıyla kullanılmaya başlanmış olan RFID, bugüne kadar vergi toplama, bilet kesme ve araç tespiti gibi pek çok işlemde kullanılmıştır. Son yıllarda teknolojiye ve bilgi sistemlerinde yaşanan hızlı gelişmeler RFID' nin önemini artırarak, uygulama alanlarını genişletmiştir. RFID, kütüphanelerde kitap ödünç alma sistemleri, özel alanların güvenlik denetimi, hatalı ilaç alımının önlenmesi, yarış otomobillerinde kritik bilgilerin edinilmesi, hava alanlarında bavul/bagaj takibi gibi pek çok farklı uygulamada kullanılmaktadır. Ancak RFID teknolojisi daha çok, tedarik zinciri yönetimlerine büyük yenilikler getirecek Elektronik Ürün Kodu (EPC – Electronic Product Code) uygulamaları ile ticaret hayatında adından söz ettirmektedir.

1.2. RFID Sistemleri

Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID, [Radio Frequency Identification](#)) teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesnelere tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemidir. RFID, temel olarak bir etiket ve okuyucudan meydana gelir. RFID etiketleri Elektronik Ürün Kodu (EPC) gibi nesne bilgilerini almak, saklamak ve göndermek için programlanabilirler. Ürün üzerine yerleştirilen etiketlerin okuyucu tarafından okunmasıyla tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilgiler otomatik olarak kaydedilebilir veya değiştirilebilir.

RFID etiketi, radyo frekansı ile yapılan sorguları almaya ve cevaplamaya olanak tanıyan bir silikon yonga, anten ve kaplamadan meydana gelir. Yonga, etiketin üzerinde bulunduğu nesne ile ilgili bilgileri saklar. Anten, radyo frekansı kullanarak nesne bilgilerini okuyucuya iletir. Kaplama ise etiketin bir nesne üzerine yerleştirilebilmesi için yonga ve anteni çevreler.

IEEE tarafından 1997 yılında 2 Mbps ve ardından 1999 yılında 11 Mbps hızlarındaki standartları ortaya konulan RFID sistemi başlıca şu üç bileşenden oluşmaktadır : tag (transponder), okuyucu (reader/interrogator) ve yazılım/uygulama (software/application).

RFID, düşük frekans (LF) 125–134 kHz, yüksek frekans (HF) 13.56 MHz, ultra yüksek frekans (UHF) 860–960 MHz, 2.45 GHz ve süper yüksek frekans (SHF) 5.8 GHz frekanslarında kullanılabilir.

Her ülke kendi radyo spektrumunun kullanımı düzenlemektedir. Avrupa'daki spektrum kullanımını düzenleyen Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Birliği (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations - CEPT), UHF RFID için Eylül 2004'te oybirliği ile yeni bir Avrupa Standardına karar vermiştir. Bu standart (ETSI EN 302 208) ETSI' den sağlanabilir.

Bu standart RFID'nin 865 - 868 MHz frekans bandında, "Söylemeden Dinle" (LBT) protokolü ile 2 Watt'a varan güç seviyeleri ile kullanılmasını öngörmektedir. Bu standart pek çok Avrupa ülkesinde kabul edilmiş ve yerel düzenlemelere yerleştirilmiştir.

Türkiye'de ise, 06.03.2004 tarihli ve 25394 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Kısa Mesafe Erişimli Telsiz Cihazlarının (KET) Kurma ve Kullanma Esasları Hakkındaki Yönetmelik" uyarınca, RFID sistemleri 865.6 - 867.6 MHz frekans bandında maksimum 500mW (0.5W) güç seviyesi ile uygulanabilmektedir

1.2.1. Okuyucu

Okuyucu (Reader) donanımı elektromanyetik dalgalar yayar. Etiket anteni bu dalgaları almak için ayarlanmıştır. Pasif bir RFID etiketi, okuyucudan yayılan dalgaları algılar ve bunu mikroişlemcinin devrelerini harekete geçirmek için kullanır. Mikroişlemci bu dalgalardaki sayısal bilgiyi değiştirir ve okuyucuya geri gönderir.

Okuyucu, etiket üzerindeki çipin tanım bilgisini anten vasıtası ile alır ve RFID etiketinden aldığı radyo dalgalarını sayısal bilgiye dönüştürerek bilgisayar sistemine geçmesini sağlar ve böylece alınan radyo dalgaları işe yarar bir hale gelir. RFID etiketleri RFID okuyucunun menziline olduğu sürece okunabilirler.

Aktif okuyucu, farklı frekanslar ya da okuyucu ile iletişim kurmak için farklı teknikler kullanan etiketleri okuyabilen okuyuculardır.

Akıllı ve ilkel okuyucu, bu terimler genel olmamakla birlikte, çoğu kişi değişik protokolleri çalıştırmanın yanında veriyi süzebilen ve uygulamayı çalıştırabilen okuyucular

için akıllı okuyucu kavramını kullanır. Gerçekte bu etiketlerle iletişim kurabilen bir bilgisayardır. İlkel okuyucu ise aksine sadece bir frekansı ve protokolü kullanan tek tip etiketi okuyabilen basit bir cihazdır. Bu tip bir okuyucu veriyi süzemez ve etiket bilgisini tutamaz.

1.2.2. Etiket (Tag)

RFID etiketleri 3 çeşit olabilir: pasif (etkisiz), yarı pasif (yarı etkin) veya aktif (etkin). En ucuz etiket çeşidi olan pasif etiketlerin kendi güç kaynakları yoktur, okuyucunun gücüyle çalışırlar. Buna karşılık, yarı pasif etiketlere ise, gelen sinyalden güç almaya gerek bırakmayacak küçük bir pil eklenmiştir. Daha geniş okunma alanına sahip bu etiketler daha güvenilir oldukları gibi, okuyucuya daha çabuk cevap verebilirler. Aktif etiketler ise, diğer çeşitlerden farklı olarak devrelerini çalıştırmalarını ve cevap sinyali üretmelerini sağlayan kendi güç kaynaklarına sahiptirler. Bu özellikleriyle yüksek performans sergilerler ancak maliyetleri de daha yüksektir.

RFID etiketlerine yüklenebilecek bilgi miktarı, uygulama ve RFID tedarikçisine göre değişmekle birlikte, tipik olarak RFID etiketi 2 KB'tan fazla bilgi alamaz. Ancak üzerinde bulunduğu cisim hakkında basit bilgileri kaydetmek için yeterlidir. Şirketler genelde 96 bit seri numarası alabilen basit etiketler kullanırlar. Bu basit etiketlerin hem üretimi kolaydır hem de ürünün paketi ile birlikte atılabilirler.

RFID etiketleri tekrar okunup yazılabilme özellikleri açısından da sınıflandırılırlar. RFID etiketlerindeki mikroişlemciler 3 çeşittir: Sadece okunabilen, hem okunup hem yazılabilen, bir kez yazılıp birçok kez okunabilen (WORM - Write Once Read Many). Yazılabilme özelliği olan etiketlere, okuyucu kapsam alanındayken yeni bilgi ekleyebilir ya da bilgileri değiştirebilirsiniz. Bu etiketlerdeki seri numaraları değiştirilemez. Sadece okunabilen etiketler veriyi üretim boyunca saklarlar.

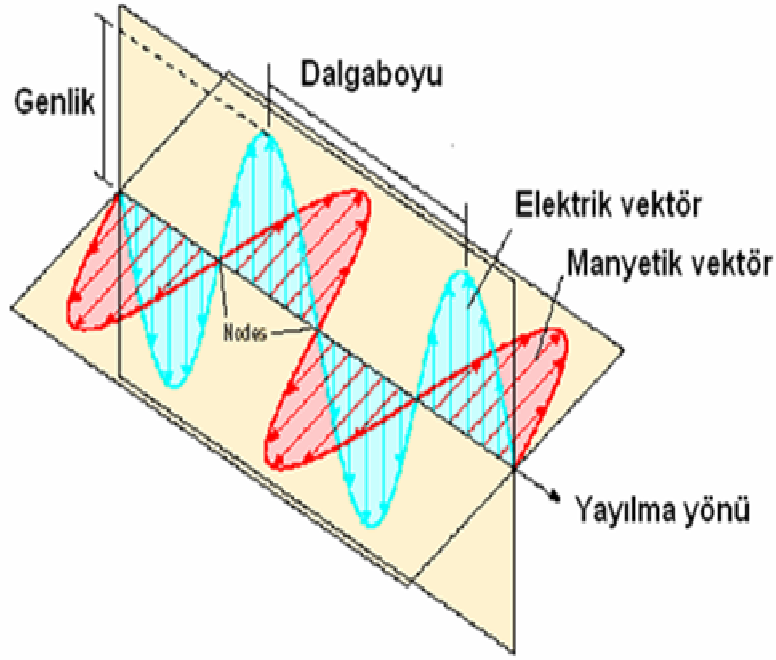
- İşlemcisz RFID Etiket: İşlemcisz RFID, veri aktarımı için radyo frekanslarını kullanan fakat yarıiletken bir mikroişlemcide seri numarası bulundurmeyen sistemlere verilen isimdir. Bazı çipsiz etiketler yarıiletken işlemciler yerine plastik ya da iletken polimerler bulundururlar. Diğer çipsiz etiketler ise kendilerine yönelen radyo dalgalarının bir kısmını geri yansıtan maddeler bulundururlar. Bir bilgisayar bu geri yönlendirilen dalgaları algılar ve etiketli objeyi tanımlamak için

bir parmak izi gibi kullanır. Şirketler bazı gizli dökümanların kopyalanmasını önlemek için radyo frekanslarını yansıtan fiberleri kağıda gömme çalışmaları yapmaktadır. Bu fiberleri kullanan çipsiz etiketler tedarik zinciri kullanımlarında bir dezavantaja sahiptir. Bir anda sadece tek bir etiket okunabilir.

- Okunma Mesafesi: Aslında tipik bir RFID etiketi denebilecek bir çeşit yoktur ve pasif etiketlerin okunma mesafesi birçok etkene bağlıdır: Operasyonun sıklığı, okuyucunun gücü, diğer RF araçlarıyla çakışma vs. Genelde düşük frekanslı etiketler 0.33 m ve daha az uzaklıktan okunabilir. Yüksek frekanslı etiketler 1 m' den, UHF etiketler ise 3 - 7 metreden okunabilir. Daha büyük uzaklıklar gerektiğinde, aktif etiketler güç kaynağı kullanarak 100 m ve daha fazlasını destekleyebilir.
- RFID Etiket Çarpışması: Aynı anda birden fazla etiket okuyucuya sinyal gönderdiği zaman meydana gelir. Üreticiler etiketin okuyucuya tek bir anda cevap vermesi için değişik sistemler geliştirmektedirler. Bu sistemler etiketleri tekilleştiren algoritmaları içerir. Her etiket saniyenin binde birinde okunduğu için, eş zamanlı okunuyorlarmış gibi görünür.
- Okuyucu Çarpışması: RFID ile ilgili bir problem, bir okuyucudan gelen sinyalin diğerinden gelen ile karışmasıdır. Buna okuyucu çarpışması denir. Bu problemi çözmenin bir yolu zamanı birçok geçiş için bölmektir. Bu basit olarak okuyucuların farklı zamanlarda etiket ile iletişim kurmasıdır. Bu birbirleri ile çatışmalarını engeller. Ancak bu aynı zamanda iki okuyucunun çakıştığı bir yerde bir RFID etiketinin iki defa okunması anlamına da gelebilir. Bu yüzden sistem, bir etiket bir okuyucu tarafından okunduğu zaman diğer okuyucunun tekrar okumaması şeklinde kurulmalıdır.
- Yoğun Okuyucu Modu: Birbirine yakın konumda birden fazla okuyucu kullanıldığında, birbirleriyle çakışmalarını önlemek için kullanılan moddur. Okuyucular belli frekans aralığında farklı kanallar arasında sekerler (Örneğin Amerika'da 902 MHz ile 928 MHz arasında) ve bir kanalı kullanmadan önce bir sinyali algılayabilirler. Eğer diğer okuyucunun kanalı kullandığını algılayarlarsa, bu okuyucu ile çakışmamak için diğer kanala geçerler.

1.3. Elektromanyetik Yayılma(Işıma)

Elektromanyetik ışınmayı, yayılma eksenine ve birbirlerine dik açılarda olan aynı fazda yayılan sinüs salınımları şeklinde elektrik ve manyetik alanların varlığı ile tanımlayabiliriz.



Şekil 1. Elektrik ve manyetik alanların salınımı.

Elektromanyetik ışınmanın dalga ve tanecik olarak davrandığı ispatlanmıştır. Elektromanyetik ışınmanın frekans, dalga boyu, hız ve genlik gibi özellikleri klasik sinüs dalgası modeliyle incelenebilir. Ancak ışın enerjisinin emilimi ve emisyonu ile ilgili olayların açıklanmasında dalga modeli başarılı olmamıştır. Bunun için tanecik modeli geliştirilmiştir. Bu modelde elektromanyetik ışın, enerjileri frekansıyla orantılı olan ve foton adı verilen parçacıklar veya enerji paketlerinden oluşmuş olarak görülür.

Dalgaboyu (λ): İki tepe noktası arasındaki mesafedir.

Frekans (ν): Bir saniyede belirli bir noktadan geçen dalga sayısıdır.

Genlik: elektrik vektörün en uzun olduğu uzaklık.

$$(\lambda)(\nu) = c \quad (1)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (vakumda)}$$

$$E = h \nu = h c / \lambda \quad (2)$$

$$E \propto 1 / \lambda , E \propto \nu \quad (3)$$

Elektromanyetik ışımının dalga özellikleri;

- Elektromanyetik spektrum,
- Işının Kırınımı (difraksiyon),
- Dalgaların Çakışması;
- Işının Kırılması,
- Işının yansınması,
- Işının saçılması,
- Işının kutuplanma,

gibi dalga parametreleri ile incelenir.

Elektromanyetik dalganın tanecik (kuantum mekaniksel) özellikleri;

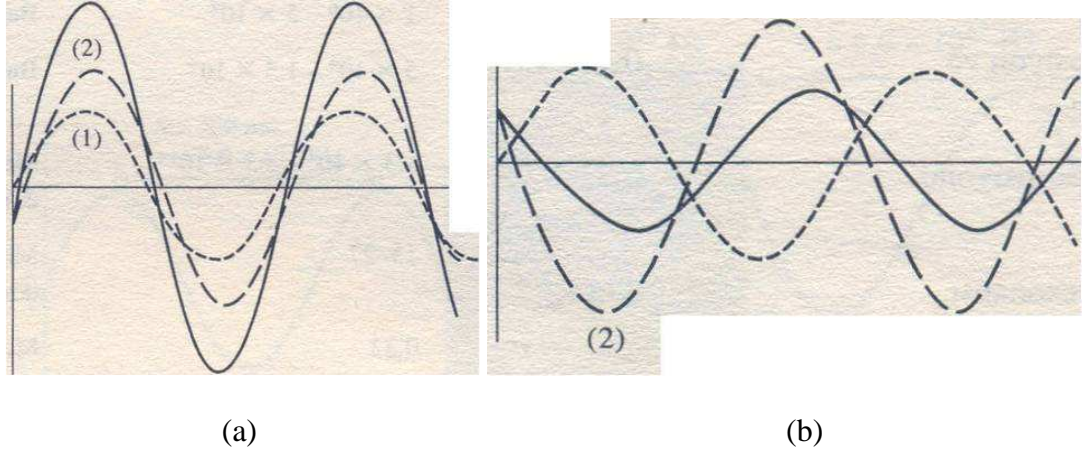
- Fotoelektrik olay
- Kimyasal türlerin enerji durumları
- Işının emisyonu¹
- Işının absorpsiyonu²
- Durulma süreçleri
- Belirsizlik ilkesi

gibi parametrelerle incelenir.

- Dalgaların Çakışması: Dalgaların Çakışma İlkesine göre, iki veya daha çok sayıda dalga aynı yönde ve yerde yol almakta ise, bireysel dalgaların bozulmalarının toplamı olan bir bozulma ortaya çıkar. Bu ilke, bozulmaların elektrik alanı ile ilgili olan elektromanyetik dalgalar için geçerli olduğu gibi, atom veya moleküllerin yer değiştirdiği bazı diğer dalga hareketleri için de geçerlidir.

¹ Emisyon: ortama verme, yayma, saçma

² Absorpsiyon: emme, tutma, enerjisini tüketme

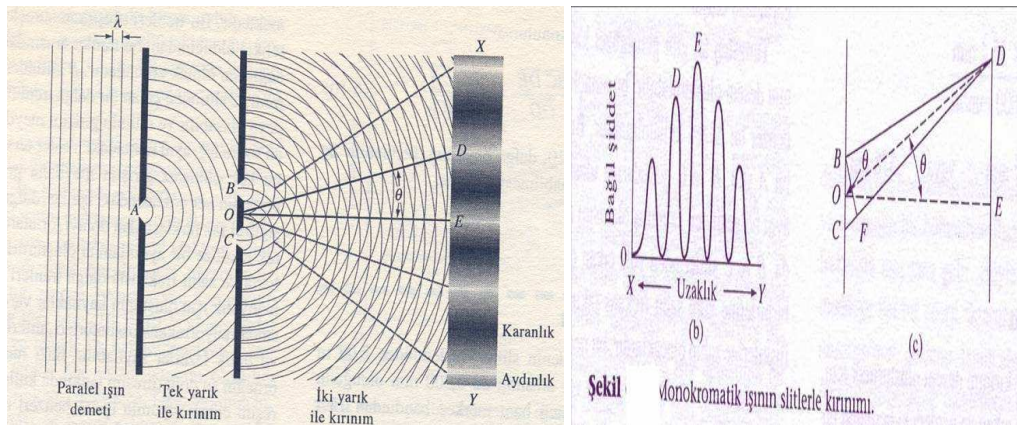


Şekil 2. Sinüs dalgalarının çakışması: (a) Dalgaların birbirini kuvvetlendirmesi
(b) Dalgaların birbirini yok etmesi

Her iki grafikte de düz çizgiler kesikli çizgilerin bileşkesidir.

- Işının Kırınımı(difraksiyon): Kırınım paralel bir ışın demetinin keskin bir engel ve ya dar bir delikten geçerken eğilmesine verilen ad olup, tüm elektromanyetik ışın tipleri bu davranışı gösterir. Şekil 3, bu davranışı göstermektedir.

Kırınım, bir dalga özelliği olup, yalnız elektromanyetik dalgalarda değil mekanik veya ses dalgaları için de gözlenebilir.



Şekil 3. Elektromanyetik ışının kırınımı.

Bir ekran üzerindeki bir delik aydınlatılırsa, bu delik bir ışık kaynağı gibi davranır, her tarafa ışın yayar. Bunlar faz farklarına göre bazı yerlerde birbirini şiddetlendirir,

aydınlık görünür, bazı yerlerde ise dalgaların fazlarına göre dalgalar birbirini yok eder, karanlık görünür.

- **Işının Geçmesi ve Kırılması:** Saydam bir ortamdan geçen ışının hızı, o ortamda bulunan atom, iyon veya moleküllerin tür ve derişimine bağlı olarak, boşluktaki hızına göre daha düşük bir hızla yol alır; bu olgu, deneysel olarak gözlenmiştir. Bu gözlemlerden yola çıkarak, ışının madde ile herhangi bir şekilde etkileşimde bulunduğu anlaşılır. Ancak bu sırada ışının frekansında bir değişme olmadığı için, etkileşimde kalıcı bir enerji aktarımı söz konusu olmaz.
- **Işının Saçılması:** Madde içinden ışının geçişi, ışın enerjisinin atom, iyon veya moleküller tarafından bir anlık tutulması ve sonra parçacıklar, ilk haline dönerken her yöne yayılması olarak düşünülebilir.

Dalga boyuna göre küçük olan atomik veya moleküler parçacıklar için, olumsuz girişim ışının orijinal yönü dışındaki yeniden yayılan ışının tamamına yakını ortadan kaldırır; bunun sonucunda ışın demetinin yayılma yolu değişmemiş gibi görülür. Dikkatli gözlemlenirse, ışının küçük bir oranının bütün açılarda dağıldığını ve bu, saçılan ışının şiddetinin parçacık büyüklüğüyle arttığını ortaya koyar.

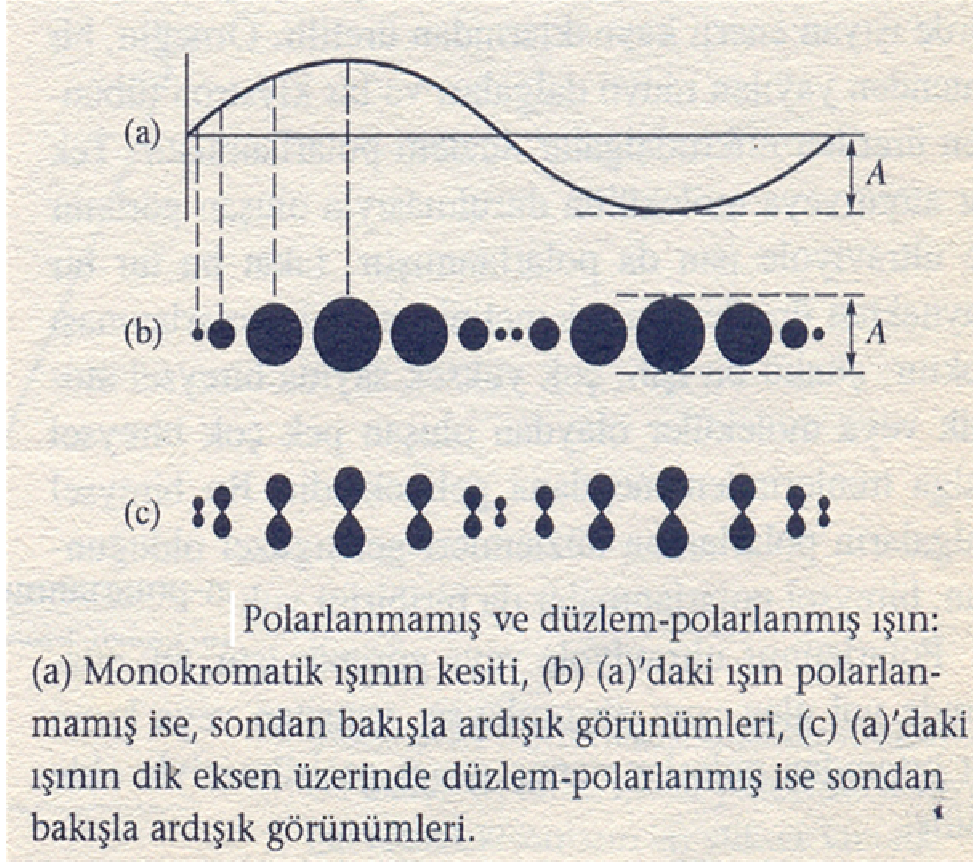
Rayleigh Saçılması: Boyutları dalga boyundan önemli ölçüde daha küçük olan molekül veya molekül yığınlarının oluşturduğu saçılmaya *Rayleigh saçılması* adı verilir; şiddeti ise dalga boyunun dördüncü kuvvetinin tersine, saçan parçacıkların boyutuna ve parçacıkların kutuplanabilme ölçüsünün karesine bağımlıdır. Rayleigh saçılmasının her gün görülen sonuçlarından birisi, görünen spektrumda kısa dalga boylarının daha çok saçılmasından oluşan mavi gök rengidir.

Büyük Moleküller Tarafından Saçılma: Kolloid oluşturabilecek büyüklükteki parçacıkların oluşturduğu saçılma, çıplak gözle izlenebilecek, kadar şiddetlidir (Tyndall etkisi). Saçılan ışın ölçümleri polimer molekülleri ve kolloid parçacıklarının büyüklüğünü ve şeklini belirlemede kullanılır.

Raman Saçılması: Raman saçılmasının, diğer saçılma türlerinden farkı saçılan ışının bir bölümünün kuvantlaşmış frekans değişimlerine uğramasıdır. Bu değişimler, kutuplanma süreci sonunda moleküllerdeki titreşim enerji geçişleriyle meydana gelirler.

- Işının Kutuplanması: Normal olarak ışın, gidiş yolu merkez olmak üzere bu yolun etrafında eşit olarak dağıtılmış çok sayıda düzlemde yol alan bir demet elektromanyetik dalgadan oluşur.

Şekil 4, sondan gözlendiğinde, monokromatik bir ışın demeti, genlikleri sıfır ile maksimum değer (A) arasında değişen sonsuz sayıda elektrik vektöründen oluşmaktadır. Şekil de, monokromatik bir ışın dalgasının uzayda sabit bir noktadan farklı zamanlarda geçişi sırasında, bu vektörlerin gözlenmesi verilmektedir.



Şekil 4. Kutupsuz ve yatay kutuplanmış ışın.

1.4. Gezgin Radyo Kanalının İstatistiksel Modeli

1.4.1 Rayleigh Kanal Modeli

Çok yollu yayılımda alıcıya ulaşan işaretin çeşitli nesnelere yansırarak, kırınım ve saçınım uğrayarak gelen, birbirinden bağımsız ve birbirine özdeş dalgaların

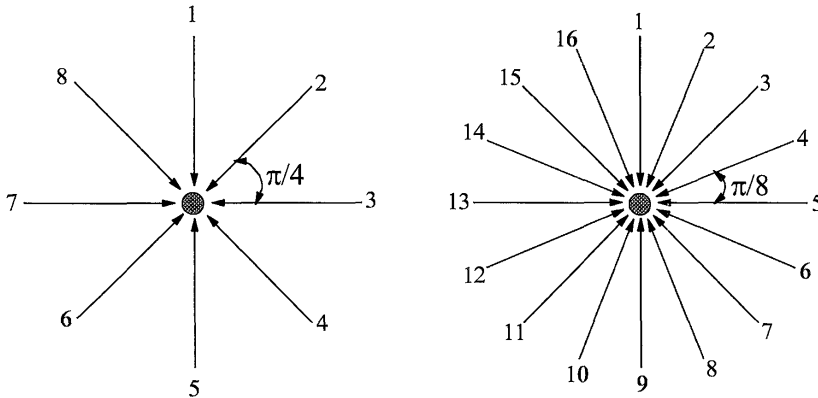
toplamından oluştuğu kabul edilmektedir. Bu işaretlerin genliklerinin eşit, varış açılarının ise $0-2\pi$ arasında düzgün dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Her biri bir raslantı değişkeni olarak kabul edilen bu işaretlerin toplamı, merkezi limit teoremine göre, $N \rightarrow \infty$ durumunda Gauss olasılık yoğunluk dağılımına sahip olur. Fakat, uygulamada sonsuz sayıda ışın almak mümkün olmadığından, Şekil’ de verilen 8 veya 16 ışınlı modeller kullanılmaktadır. 6’ dan çok ışın alınarak yapılan benzetimle elde edilen dağılım ile gerçek dağılım arasındaki hata oldukça küçüktür. Şekil’ de görüldüğü gibi, N ışınlı modelde i . ışın için varış açısı

$$Q_i = 2\pi(i - 1)/N, i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

olarak hesaplanabilir. Kanal modelinin eşevrelili I ve dikevrelili Q bileşenleri matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$I_k = \sum_{i=1}^N A \cos \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] \quad (5)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^N A \sin \left[\alpha_i + \frac{2\pi\nu k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] \quad (6)$$



Şekil 5. 8 ve 16 ışınlı Rayleigh modeller

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

$$h(kT_s) = I_k + jQ_k \quad (7)$$

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. Doğrusal filtrenin her bir katsayısı, dar bantlı kanal katsayısının hesaplandığı gibi hesaplanır.[31]

1.4.2. 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 dağılımına sahip olur. Pratikte, kanalların pek çoğunda vericinin bulunduğu doğrultuda bir baskın bileşen bulunduğu için, genellikle Ricean yayılım söz konusudur. Sistemlerin bilgisayar benzetimlerinde genellikle Rayleigh yayılımın seçilmesinin nedeni, olabilecek en kötü durumları içermesidir.

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

$$I_k = \sum_{i=1}^N A \cos \left[\alpha_i + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] + B \cos \left[\varphi + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos \gamma \right] \quad (8)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^N A \sin \left[\alpha_i + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos \theta_i \right] + B \sin \left[\varphi + \frac{2\pi v k T_s}{\lambda} \cos \gamma \right] \quad (9)$$

Ricean olasılık dağılım işlevi

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp[-(r^2 + B^2)/2\sigma^2] I_0\left(\frac{Br}{\sigma^2}\right), & B \geq 0 \text{ ve } r \geq 0 \\ 0, & r < 0 \end{cases} \quad (10)$$

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

$$K(dB) = 10 \log_{10} \frac{B^2}{NA^2} \quad (11)$$

olarak elde edilir.[31]

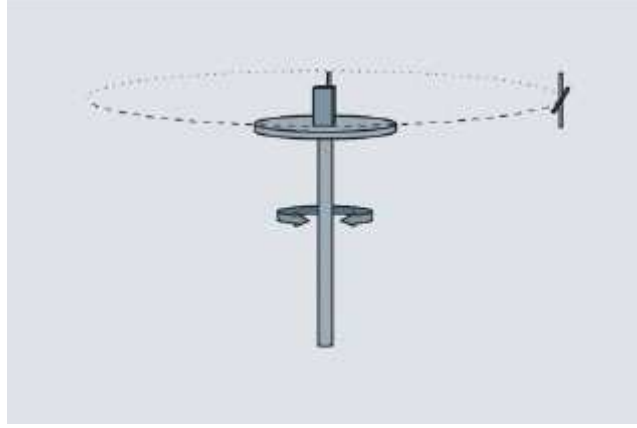
1.5. Anten Karakteristiği Ölçüm Yöntemleri

Anten karakteristiği ölçümü, test edilmekte olan bir antenin (antenna under test, AUT) ışınım karakteristiğinin tanımlanmasıdır. Anten karakteristiği ölçümü, AUT'den alınan bir elektromanyetik sinyalin bağıl genliğinin ve fazının ölçülmesidir.[3]

Çoğu kişinin bildiği temel karakteristik ölçüm tekniği, tek eksenli rotasyonel karakteristiği kullanır. Bu teknik, bir eksenel dönenen konumlandırıcı üzerine yerleştirilmiş ve iki boyutlu polar karakteristik üretmek için ana ışınım doğrultusuna (azimuth) yaklaşık döndürülmüş bir AUT gerektirir. Bu ölçüm genellikle, E ve H düzlemlerinin her ikisindeki anten demet genişliği gibi parametrelerin hesaplanması amacıyla antenin başlıca iki eksenini için yapılır. Bu tür veriler tipik olarak sadece karakteristiğin genel kutuplanma iyi bilindiği basit hornlar veya dipoller için olan eşkutuplu alan bileşeni için ölçülür.[4]

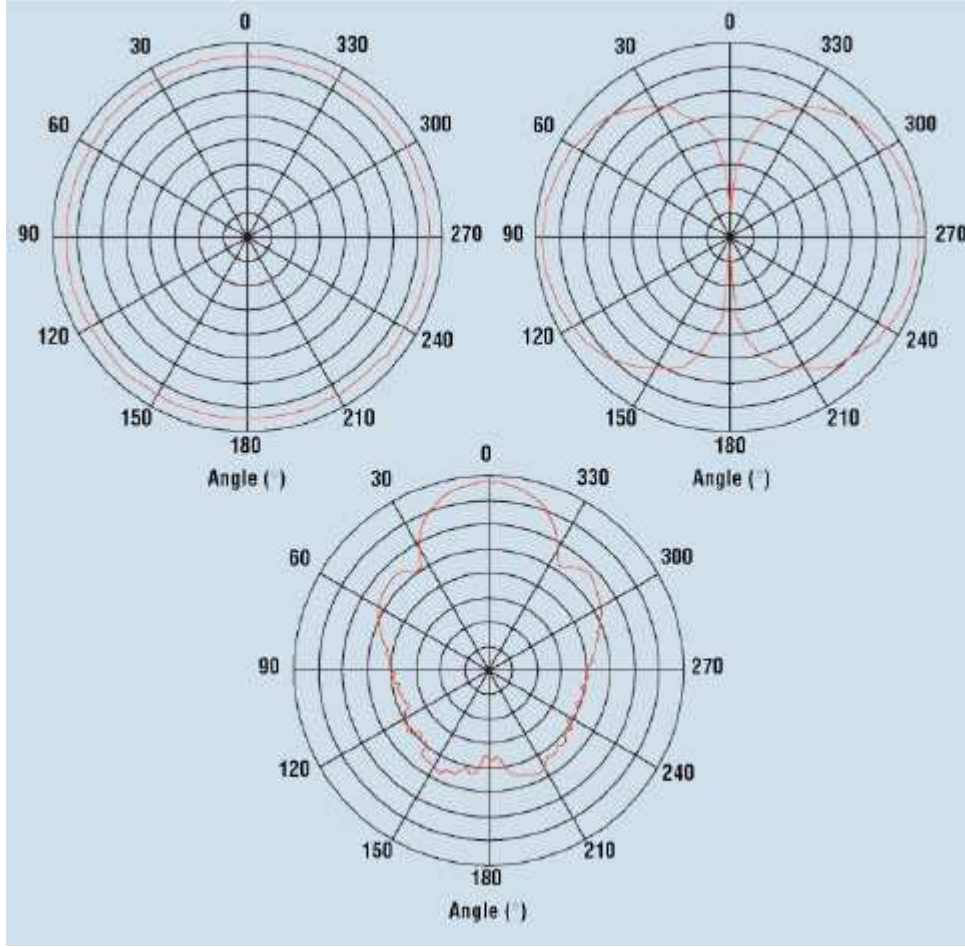
Kutuplanmanın bilinemeyebileceği veya açının bir işlevini olarak çeşitlilik gösterebilecek daha karmaşık radyatörler için, iki dik (dikey) alan bileşenlerini ölçebilmek önemlidir. Bu ölçüm genellikle ölçüm anteni (MA) olarak bir çift-kutuplu horn, LPDA, veya dipol anten kullanılarak gerçekleştirilir. En iyi sonucu sağlamasına rağmen, bu teknik

testin maliyetini arttırabilecek iki alıcıyı veya bir tekli alıcının kutuplanmasını otomatik anahtarlayabilme kabiliyetini gerektirir. Daha yavaş ve belki daha az yanlışsız bir opsiyon, her bir MA kutuplanma için bir özdeş karakteristik testini tekrarlamaktır. Bu opsiyon önemli etkilere sahip olabilecek zaman varyasyonlarına ve sıralama konularına sebep olabilir.[3]



Şekil 6. Tek eksenli kutupsal karakteristik ölçümü için test kurulum düzeni

Şekil 5, tipik bir kutupsal-karakteristik test kurulumunu göstermektedir. AUT (bu durumda bir cep telefonu [cell phone]) döner bir levha üzerine yerleştirilir, çift kutuplu bir anten de sabit mesafeli bir uzaklığa AUT ile aynı seviyede yerleştirilir. Döner levha 360 derece döndürülür, antenler arasındaki yanıt açının bir işlevi olarak ölçülür. Normal olarak, bu ölçümler tamamen yankısız bir ortamda (uzay boşluğu simule edilmiş) gerçekleştirilir. Şekil 6, bazı tipik anten tipleri ve kutuplanmalar için kutup karakteristiklerini göstermektedir.[4]



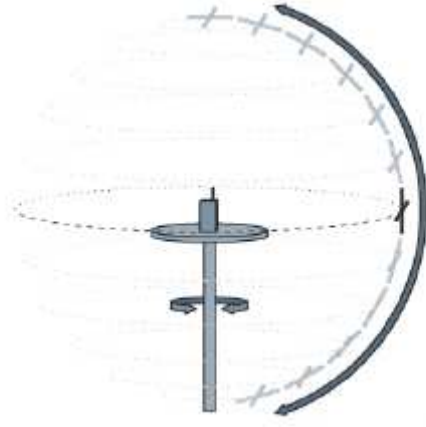
Şekil 7. Dikey polarizeli dipol, yatay polarizeli dipol ve Standard-kazanç horn için çift kutuplu kutup karakteristikleri.

Tamamen küresel bir karakteristik ölçümü üretmek için, AUT ve MA arasındaki ilişkiyi değiştirmek ve her bir yeni alıştırma için önceki kutup testini tekrarlamak gerekmektedir. Daha basit bir deyimle; rotasyonun ikinci eksenini rotasyonun birinci eksenini dik olarak kesiyor olmalıdır.

İki eksen küresel koordinat sisteminin θ ve Φ açılarına tekabül eder ve tipik olarak sırasıyla elevation ve azimut olarak seçilirler. Küresel koordinat sistemindeki gibi, sadece bir eksen, diğerinin yalnızca 180 derece boyunca döndürüldüğü yerde 360 derece boyunca döndürülmeye gerek duyar. Sonuçlanan verinin uygun işlenmesiyle, hangi eksenin hangisi olduğu gerçekten önemli değildir. Her iki anten de aynı karakteristiği üretmek için bu ikinci eksen etrafında döndürülebildiği gibi, her tekniğin hem avantajları hem de dezavantajları vardır.[3]

1.5.1. Kesik Konik Metodu (Conical Section Method)

Kesik Konik Metodu, AUT yi desteklemek ve MA yı AUT etrafında, döner levhanın dikey dönüş eksenine dik bir eksen üzerinde döndürmek için bir yükseltilmiş döner levha kullanır. (Şekil 7) Bu metot çoğu kişinin küresel koordinat sistemi için sahip olduğu geometrik resme uygundur ve bundan dolayı sık sık karakteristik ölçümleri için kullanılır. Döner levha, MA AUT etrafındaki bir yayda yükseltilir veya alçaltılırken (elevation eksen) azimut (Φ) rotasyonu sağlamaya devam eder.[9]



Şekil 8. Küresel anten karakteristiği ölçümü için Kesik Konik Metodunun görselleştirilmesi.

Bu teknik canlandırılırken varılan ortak bir yanlış kanı, MA'nın AUT'nin en üstünün karşısındaki 180 derecelik bir yayda hareket ettiğini varsaymaktır. Bununla birlikte Şekil 7 e bakacak olursak; bu sadece AUT'nin üst yarısına kadar ölçümü kopyalar ve asla karakteristiğin alt yarısını ölçmez. Direkt olarak antenin üzerindeki $\theta = 0^\circ$ iken ($\Phi = 0^\circ$, $\theta = +x^\circ$) ve ($\Phi = 180^\circ$, $\theta = -x^\circ$) deki veri noktaları aynıdır.[9]

Bu metot, değişken çaplardaki çemberleri tanımlayan MA ya ve böylece konikal bölümlere referansa neden olur. Çemberler, en geniş çemberin ekvatora yerleştiği bir küre, kuzey kutbundan (+z) güney (-z) kutbuna, üzerindeki enlem çizgileri olarak düşünülebilir. Sadece MA'nın AUT ile aynı yükseklikte olduğu (örneğin; ekvator) bir çember doğru bir karakteristik ölçümü ile sonuçlanır.

Kesik Konik Metodu kavramsal olarak basit olmasına rağmen, bazı sakıncaları vardır. MA'yı hareket ettirmek için geniş sabit bir dal veya kavis desteği gereklidir. Uzun menzilli uzunluklar için bu gereksinim zor bir öneri olabilir. Benzer olarak, eğer bu test

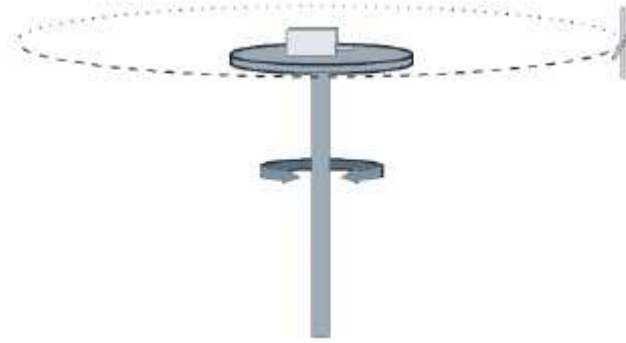
tamamen yankısız bir odada gerçekleştirilecekse, odanın istenen menzil uzunluğunu desteklemek için normalde gerekenden daha büyük olması gerekir, çünkü zemin ve tavan, MA'nın gerisindeki arka duvar ile aynı uzaklıkta olmalıdır. Bu, anten ölçümü maliyeti arttırabilir.[8]

Full yüzey ölçümü yapabilmek için; döner levha ve bir de MA'nın döner levhanın altında hareket ettirilebilmesine müsaade etmek için bir duvardan ya da diğer destekten dirseklenmelidir. Aksi takdirde, antenin destek yapı tarafından bloke edildiği ölü bir bölge olacaktır. Her ne olursa olsun, döner levhanın kendisi eğer çok büyük çaptaysa veya yanlış materyalden yapılmışsa ölçülen karakteristiğini önemli derecede etkileyebilir.[9]

1.5.2. Büyük Daire Metodu (Great Circle Metodu)

Büyük Daire Metodu için, her polar kesik (polar cut) üretmek amacıyla döner levha üzerinde MA sabitlenir, AUT de yeniden konumlandırılır. MA sabitlendiği için, bu durumda rotasyon eksinine dik işaretleme, her kesik doğru bir polar karakteristiğidir. O nedenle, döner levhanın her rotasyonu mümkün olan en büyük çaptaki çemberi sağlar.[8]

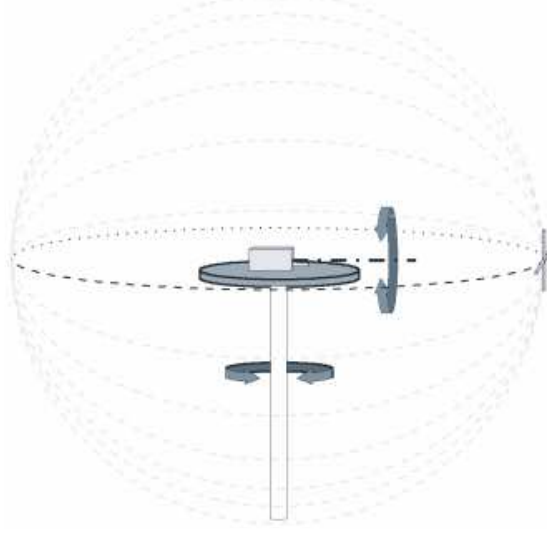
İki metodu karşılaştırmak için AUT, Kesik Konik Metodu kurulumuna uygun olarak, koordinat sistemindeki birleşmiş kaymayı temsil etmek için kendi tarafında serili olmalıdır.(Şekil 8)



Şekil 9. Test edilmekte olan bir antenin Büyük Daire Konfigürasyonu.

AUT yi her bir büyük çember kesik arasındaki yatay ekseninde döndürerek tüm küresel yüzey kaplanabilir (Şekil 9). Kesik Konik Metodunda, rotasyonun yatay ekseninde diğerlerinin içinden geçen her bir polar kesik ve yatay ekseninde kesişim noktaları üst ve alt

MA pozisyonlarına eşittir. AUT'nin koordinatlardaki değişimi desteklemek için kendi tarafında serili olmasının nedeni budur.[9]



Şekil 10. Küresel anten karakteristiği ölçümü için Büyük Daire Metodunun gösterimi.

Büyük çember metodu için, çemberler kuzey (+z) kutuptan güney (-z) kutba giden ve diğer taraftan dönen boylam çizgileri olarak düşünülebilirler. Önceden olduğu gibi, bütün küreyi kaplamak için sadece AUT yi (MA yerine) 180 derece boyunca döndürmek gereklidir, çünkü büyük çemberler kürenin önünü ve arkasını eşzamanlı olarak kaplarlar.

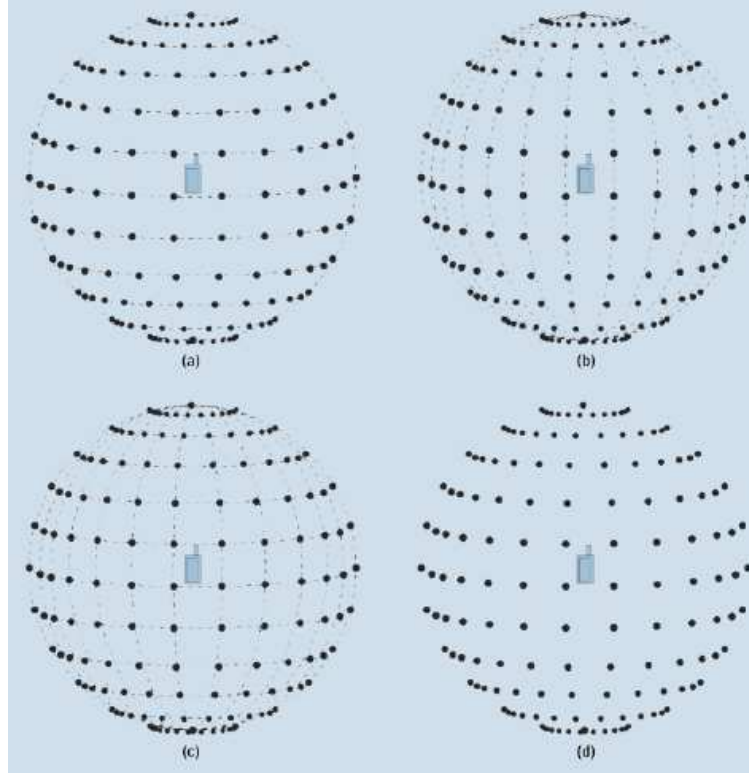
Koordinat sistemlerinde kaymayla birlikte, döner levha artık azimut konumlandırıcıdan ziyade elevation konumlandırıcıdır, çünkü MA'nın pozisyonunu ekvatora paralel enine çizgiler boyunca yerine kutuptan kutba olacak şekilde değiştirir. AUT'nin yatay rotasyon eksenini artık azimut konumlama sağlar.[9]

Büyük çember metodu, AUT'yi manüel olarak yatay ekseninde döndürerek sağlanan düşük maliyetli sistem ile gerçekleştirilmede nispeten kolay olma avantajına sahiptir, fakat çoğu böyle gayretler gibi, ek otomasyon olmadan aşırı derecede can sıkıcı olabilir. Metodun ek bir faydası daha vardır. AUT ile MA arasındaki yol destek yapı tarafından asla engellenmez.

Sonuç olarak, MA sabitlendiği için odanın sadece gerekli menzil uzunluğunu bir boyutta desteklemeye ihtiyacı vardır. Bu, konik odaların kullanım imkanını ve yüksek performans ve uzun menzil uzunluklar elde etme isteğini açığa çıkarır.[9]

1.5.3. Metotların Karşılaştırılması

Her metodun avantajları ve dezavantajları olmasına rağmen, her ikisinin de aynı sonuçları ürettiğini doğrulamak önemlidir. Şekil 10, ölçüm noktaları ve sıralanmış koordinat sistemleri arasındaki aynı step boyutu ile sonuçlanan Kesik Koni (a) ve Büyük Çember (b) her ikisini de göstermektedir. İki parseli kaplamak (Şekil 10c) gerçek ölçülen veri noktalarının kullanılan metoda bakmaksızın özdeş olduğunu gösterir. Bu nedenle, sadece sonuç veri noktalarının verilmesiyle (Şekil 10d) bunları üretmek için hangi metodun kullanıldığını hesaplamak mümkün değildir.[5][6]



Şekil 11. Ölçüm noktalarının Kesik Koni (a) ve Büyük Çember (b) Metotları ile karşılaştırılması, (c) 2 ölçüm sonucunun üst üste görüntüsü, (d) hangi metodun kullanılarak elde edildiğinin söylenmesinin imkansız olduğunu gösteren veri noktaları.

1.6. Sinyal Zayıflaması

Sinyal şiddeti ve yoğunluğundaki düşüşe zayıflama adı verilir. Sinyaller ortama iletim yoluyla katlanarak zayıflayabilir, bu durumda zayıflama genellikle dB cinsinden tutulur. dB ortamdan uzaklaşma mesafesine bağlı olarak hesaplanır. Zayıflama, amplifikasyonun(kuvvetlendirmenin) tersi olarak da anlaşılabilir. Zayıflama sinyallerin güçlülüğünü uzaklığa bağlı bir işlev olarak hesaplaması nedeniyle telekomünikasyon ve ultrason uygulamaları için önemli bir özelliktir. Zayıflama genellikle desibel/uzaklık cinsinden (dB/cm, dB/km, vs) hesaplanmaktadır ve sorularda ortamın zayıflama katsayısı olarak gösterilmektedir.[15][17]

Sinyal zayıflaması ($D(f)$, *Attenuation*) zamana, frekansa ve mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Sinyal zayıflamasının gece-gündüz hassasiyeti olmakla beraber frekans ve mesafenin artması ile de artar. Genelde iletilen sinyalin km başına 100 dB zayıfladığı kabul edilir.[21]

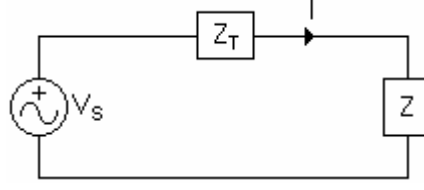
$H(f)$ geçiş işlevi olmak üzere $D(f)$ sinyal zayıflaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$D(f) = -20 \log_{10} |H(f)| \quad [dB] \quad (12)$$

(4) numaralı eşitlikten de anlaşılacağı gibi sinyal zayıflamasını bulmamız için öncelikle geçiş işlevini bulmalıyız. Şekil 11.'deki sistem modeli için geçiş işlevi aşağıdaki gibidir.

$$H(f) = \frac{V_L(f)}{V_s(f)} \quad (13)$$

Geçiş işlevini elde etmek için kaynak gerilimi (V_s) ve alıcı giriş gerilimini (V_L) bulmalıyız. Giriş empedansından yararlanarak sistem modelini aşağıdaki gibi basitleştirelim.



Şekil 12. Basitleştirilmiş yapı

Ana kol akımı I ve alıcı giriş akım I_L olmak üzere kaynak gerilimi V_s ve alıcı giriş gerilimi V_L aşağıdaki gibi ifade edilir.[16]

$$V_s = I(Z_T + Z) \quad (14)$$

$$V_L = IZ_L \quad (15)$$

Şimdi ana kol akımını alıcı giriş akımı cinsinden ifade edelim.[16]

$$I_C X_C = I_L (X_L + Z_L) \quad (16)$$

$$I_C = I_L \frac{X_L + Z_L}{X_C} \quad (17)$$

$$I = I_L + I_C = I_L \frac{X_C + X_L + Z_L}{X_C} \quad (18)$$

(10) numaralı eşitliği $X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$ ve $Z_L = Z_{Lx} + Z_{Ly}$ olacak şekilde yeniden düzenleyelim.

$$I = I_L \frac{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L + Z_{Lx} + jZ_{Ly}}{\frac{1}{j\omega C}} \quad (19)$$

$$I = I_L \left((1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly}) + j\omega CLZ_{Lx} \right) \quad (20)$$

(12) numaralı eşitliği basitleştirmek için a_h ve b_h olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$a_h = 1 - \omega^2 LC - \omega CZ_{Ly} \quad (21)$$

$$b_h = \omega CLZ_{Lx} \quad (22)$$

a_h ve b_h değişkenlerini (12) numaralı eşitlikte yerine koyalım.

$$I = I_L (a_h + jb_h) \quad (23)$$

Böylece ana kol akımı alıcı giriş akımı cinsinden ifade edilmiş oldu. Şimdi (5) numaralı eşitliği kullanarak transfer işlevini bulalım.

$$H = \frac{V_L}{V_s} = \frac{I_L Z_L}{I(Z_T + Z)} = \frac{I_L Z_L}{I_L (a_h + jb_h)(Z_T + Z)} \quad (24)$$

$$H = \frac{Z_L}{(a_h + jb_h)(Z_T + Z)} \quad (25)$$

$$H = \frac{Z_L}{(a_h(Z_x + Z_{Tx}) - b_h(Z_y + Z_{Ty})) + j(a_h(Z_y + Z_{Ty}) + b_h(Z_x + Z_{Tx}))} \quad (26)$$

(18) numaralı eşitliği basitleştirmek için c_h ve d_h olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$c_h = a_h(Z_x + Z_{Tx}) - b_h(Z_y + Z_{Ty}) \quad (27)$$

$$d_h = a_h(Z_y + Z_{Ty}) + b_h(Z_x + Z_{Tx}) \quad (28)$$

$$H = \frac{Z_L}{c_h + jd_h} \quad (29)$$

(22) numaralı eşitliğin paydasını gerçel yapmak için pay ve paydayı $c_h - jd_h$ ile çarpalım.

$$H = \frac{Z_L(c_h - jd_h)}{(c_h + jd_h)(c_h - jd_h)} \quad (30)$$

$$H = \frac{c_h Z_{Lx} + d_h Z_{Ly}}{c_h^2 + d_h^2} + j \frac{c_h Z_{Ly} - d_h Z_{Lx}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (31)$$

(24) numaralı eşitliği basitleştirmek için e_h ve f_h olmak üzere iki yeni değişken tanımlayalım.

$$e_h = \frac{c_h Z_{Lx} + d_h Z_{Ly}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (32)$$

$$f_h = \frac{c_h Z_{Ly} - d_h Z_{Lx}}{c_h^2 + d_h^2} \quad (33)$$

Sonuç olarak

$$H = e_h + jf_h \quad (34)$$

$$|H| = \sqrt{e_h^2 + f_h^2} \quad (35)$$

$$\alpha_H = \tan^{-1}\left(\frac{f_h}{e_h}\right) \quad (36)$$

$$H = |H| e^{j\alpha_H} \quad (37)$$

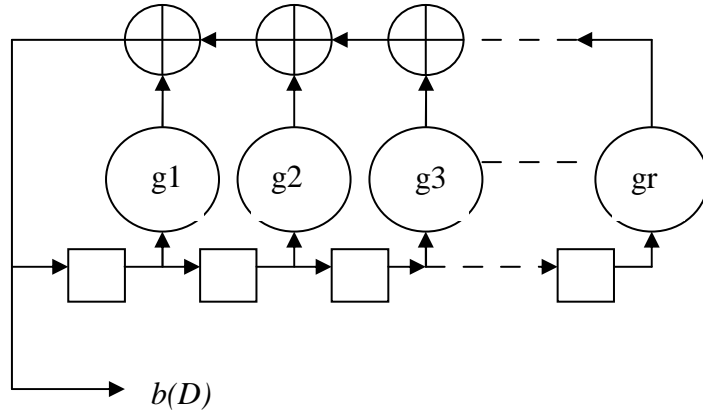
Geçiş işlevini (13), (14), (21), (22), (26), (27) ve (28) numaralı eşitlikler kullanılarak, geçiş işlevinin genliği (29) numaralı eşitlik ve geçiş işlevinin fazı (30) numaralı eşitlik kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir.

Geçiş işlevi bulunduğuna göre (4) numaralı eşitlik kullanılarak zayıflatma kolaylıkla hesaplanabilir.[16]

$$D(f) = -20 \log_{10} |H(f)| \quad [dB] \quad (38)$$

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.



Şekil 13. PN üreten kaydırmalı kaydedici yapısı

$$b(D) = g_1 D b(D) + g_2 D^2 b(D) + \dots + g_r D^r b(D) \quad (39)$$

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

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Giriş

Bu çalışmada, UHF Bandında RFID sistemlerinin girişim ölçüm ve analizlerinin yapılması amacıyla, farklı ortamlarda farklı antenlerle ve değişken konumlarda yapılan ölçümler sonucunda RF kanalın katsayılarındaki değişimler gözlenmiş ve analizleri yapılmıştır.

Yapılan işlemler sırasıyla; RF kanalın ölçümlerinin yapılması için Tektronix WCA380 (Kablosuz Haberleşme Analizörü) ve Agilent E44238C (Vektör İşret Üreteci) ölçüm aletleri için 868MHz de biquad antenlerin tasarımı ve kanal ölçümlerinin yapılması şeklindedir. Tasarlanan antenlerin 3dB açıklığı 60 derece ve kazancı 9-11 dB'dır.

2.2. UHF Bandı RFID Sistemlerinin Girişim Ölçüm ve Analizi

Ölçüm ve analizler için biquad verici anten kullanılırken alıcı anten olarak omnidirectional anten, Yagi dizisi anten ve biquad antenler farklı zayıflatma oranlarına sahip ortamlarda (bina içi açık alan, cam, kapı ve duvar) yapılan ölçümlerde kullanılmıştır. Ölçümler sırasında alıcı ve verici antenler arasındaki mesafe 5m olarak ayarlanmıştır.

Sinyal üretici olarak Agilent E4438C Vektör İşaret Üreteci (Şekil 12) kullanılmıştır. Alıcı sistem olarak ta Tektronix WCA380 Kablosuz Haberleşme Analizatörü (Şekil 13) kullanılmıştır.



Şekil 13. Agilent E4438C



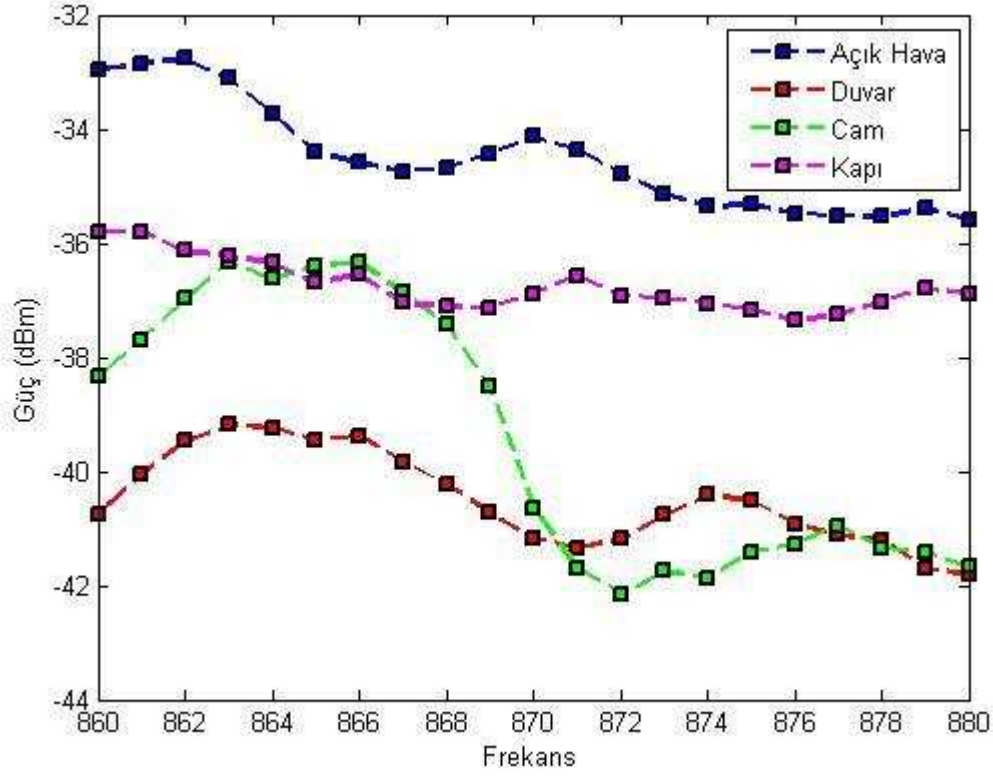
Şekil 14. Tektronix WCA380

Alıcı sistem olarak kullandığımız Tektronix WCA380 Kablosuz Haberleşme Analizörü sırasıyla;

- Modülasyonlu RF işareti taban bant dönüştürmektedir.
- Karesel demodülasyon işlemi ile taban işaretini gerçel (I, Inphase) ve sanal (Q, Quadrature) bileşenlerine ayırmaktadır.
- I ve Q bileşenleri, kullanıcı tarafından seçilen örnekleme hızı ile (20,480 Msps) örneklenmekte ve örnek değerleri, kullanıcı tarafından belirlenen metin dosyalarına kaydedilmektedir.

860 – 880 MHz frekans bölgesinde 1 MHz' lik aralıklarla yaptığımız ölçümlerde dört farklı ortam için ölçülen güç değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tabloda yer alan güç değerlerinin frekansa bağlı değişimini aşağıdaki şekilde izleyebiliriz:



Şekil 15. Dört farklı ortamın ölçülen güç değerlerinin frekansa bağlı olarak değişim grafikleri.

Burada τ_{RMS} değeri işaretin RMS (*etkin değer, root mean square*) gecikme yayılımı (delay spread) değerini vermektedir. Bu değer hesaplanırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

$$\tau_a = \frac{\sum_{i=0}^L \tau_i a_i}{\sum_{i=0}^L a_i} \quad (32)$$

$$\tau_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^L (\tau_i - \tau_a)^2 a_i}{\sum_{i=0}^L a_i}} \quad (33)$$

- τ_a : ortalama τ
 τ_{RMS} : gecikme yayılımının etkin değeri
 a_i : kanal katsayısının genliği
 L : ölçüm sayısı

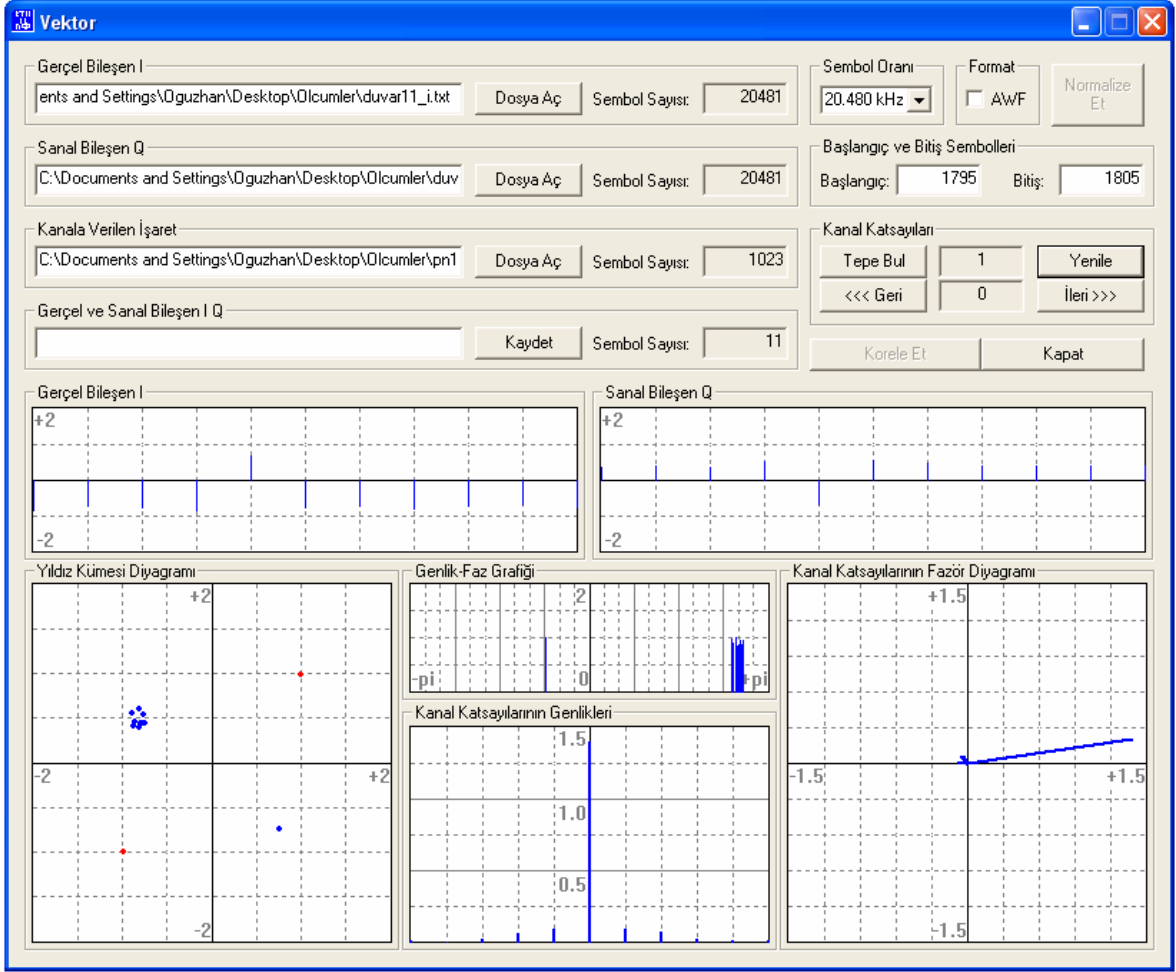
Tablo 1. 868 MHz için kanal ölçümleri

Ölçüm	τ_{RMS} [ns]	Zayıflatma [dB]
Bina İçi Açık Alan	54,99329	-34,68
Cam	57,69621	-37,12
Kapı	12,16024	-37,43
Duvar	11,32963	-40,23

Bina içi açık alanda yapılan ölçümlerde kılavuzlanma az olduğu için çok yolluluk (*multipath*) etkisinin de az olması gerekir. Fakat bizim yaptığımız ölçümlerde, ölçüm bölüm binasının içerisinde yapıldığı için kolonlardan ve tavandan yansıyan elektromanyetik dalgalar çok yolluluk oluşturmuş bunun sonucunda da çok yolluluk etkisi beklenenin üzerinde çıkmıştır.

Yine aynı şekilde duvar ve kapı arkasından yapılan ölçümler sonucu hesaplanan gecikme yayılımının etkin değerinin küçük çıkmasının sebebi, duvar ve kapının zayıflatma etkisinden dolayı yansıyan sinyallerin zayıflayarak, antene çok az miktarda ulaşmasındandır. Bu iki ölçümde alıcı antende görülen sinyalde direk görüş bileşeni oldukça baskın olmuştur.

Açık hava, cam, duvar ve kapı için dört farklı noktada ölçüm yapılmış ve ölçüm değerleri metin dosyasına kaydedilmiştir. Alınan işaretten 20,48 Msps örnekleme hızında 20481 örnek alınmıştır. Alınan örnekler, *Vektor* programı ile analiz edilmiştir.[32]



Şekil 16. KTÜ-TI-DSP Laboratuvarında geliştirilen Vektor programı

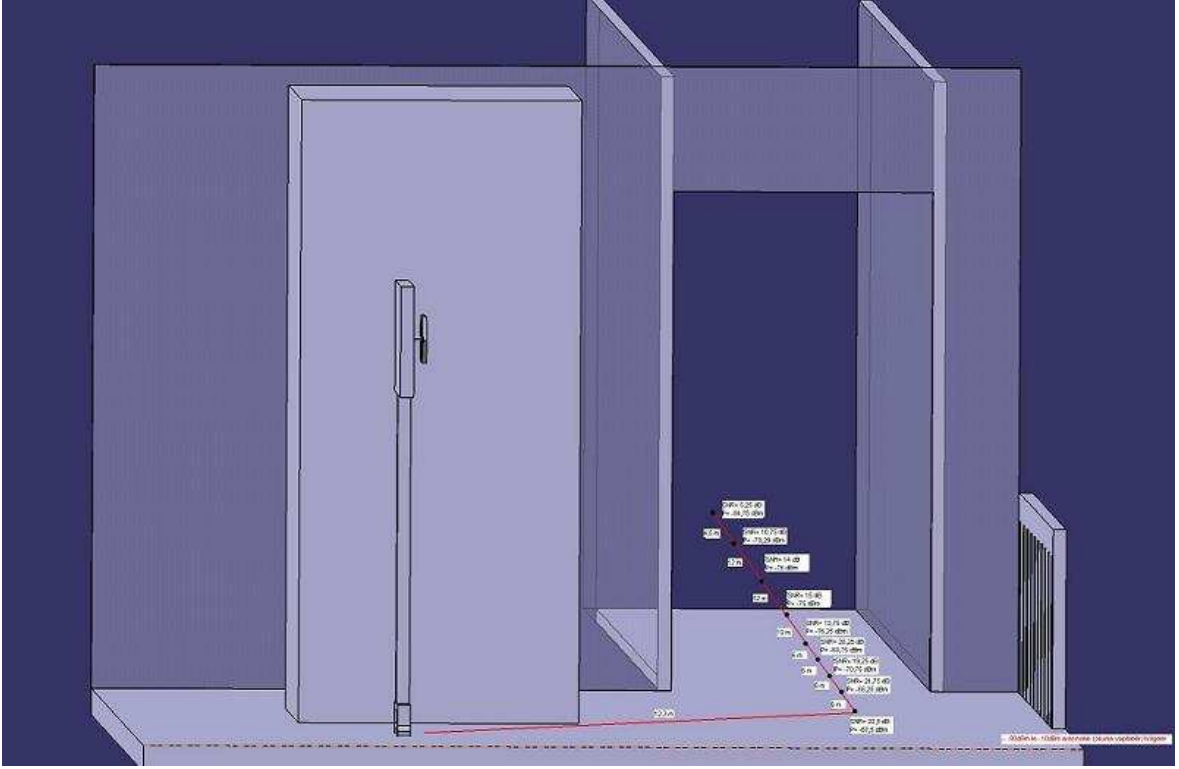
Alınan ölçümlerin Vektör programı ile analizi şu şekilde yapılmıştır.

- Alıcıya gelen sinyal kablosuz haberleşme analizörü tarafından 20,48 Mbps örnekleme hızında örneklenmiş, gerçel ve sanal bileşenler ayrı metin dosyalarına zaman ve genlik olarak kaydedilmiştir. Bu metin belgeleri Vektor programı tarafında açılarak, örnek sayısı ekranda gösterilmiştir.
- *Normalize Et* butonu kullanılarak, alınan örneklerdeki DC (*Doğru Akım, DA*) bileşen süzölmüş, örnek değerleri ortalama genliğe bölünerek normalize edilmiştir ve örnek değerleri ekranda gösterilmiştir.
- *Korele Et* butonu kullanılarak, hatta verilen işaret (*1023 bit uzunluklu karmaşık PN dizisi*) ile hattan alınan işaret korele edilmiştir. Böylece kanal katsayıları bulunmuş ve ekranda gösterilmiştir.

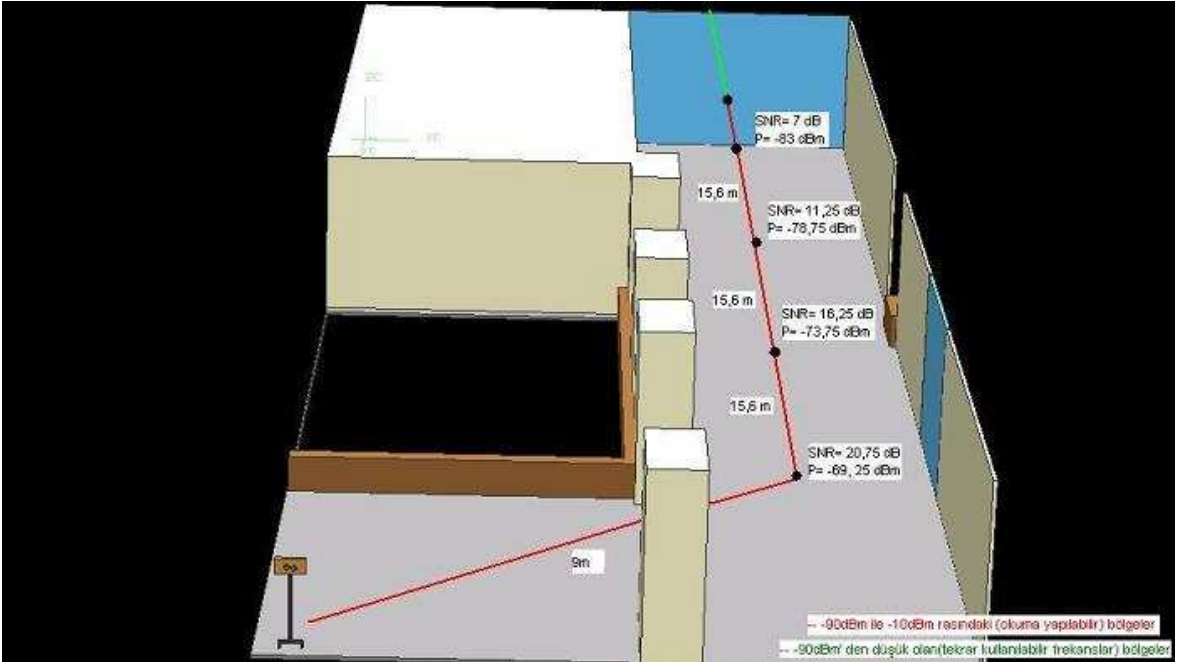
- *Tepe Bul* butonu kullanılarak, kanal katsayıları içerisinde en büyük genlik değerine sahip, kanal katsayısı bulunmuştur. Bu bileşen aynı zamanda hattan alınan paketin başlangıç sembolünün konumunu vermektedir. Paket başı sembolünden yararlanarak, alınan işaretteki paketlerin yerleri tespit edilmiş ve metin dosyasına kaydedilebilmiştir.
- En büyük genliğe sahip kanal katsayısı referans alınarak, bu katsayının 5 örnek öncesi ve sonrası toplam 11 kanal katsayısı seçilip, metin dosyasına kaydedilmiştir.
- 16 ölçüm için 11'er kanal katsayısı, farklı metin dosyalarına kaydedilmiş ve bu kanal katsayıları kullanılarak 32. ve 33. numaralı formüller ile Tablo 2'deki τ_{RMS} (54,99 57,70 12,16 ve 11,33) değerleri hesaplanmıştır.

Vektör programı kullanılarak alınan işaretle ilgili şu verilere ulaşılabilir.

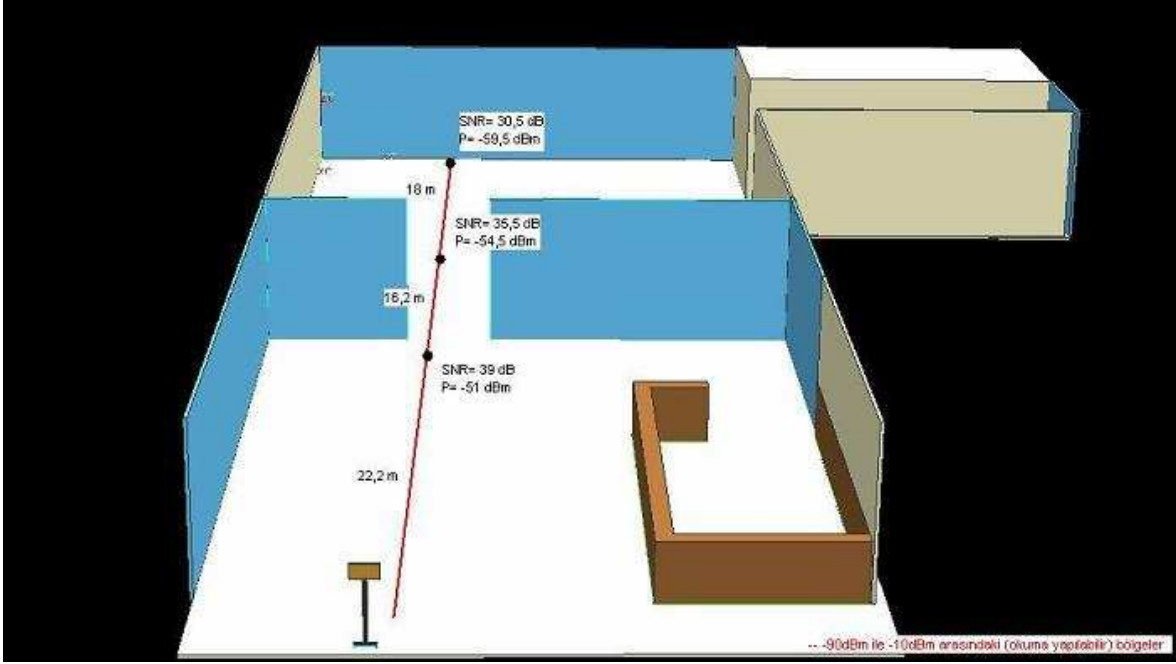
- *Gerçel Bileşen (I)* ve *Sanal Bileşen (Q)* grafikleri kullanılarak, alınan işaretlerin genlikleri zamana bağlı olarak öğrenilebilir.
- *Yıldız Kümesi Diyagramı* ile alınan işaretteki sembollerin genlik ve fazı öğrenilebilir.
- *Genlik Faz Grafiği* ile alınan örneklerdeki faz kayması öğrenilebilir.
- *Kanal Katsayılarının Genlikleri* grafiği ile kanal katsayılarının genlikleri öğrenilebilir. Bu bilgi doğrultusunda kanalın kaç taplı olduğuna karar verilebilir.
- *Kanal Katsayılarının Fazör Diyagramı* ile kanal katsayılarının genlikleri ve fazları öğrenilebilir.



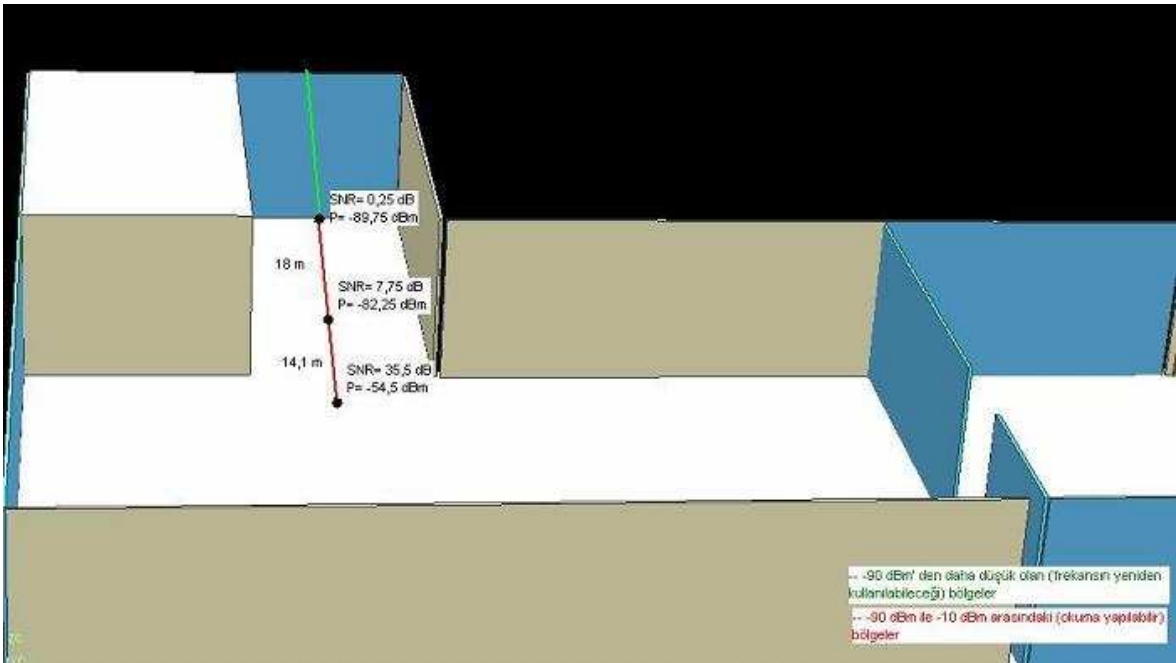
Şekil 17. Ölçüm 1, Öğretim Görevlilerinin bulunduğu koridorun başlangıcından koridor sonundaki pencereye kadar yapılan ölçümler.



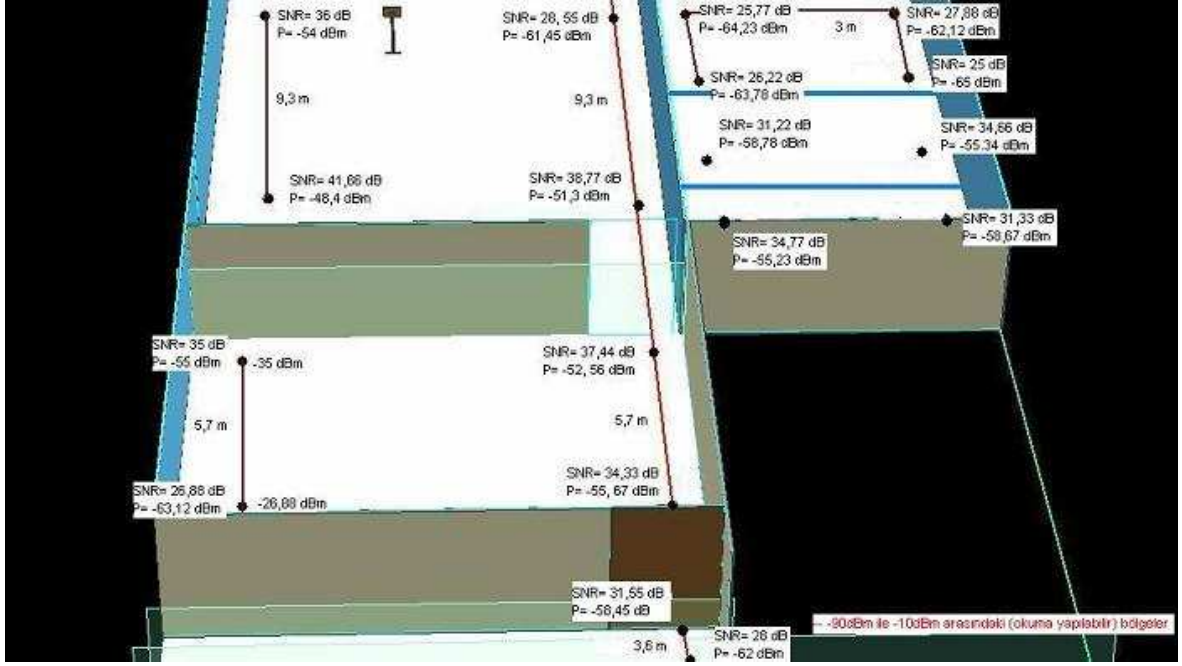
Şekil 18. Ölçüm 2, Bölüm Başkanlığı ve sekreterliklerin bulunduğu koridor boyunca yapılan ölçümler.



Şekil 19. Ölçüm 3, Temel Elektrik laboratuvarı koridorunda yapılan ölçümler.



Şekil 20. Ölçüm 4, Mikrodalga laboratuvarı koridoru boyunca yapılan ölçümler



Şekil 21. Ölçüm 5, Telekom Laboratuvarı' nda yapılan ölçümler.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada RFID sistemlerin uzak mesafe erişimlerinde kullandıkları UHF bandı 868-915 MHz bandı içinde oluşturdukları işaret ve girişim seviyeleri, zayıflama karakteristikleri ve değişik nesnelere geçerken oluşturdukları zayıflama özellikleri zayıflama katsayısı ve elde edilen kanalların birim vuruş tepesi kullanılarak incelenmiştir. Bina içi açık alanda yapılan çalışmalarda zayıflama miktarının kapı ve duvara göre daha az ve çok yönlü haberleşmenin tüm özelliklerini göstermesine karşılık hala frekans seçmesiz bir bayılma gösterdiği tespit edilmiştir. Etrafı kapalı olmasına karşılık antenlerin birbirini görmesi durumu çok yönlü haberleşme sistemlerinde Rayleigh bayılma modelini frekans seçmesiz olarak gösterdiği ortaya çıkmıştır. Duvar ve kapı gibi nesnelere zayıflama özellikleri açık alana göre çok fazla olduğundan bu nesnelere çok yönlü haberleşmeden daha çok direkt yoldaki zayıflama ilkesine dayalı çalışmakta ve çok düşük miktarlarda zamanda yayılma özellikleri göstermektedirler. Dolayısıyla ile Ricean kanal modellemesi ile modellenmelerinde bir sakınca görülmemiştir.

Elde edilen bulgular göstermiştir ki; RFID sisteminin çalışma bölgesi ortalama 1-3 m olmasına rağmen bu işaretler açık alanda 100-110m, duvar ve kapı arkasında 15-25 m de önemli girişim etkileri oluşturabilmektedirler. Ancak güç sınırlaması ve elektromanyetik izolasyon ile bu mesafe 5-10 m ye düşürülebilmektedir. Bu rakamlar aynı frekans kullanan sistemlerin birbiriyle oluşturduğu girişimler için geçerlidir. Yan bantlarda oluşturdukları girişim bu değerlerin çok altında olduğundan bu çalışmada konu edinilmemiştir. Sonuç olarak elde edilen sonuçlar mevcut kullanılabilir toplam bant genişliğinin farklı haberleşme bantlarına (RFID okuma bantları, eg 600 kHz) bölünerek kullanılması ve aynı bina içinde aynı haberleşme bandının mümkünse kullanılmaması gereği ortaya çıkmıştır. RFID sisteminin haberleşme yönteminden dolayı erişmek istediği TAG a -10 dBm güç ile ulaşması gerekirken, TAG dan geriye dönen (yansıyan) enerji seviyesi en fazla -80 dBm olabilmektedir. Dolayısıyla ile RFID okuyucunun normal çalışma seviyeleri -90 dBm seviyelerinde olup, bu seviye ve daha üzeri bir seviyedeki girişim olması durumunda haberleşme yapılamamaktadır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışma süresince en çok ihtiyaç duyulan sistem bir izotopik universal anten ile çıkış gücü ayarlanabilir RF güç yükselteci olmuştur. Bu çalışmanın en güçlü yanlarından bir tanesi yapılan deneyler ve çalışmalar konu edinilen 860-930 MHz bölgesinde çok iyi çalışan vektör işaret üretici ve analizörü ile bu çalışmaların yapılması olmuştur. Yapılan ölçümlerde kullanılan 40 MHz'lik bant kanallardaki (600 kHz'lik UHF RFID) çok yönlü haberleşmeyi yeterinden çok daha hassas çözünürlükte algılayabilmektedir. Bu aşamadan sonra bu çalışmanın devamında okuyucu anten performansları, TAG (anten) çeşitleri ve elde edilen başarımları üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bu çalışma RFID okuyucu yerleştirme planlaması alanında yapılacak çalışmalara yardımcı olacağı beklenmektedir. Ancak, anten tasarımındaki gelişmeler, okuyucuların okuma hızı, okuma seçiciliği ve doğruluğu konularında önemli teknolojik beklentiler taşımaktadır. Son olarak anten dizileri ile TAG'ların seçilmesi, Tag'a yönelme gibi konularda daha fazla çalışmalar gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. "Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance, Draft Revision 1.2", Washington, DC: CTIA, 2001.
2. Balanis, C. A., "Antenna Theory, Analysis and Design" Harper & Row, New York, 1982.
3. Delgado, H. J., "Antenna Pattern Measurement Techniques for Infinite Ground Plane Simulation Through Edge Diffraction Elimination" M. S. Thesis, Dept. Elec. Eng., Univ. December 1988, Houston.
4. Delgado, H. J., Williams T.J. and Long, S.A., "Antenna Pattern Measurement Techniques for Infinite Ground Plane Simulation", Department of Electrical Engineering University of Houston, Texas, IEEE Xplore, 2004.
5. Pozar, D. M., Kaufman, B., "Comparison of Three Methods for the Measurement of Printed Antenna Efficiency", IEEE Transactions on Comm., 1988.
6. Newman, E., Bohley, P. and Walter, C. "Two Methods For the Measurement of Antenna Efficiency", Antennas and Propagation, IEEE Transactions on Comm., 1988.
7. Fanton, M. D., PE Electronics Research, Inc., 1997.
8. Kummer, W.H., IEEE Standard Test Procedures for Antennas – IEEE Std 149-1979, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1979.
9. Fourestie, B., "On the Use of the Matrix-Pencil Method to Correlate Measurements at Different Test Sites," IEEE Trans. Antennas and Propagation, 47(1999) 1569-1573.
10. Proakis, J. G., Digital Communication, 4. Baskı, McGraw-Hill, Singapur, 2001.
11. Carlson, A. B., Communication Systems, 2. Baskı, McGraw-Hill, New York, 1975.
12. Nyquist, H., Certain Factor Affecting Telegraph Speed, Bell Syst. Tech. J., 3(1993) 1924-1962.
13. Ryder, J. D. and Fink, D. G., Engineers and Electronics. IEEE Press, New York, 1984.
14. Sloane N. J. A. and Wyner A. D., The Collected Papers of Shannon, IEEE Press, New York, 1993.
15. <http://www.amazon.com>, Amazon, 21 Temmuz 2005.

16. Brown, P. A., Power Line Communications – Past Present and Future, 3rd International Symposium on Power-Line Communications and It's Applications, Lancaster, 1999, UK, 30.5-1.4.199, 1-7.
17. Fahie, J. J., Edward Davy, The Electrician, (1883) 181-227.
18. The MathWorks Inc., MATLAB Help, 2004.
19. Doğan, İ., A'dan Z'ye Matlab ile Çalışmak, 1. Baskı, Bileşim Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004.
20. Güneş, A. ve Yıldız, K., Matlab for Windows, 1. Baskı, Türkmen Kitapevi, İstanbul, 1997.
21. Çakır, O., Güç Hattı Haberleşmesinin Modellenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi F.B.E., Trabzon, 2005
22. <http://www.rfidjournal.com> 12 Kasım 2007
23. <http://www.rfid.itu.edu.tr> 23 Mart 20008
24. <http://www.rfidturkey.com> 05 Şubat 2008
25. <http://www.ieee-rfid.org> 27 Aralık 2007
26. <http://www.spectrum.ieee.org> 16 Nisan 2008
27. Weinstein, R., “RFID: a technical overview and its application to the enterprise”, IEEE Xplore, May-June 2005.
28. http://www.theinstitute.ieee.org/portal/site/tionline/menuitem.130a3558587d56e8fb2275875bac26c8/index.jsp?&pName=institute_level1_article&TheCat=2203&article=tionline/legacy/inst2008/feb08/conference.xml& 27 Mayıs 2008
29. <http://www.ieee.org/portal/site/emergingtech/index.jsp?techId=864> 16 Haziran 2008
30. <http://www.controleng.com/article/CA6550941.html> 24 Haziran 2008
31. Soysal, B., OFDM Tabanlı Kablosuz İletişim Sistemleri İçin Yüksek Başarılı Alıcı Tasarımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi F.B.E., Trabzon, 2004.
32. Çakır, O., KTU TI DSP Lab., Microsoft Visual C++ 6.0 Introduction Eddition, Vektor Programı, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Seda MOR 1984'de Sinop'ta doğdu. İlk öğrenimini Dumlupınar İlkokulu'nda, orta öğrenimini Boyabat Şehit Ersoy Gürsu Anadolu Lisesi'nde ve lise öğrenimini Sinop Anadolu Öğretmen Lisesi'nde yaptı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans Programı'na başladı ve 2006 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.