

Kapalı Alanda Radyo Dalgaları Yardımıyla
Konum Belirleme ve Paket Takibi
Ayhan Karaca
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik & Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Şubat 2008

Indoor Position Localization and Packet Pursuing
Using Radio Waves

Ayhan Karaca

M.S. THESIS

Department of Electrical & Electronics Engineering

February 2008

Kapalı Alanda Radyo Dalgaları Yardımıyla
Konum Belirleme ve Paket Takibi

Ayhan Karaca

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik & Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Telekomünikasyon & Sinyal İşleme Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Ayhan Karaca'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kapalı Alanda Radyo Dalgaları Yardımıyla Konum Belirleme ve Paket Takibi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Y. Doç. Dr. Selçuk Canbek

Üye : Y. Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

Üye : Y. Doç. Dr. Rifat Edizkan

Üye : Y. Doç. Dr. Nihat Adar

Üye : Y. Doç. Dr. Erol Seke

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, düşük güçlü radyo cihazları kullanılarak, sinyal şiddeti ölçümüne dayalı bir paket takip sistemi geliştirilmiştir. Radyo dalgası sinyal şiddeti ile uzaklık arasındaki bağıntının kullanıldığı sistemde, izlenecek paket üzerine düşük güçlü ve pille çalışabilen bir radyo vericisi takılmıştır. Önceden belirlenmiş noktalara yerleştirilen alıcılara paketten gelen sinyal şiddetleri ölçülmüştür. Alıcıların oluşturduğu kablosuz ağ yardımıyla, tüm alıcıların yaptığı ölçümler tek merkezde toplanmakta ve paketin konumu hesaplanabilmektedir. Çok sayıda paketin tek merkezden izlenebileceği yöntem fabrika ortamında sınanmış ve kullanıma alınmıştır.

Çalışmada radyo dalgası sinyal şiddetini etkileyen diğer bileşenler de incelenmiş; bunlardan hava sıcaklığı ve bağıl nem ile sinyal şiddeti arasındaki bağıntı incelenmiş ve ölçüm hatasına olan etkisi çıkarılmıştır. Yansıma ya da araya engel girmesi gibi sinyal şiddetini etkileyen diğer bileşenlere karşı ise mekanik yollarla önlem alınmıştır.

Geliştirilen sistemin işletim ve kuruluş maliyetinin düşüklüğü, personel, araç, hammadde ve ürün gibi her şeye uygulanabilir olması, konum belirleme duyarlılığının sınırlı olmasına rağmen, özellikle büyük yerleşkeye sahip fabrikalarda kullanımını çekici kılmaktadır. Geliştirilen sistem yardımıyla, işgücü ve zamandan büyük oranda tasarruf sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: RSSI, RF Sinyal Şiddeti, Anten

SUMMARY

In this study, a packet pursuing system is developed based on the measurement of signal strength using low-power radio apparatus. Pursuing is achieved based on the formulated relationship between the measured radio-wave signal strength and the physical distance. The hardware of the system consists of a battery operated low-power radio mounted within the packet to be persuaded, which works as a transmitters, and the several receivers that are placed at the designated points in an area where this system will be used. The receivers are responsible from measuring the signal strengths coming from the packets. By the help of the wireless network formed by the receivers, all the measurements are collected and transferred to a center unit where the location of the packet can be determined. The described method which allows pursuing of many packets from a single monitoring center has been tested in a real factory environment and now it is in service.

In the work, the other parameters, which affect the radio-wave signal strength, are also studied; from these, the ambient temperature and the relation between the dependent humidity and signal strength has been studied, and their effects on the measurement error are evaluated. Extra protective measures are taken to minimize the effects of disturbances on the measurement of signal strength such as echoing of signals and some obstructions coming into the way of signals during measurements.

Even though the developed system has a limitation for exact location finding, it is still very attractive solution for use in the large work places when many factors such as the manufacturing and operating cost of the system, its applicability to all most everything such as work personnel, the tools, the raw materials, and the products are considered. We believe that the developed system will allow significant amount of saving in workman hour cost and also greatly speed up the overall production.

Keywords: RSSI, RF Signal Strength, Antenna

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, beni yönlendiren ve destekleyen değerli danışmanım Y. Doç. Dr. Selçuk CANBEK'e, her daim yanımda olan sevgili eşim Özge KARACA'ya, Halıcı Elektronik laboratuvarlarını sınırsız kullanmamı sağlayan ve her türlü desteklerini benden esirgemeyen Dr. Hüseyin HALICI ve Erim YANGIN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	<i>iv</i>
SUMMARY	<i>v</i>
ŞEKİLLER DİZİNİ	<i>vii</i>
TABLolar DİZİNİ	<i>ix</i>
1. GİRİŞ	1
2. RADYO DALGALARI	4
2.1 mW ve dBm Birimleri	4
2.2 Alınan Sinyal Şiddeti Göstergesi	6
2.3 Sinyal Şiddetinin Metrik Yüzdeliğinin Kullanılması	8
2.4 Sinyal Şiddeti ve Ters Kare Kanunu	8
3. YÖNTEM	10
3.1. Donanım	13
3.2 Yazılım	16
4. UYGULAMA	18
5. SONUÇ	26
6. KAYNAKLAR	28
EK1. ANTEN SEÇİMİ	29
EK2. KABLOSUZ AĞLAR	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ters Kare Kanunu	5
2.2 dBm ile mW İlişkisi	6
2.3A Ters Kare Kanunu	9
2.3B Sinyal Şiddeti Etkisi	9
3.1 Sistem Ağ Yapısı	10
3.2 Sistem Alanı	11
3.3 Çember Geçiş Alanları	12
3.4 Karşılaştırma Alanları	12
3.5Gezginin Konumu	13
3.6 RF Alıcı-Verici Genel Donanım Yapısı	15
3.7 RF Alıcı-Verici Seri Haberleşme Yapısı	15
3.8 Alıcı ve Verici Genel Çalışma Şekli	17
4.1 Uygulama Haritası	20
4.2 T5,T6,T7,T8 için Gezgin Konum İhtimalleri	20
4.3 T11,T12,T13,T14 için Gezgin Konum İhtimalleri	21
4.4 Bileşke Gezgin Konumu	21
4.5 Sıcaklık, Nem ve RSSI Değerine Göre Mesafe Ölçüm Regresyon Analizi	24
4.6 Uzaklık, Sıcaklık ve Nemin dBm'e Etkisi	23
Ek1 1 Elektromanyetik Dalga Yayılma Yönü	29
Ek1.2 Helezon Anten	30
Ek1.3 Helezon Anten & E-Düzlemi & H-Düzlemi	30
Ek1.4 Helezon Anten & Eksenel Mod Yayılımı	31
Ek1.5 Yarım Dalga Dipol Anten	31
Ek1.6 Tek Kutup Anten	32
Ek1.7 Whip Anten	32
Ek1.8 Küçük ve Büyük Halka Anten	33
Ek2.1 Kablosuz Ağ Yapısı	34
Ek2.2 3 Nesil Ağ Yapısı	35
Ek2.3 Kablosuz Ağ Altyapısı	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Ek2.4 Kablosuz Ağ Terminali	37
Ek2.5 Hibrit Kablosuz Ağı	37

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Elektromanyetik Spektrum	4
2.2 mW-dBm Dönüşüm Tablosu	5
4.1 Örnek Veriler	23

1. GİRİŞ

Günümüzde, kablosuz haberleşme ürünlerinin kullanım yoğunluğu oldukça artmıştır. Cep telefonları, telsizler, çağrı cihazları, bilgisayarlar akla ilk gelen ürünlerdir. İnsanların yaşam standardını artırması ve kolaylaştırması nedeniyle kablosuz haberleşme cihazlarına olan talep, gün geçtikçe artmaktadır. Bu cihazlar, sosyal yaşamda olduğu kadar üretim yerlerinde de tercih edilmektedir. Üretim otomasyonunu zenginleştirmesi, ürün takibinin yapılabilmesine olanak sağlaması endüstri alanında tercih edilmesinin en önemli nedenlerindedir. Son zamanlarda, ürün takipleri için RF teknolojileri tercih edilmeye başlamıştır. Ürün üzerine etiketlenen RF tag'ler, ürünün ortaya çıkması için geçen ilk aşamadan son aşamaya kadar tüm işlemleri kaydeder. Bu bilgiler daha sonraları üretim bölgelerinde ya da servis bölgelerinde değerlendirilebilir.

Kısa mesafeli RF-ID teknolojileri, yaklaşık 40 santimetreye kadar olan yakın mesafeli haberleşmeleri içerir. Bu tür sistemler, bir radyo vericisi ve radyo dalgalarıyla enerjilenip çalışmaya başlayan edilgen etiketlerden oluşur. Etiketler veri iletmek için gerekli enerjiyi radyo dalgalarından aldığı için, ucuza üretilebilir ve bakım gerektirmez. Genellikle kapı veya kontrollü geçitlerde kullanılan sistem, personel takip uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerjilenmek ve veriyi aktarmak için gerekli süre nedeniyle belli bir zaman kısıtı olan kısa mesafeli RF-ID sistemleri yüksek hız gerektiren uygulamalarda kullanılamamaktadır.

Yüksek hızlı RF-ID uygulamalarında etiketlerin bağımsız güç kaynağı bulunur. Böylece daha uzak (200 m kadar) mesafeye yayın yapabilen ve tepki süresi kısa olan etiketler kullanılabilir. Otoyol gişelerinde ücret toplama, otobüs duraklarında otobüs izleme, araç izleme sistemleri gibi yerlerde yaygın kullanım bulan aktif RF-ID sistemlerinde etiketlerin üretim maliyeti daha yüksektir ve belirli aralıklarla bakım gerektirir.

Bazı uygulamalarda da uzak mesafelerde haberleşme yapmak gerekebilir. Özellikle büyük işletmelerde onlarca/yüzlerce metre mesafelerde veri alışverişi yapmak gerekebilir. Bu tür gereksinimler için etiketlerin bağımsız enerji kaynağının olduğu aktif RF-ID çözümleri vardır. Farklı markaların uygulamalarında haberleşme mesafesi 200 metreye kadar çıkabilmektedir. En genel anlamda bilinen RF alanları kaynakları

arasında şunlar yer alır: Monitörler ve canlı görüntü göstermeye yarayan üniteler (3 – 30 kHz), AM radyolar (30 kHz – 3 MHz), sanayi tipi yayımlı ısıtıcılar (0.3 – 3 MHz), RF ısı kapatma üniteleri, tıbbi diyatermi cihazları (3 – 30 MHz), FM telsizler (30 – 300 MHz), seyyar telefonlar, televizyon yayınları, mikrodalga fırınlar, tıbbi diyatermi cihazları (0.3 – 3 GHz), radarlar, uydu linkleri, mikrodalga iletişim araç ve gereçleri (3 – 30 GHz) ve güneş (3 – 300 GHz) [1].

FCC (Federal Communications Commission) tarafından belirlenen maksimum DDG (Düzlem Dalga Gücü) değerleri; 30-300 MHz aralığında kamu için 0.2 mW/cm², meslek sınırı için 1mW/cm², 433 MHz frekansında ise kamu için 0.29 mW/cm², meslek sınırı için 1.45 mW/cm²'dir.

Piyasada yaygın kullanılan bazı aktif tag'lerin bu sınır değerlerini aşması, aktif tag'ler arasında hoplama yapılamaması ve haberleşme protokolüne hakim olunamaması nedeniyle bu sistem günümüzde pek tercih edilmemektedir.

Bunların dışında, takip edilmek istenen ürünün, nesnenin konumu da bilinmek istenebilir. Örneğin bir işletmedeki personelin aracının nerede olduğunun bulunması, işletme içinde dolaşan forkliftlerin konumlarının sorgulanması, kritik görev yapan personelin nerede olduğunun öğrenilmesi, gibi. Bu istekler, farklı şekillerde artırılabilir.

Çalışma, yukarıda bahsedilen istekleri, artıları, eksileri göz önüne alarak geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle bir kablosuz alıcı-verici (transceiver) geliştirilmiştir. Bu alıcı-vericinin özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi listelenebilir.

1. 200 metre okuma mesafesi,
2. 433 MHz frekansında çalışma,
3. Data hoplaması (hopping) yapabilme,
4. RS232 seri veri yolu yardımıyla PC ile haberleşebilme,
5. Otomatik mesafe (RSSI) ölçümü yapabilme.

Ardından bu alıcının ölçtüğü RSSI değerleriyle vericinin uzaklığı arasındaki ilişki ve bu ilişkiyi etkileyebilecek faktörler incelenmiştir. Özellikle sıcaklık ve bağıl neme göre sinyal şiddetinin nasıl değiştiği araştırıldı. Bu bilgilere göre yaklaşık uzaklık değerini verebilecek bir denklem çıkartıldı.

Bu çalışma ile, piyasada bulunan pahalı bir çok markaya bağımlılığın giderilmesi amaçlanmıştır. Üretim yerlerinde kullanılan yüzlerce, binlerce dolar maliyetli ürünler yerine çok rahat kullanılacak bir ürün ortaya çıkmıştır. Ürünün

endüstriyel cihazlarla kolaylıkla iletişim kurabilmesi ve protokolünün açık olması çok büyük avantaj sağlamaktadır. Örneğin, tasarlanan alıcı-verici yardımı ile RS232 çıkışı olan bir cihazdan yaklaşık 80 metre uzaklığa senkronize olarak kablosuz veri transferi yapılmıştır. Yine bu projeye temel olan bir gezgin alıcı-vericinin konumu, diğer alıcı-vericilerle oluşturulan bir ağ yardımıyla bulunmuştur. Sinyal şiddeti (RSSI) yardımıyla takip edilen gezgin alıcı-vericinin konumu otomatik olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde RF sinyal şiddeti birimleri araştırılmış, RSSI için standartlar ve Ters Kare Kanunu hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise yapılan çalışmada kullanılan yöntemlerden bahsedilip uygulamadaki donanım ve yazılım hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölüm, kurulan sistem ve uygulamayı ayrıntılı bir şekilde anlatmaktadır. Sinyal şiddeti, sıcaklık ve bağıl neme bağlı uzaklık formülü ve analizleri bu bölümde açıklanmıştır.

Sonuç bölümünde ise yapılan çalışmalar ve kurulan sistemle ilgili genel düşünceler anlatılmıştır.

2. RADYO DALGALARI

Günümüzde iletişimde yaygın olarak kullanılan radyo dalgaları genellikle 100 kHz ile 100 GHz arasında dağılım gösterirler. Bu dağılım Tablo 2.1'deki gibi Elektromanyetik Spektrum olarak adlandırılır. Spektrumdaki her bölge farklı bir amaç için kullanılmaktadır. Örneğin UHF'nin yüksek frekanslı olmasından dolayı dalgaların kırınımı daha hassastır. Bu yüzden uzak mesafeler için UHF kullanmak pek makul değildir. Uzak mesafeler için dalga zayıf kaldığından UHF, kapalı alanlarda daha iyi performans verir. UHF için 315, 433, 868 Mhz serbest frekanslardır.

Tablo 2.1 Elektromanyetik Spektrum

Spektrum Adı	Alt Sınır	Üst Sınır
ELF	3 Hz	30 Hz
SLF	30 Hz	300 Hz
ULF	300 Hz	3 kHz
VLF	3 kHz	30 kHz
LF	30 kHz	300 kHz
MF	300 kHz	3 MHz
HF	3 MHz	30 MHz
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	3 GHz
SHF	3 GHz	30 GHz

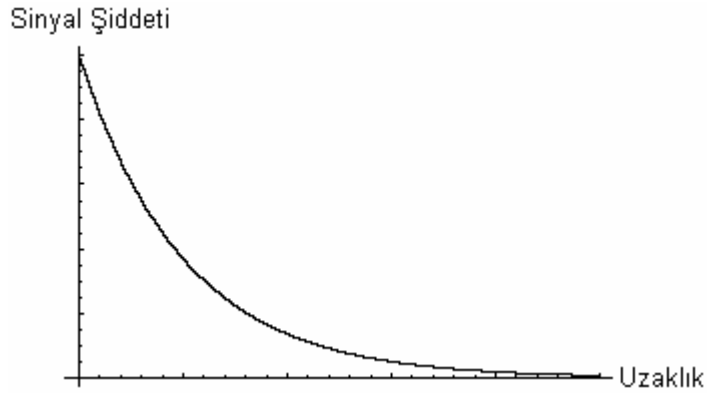
RF sinyal şiddetini belirtmek için yaygın kullanılan 4 birim vardır. Bunlar mW, dBm, RSSI (Alınan Sinyal Şiddeti Göstergesi) ve yüzde ölçüm. Tüm ölçümler birbiriyle ilişkili olduğu için bir ölçüm biriminin diğerine dönüştürülmesi mümkündür [2].

2.1 mW ve dBm Birimleri

mW sinyal şiddeti, ortama yayılan elektromanyetik dalganın toplam gücünü gösterir. Tipik olarak kablosuz erişim noktaları (wireless access point)nın çıkışı yaklaşık 100 mW düzeyindedir. Elektromanyetik dalga şiddeti uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır. Sinyal şiddetinin sabit olduğu bir terminal noktasından okunan sinyal şiddeti seviyesinin, terminale olan uzaklığın artmasıyla azalmaktadır. Sinyal şiddetleri SS ve uzaklıklar d ile gösterilecek olursa, uzaklıkla sinyal şiddeti arasındaki bağıntı (1) ile gösterilebilir.

$$\frac{SS_1}{SS_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (1)$$

Sinyal şiddeti ile uzaklık arasındaki ilişki Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Uzaklık arttıkça sinyal şiddeti anlamlı bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 2.1 Ters Kare Kanunu

Diğer bir ölçüm birimi dBm (dB-metre), sinyal şiddetinin logaritmik olarak ifade edilmesidir. Ölçülen dBm değerleri aynı zamanda mW değerine de çevrilebilir ya da herhangi bir mW değerinden elde edilebilir.

Bu çevirme işlemleri için, (2) deki denklem kullanılabilir.

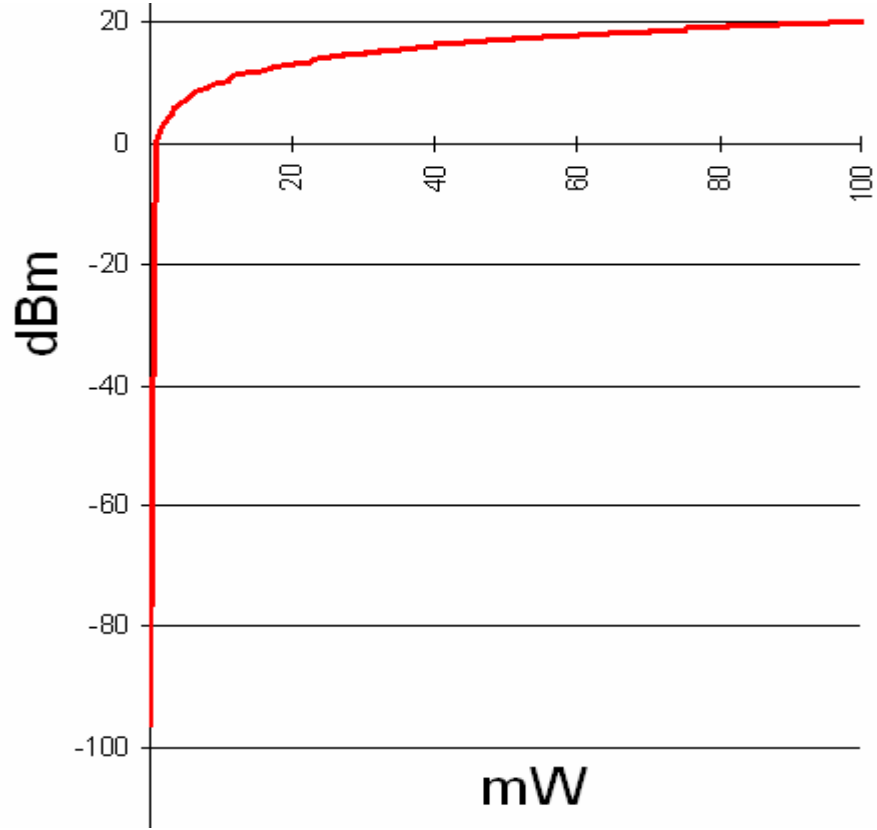
$$dBm = \log_{10}(mW) \times 10 \quad (2)$$

Tablo 2.2’de farklı güç değerlerinin dBm cinsinden karşılıkları listelenmektedir. 20 dBm için mW değeri kolay ifade edilirken -96dBm için mW değeri çok zor ifade edilir.

Tablo 2.2 mW-dBm Dönüşüm Tablosu

mW	dBm
100	20
10	10
1	0
0,1	-10
0,01	-20
0,0000000002511	-96

Özellikle çok zayıf sinyal güçleri için, gösterim kolaylığı nedeniyle, dBm daha çok kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de mW ile dBm arasındaki ilişki gösterilmektedir. 0 dBm altındaki değerlerde mW değerinin gösterimi oldukça zorlaşmaktadır.



Şekil 2.2 dBm ile mW ilişkisi

2.2 Alman Sinyal Şiddeti Göstergesi (The Receive Signal Strength Indicator, RSSI)

IEEE 802.11 standardı, devre sistemi ile ölçülen RF enerjisiyi 0-255 aralığında bir sayı olarak tanımlamıştır. Bu değer 1 byte olarak ifade edilir. Ancak her üretici firma, RF enerjisiyi belirtmek için 256 farklı değer kullanmaz. Örneğin bilgisayar piyasası için konuşursak, erişim noktalarına ulaşmakta kullanılan kablosuz haberleşme kartları için her üretici firmanın kendine özgü tanımladığı maksimum RSSI değeri vardır. Örneğin Cisco RF enerjisini 101 farklı değer olarak okur. Yani Cisco için maksimum RSSI değeri 100'dür. Symbol için bu değer 31 iken Atheros için de 60'dır. Dolayısıyla IEEE standardına karşın piyasadaki sinyal şiddeti ölçüm değerleri 0 - $RSSI_{\max(\text{firma})}$ arasında değişmektedir. Bu RSSI değeri dBm yada mW ile karıştırılmamalıdır. Bu

değer sadece IEEE 802.11 standardının belirlediği keyfi verilmiş 0–255 arasında değişen tam sayı değerleridir. Özellikle kablosuz haberleşme kartı üreticileri için RSSI çok önemli bir veridir. Çünkü kablosuz kartınız yardımıyla bir paket göndermek istediğinizde kart, öncelikle kullanılan kanalın temiz olup olmadığına bakar. Bunu da ancak RSSI değerine bakarak yapabilir. Eğer RSSI çok düşük bir değerde ise o zaman kanalınız temizdir demektir. Buna Clear Channel Threshold (CCT) temiz kanal eşiği denir. 802.11 terminali bir erişim noktası ise ve hareketli, gezgin durumda ise terminal öyle bir noktaya gelir ki artık terminalden alınan sinyal seviyesi birden düşer. Bu seviyeye de (Roaming Threshold) RT dolaşabilme eşiği denir. Farklı üreticiler farklı CCT ve RT sinyal seviyelerini kullanır. Çünkü daha önce bahsettiğimiz gibi hepsinin tanımladığı ayrı $RSSI_{max}$ değerleri vardır [2].

802.11 standardına rağmen RSSI, opsiyonel bir parametredir. Bu yüzden de okunan RSSI için tam olarak tanımlı doğru bir ifade yoktur. Bu durum yüzünden 802.11, RSSI değeri ile diğer enerji ölçüm birimleri (mW, dBm) arasında bir ilişkiyi şart koşmaz. Her üretici mW, dBm ile RSSI arasındaki çevrim formülünü kendi verir. Çünkü bu formül o ürüne özeldir [2].

Sinyal alıcı devresine her zaman bir sinyal gelir. Bu sinyal anten tarafından toplanan elektromanyetik spektrumun bir bileşkesidir. Günlük yaşamımızda kullanılan bir çok kablosuz iletişim cihazının yanı sıra, güneş patlamaları ya da kozmik ışınım gibi insan kaynaklı olmayan bir çok kaynaktan gelen bu bileşke sinyal belli düzeyde sürekli bir gürültüye neden olur. Sıklıkla “beyaz gürültü” olarak adlandırılan bu sinyal ile anlamlı iletişim sinyalini birbirinden ayırt edebilmek için kullanılan sinyal her zaman minimum seviyede enerjiye sahip olmalıdır. Bu minimum seviyeye “Alıcı Hassasiyeti” denir ve dBm olarak belirtilir. Örneğin bir firmanın elektronik kartındaki alıcı hassasiyeti 1Mb/s için -96 dBm ise ve kartın ölçtüğü RF enerji -96dBm’den daha düşük ise kart, bu sinyali ayırt edemez ve gürültü olarak kabul eder. Bu durumda RSSI değerini 0 olarak gösterir. Çalışmada kullanılan alıcı-vericinin duyarlılığı çok yüksektir ve IEEE’nin standardının dışında bulunan zayıf sinyali -110 dBm’de algılayabilir [2] [4].

2.3 Sinyal Şiddetinin Metrik Yüzdeliğinin Kullanılması

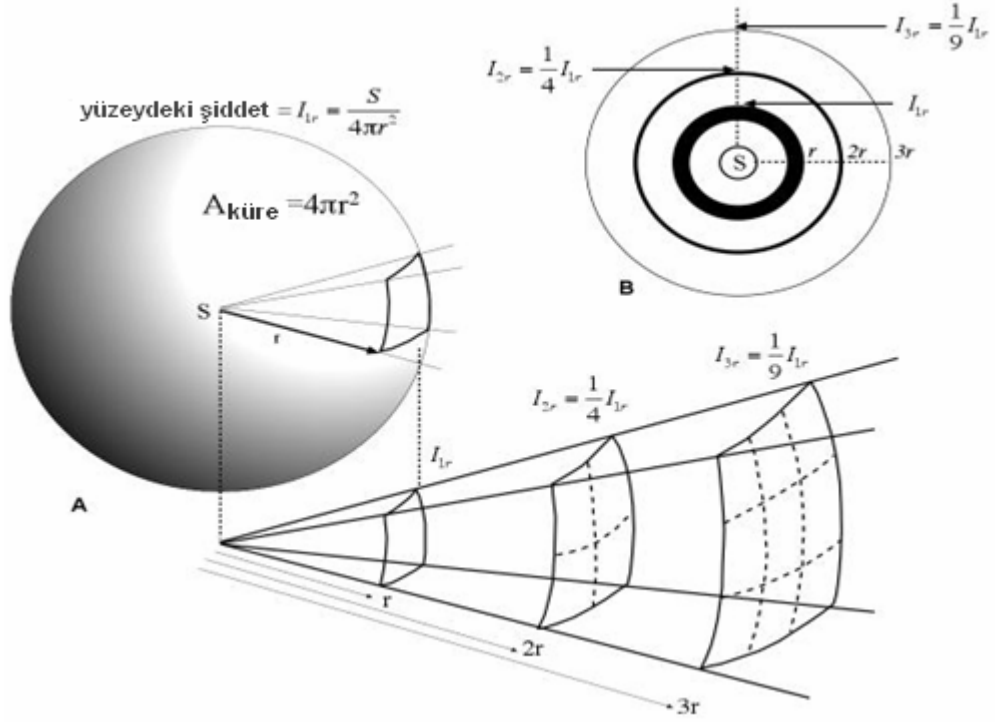
Farklı üreticilerin farklı RSSI standardı kullanması nedeniyle, yüzde ifadesi kullanmak, farklı uygulamalar arasındaki uyumu arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Yüzde ifadesi paketin sinyal şiddetinin $RSSI_{max}$ değerine bölünmesi ile elde edilir. Örneğin, Symbol markası için %50 sinyal şiddeti, $RSSI=16$ anlamına gelir. Çünkü bu marka için $RSSI_{Max}=31$ 'dir.

Yüzde ölçümler haberleşme sistemlerinin analizlerinde çok işe yarar. Mesela yapılan çalışmalar, sinyal şiddetinin %20'ye düştüğü durumların "dolaşabilme eşiği"ne geldiğini gösterir. Eğer sinyal şiddeti %10'nun altına düşerse de "temiz kanal eşiğine" gelmiş demektir [2].

2.4 Sinyal Şiddeti ve Ters Kare Kanunu

Bir noktasal kaynaktan gözlenen fiziksel nicelik ya da şiddet, onun kaynağa olan uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Buna "Ters Kare Kanunu" denir. Ters Kare Kanununu ilk olarak Newton, yerçekimi kanununda ifade etmiştir. Hatta Kepler'in gözlemlere dayanarak ortaya koyduğu gezegenlerle ilgili yasalarını, yerçekiminin ters kare kanununda bulunduğunu gösterdi [7].

Şekil 2.3A'da gösterildiği gibi noktasal bir kaynaktan çıkan toplam güç S ise, r yarıçaplı bir kürenin yüzeyindeki sinyal şiddeti de I_r olur. Şekil 2.7B de sinyal şiddetinin uzaklığın karesiyle ters orantılı değiştiğini gösterir.

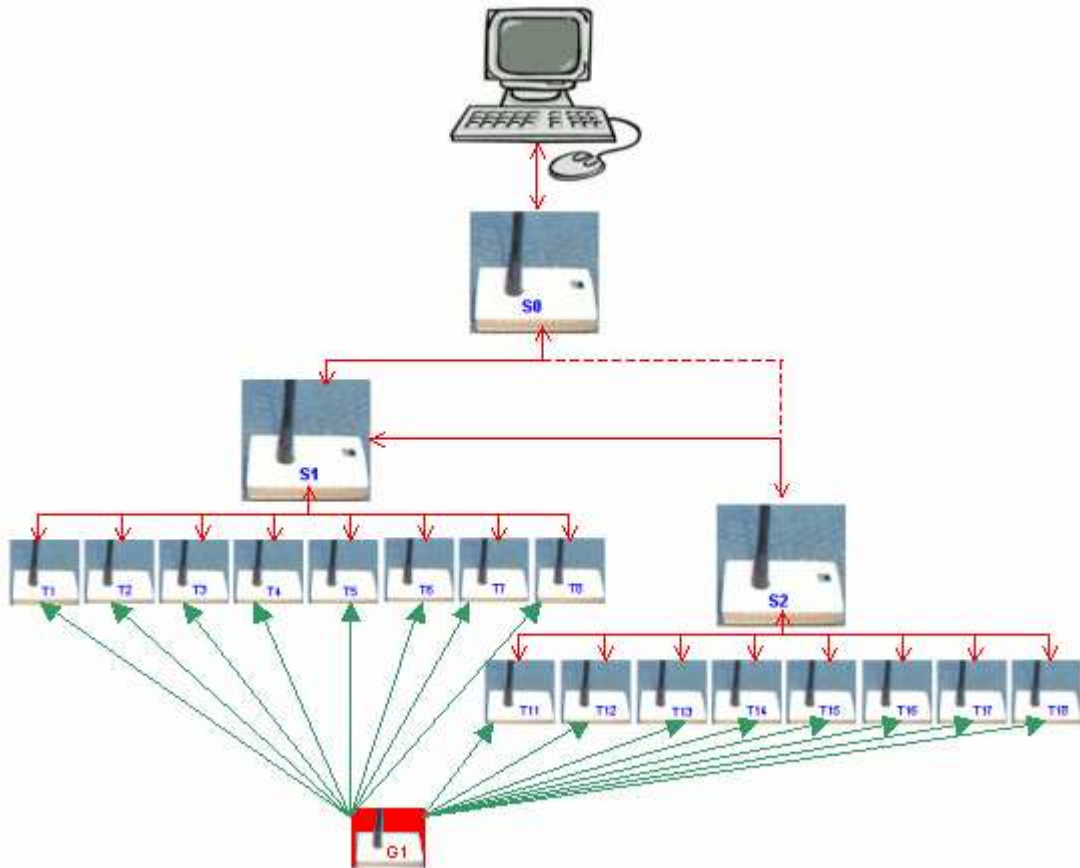


Şekil 2.3 (A)Ters Kare Kanunu (B)Sinyal Şiddeti Etkisi [8]

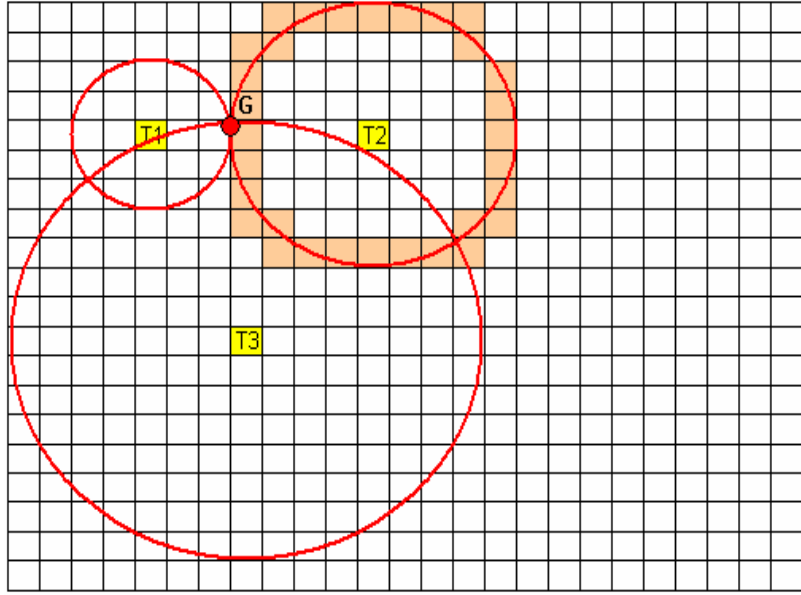
Bu çalışmada da RSSI ile ölçülen sinyal şiddeti ile uzaklık arasındaki bağıntı incelenmiş ve konum belirleme uygulamalarında kullanımı gösterilmiştir.

3. YÖNTEM

Tasarlanan sistem için, sinyal şiddetini ölçebilen donanıma sahip alıcı vericiler ve Ek2’de anlatılan kablosuz ağlara benzer uygulamaya dönük bir şebeke yapısı geliştirildi. Ağ yapısı, Şekil 3.1’deki gibi ağaç yapısında oluşturuldu. Bu ağ yapısında G1 hareketli nesnedir ve gezgin adımları alır. Gezgin birer saniye arayla boşluğa sinyal yayan vericidir. “T” ile belirtilen terminaller sabit alıcı-vericilerdir. Bunlar gezginden aldıkları sinyal şiddetini, bağlı oldukları sunuculara iletirler. S1 ve S2 aktarma sunucularıdır. Bunlar kendilerine ait terminal grubundan aldıkları bilgileri ana sunucu S0’a gönderirler; S0’dan aldıkları bilgileri de kendilerine ait terminal grubuna iletirler. Yapılan uygulamada S2 kendine gelen bilgileri S1 aracılığıyla toplama yaparak S0’a iletir. S0 ise kendine gelen bilgileri RS232 seri veri yolu üzerinden bilgisayara iletir. Bilgisayar ise bu bilgileri değerlendirerek gezginin konumunu belirler.

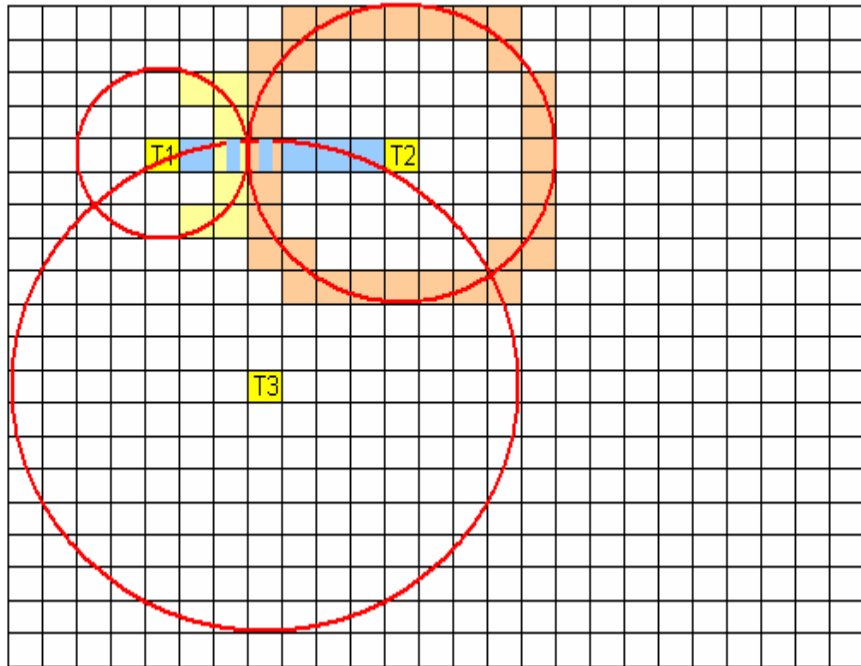


Şekil 3.1 Sistem Ağ Yapısı



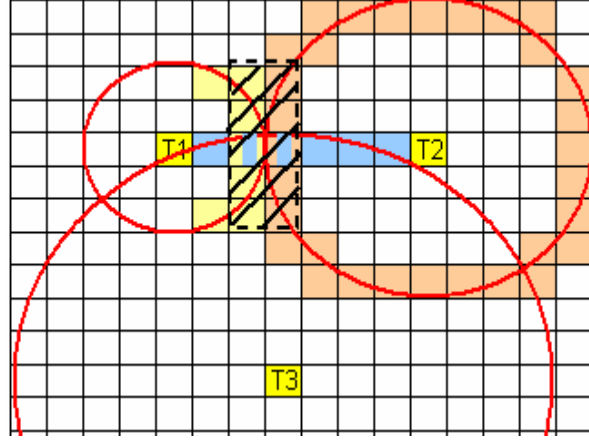
Şekil 3.3 Çember Geçiş Alanları

Bir alanın değeri 2 veya 2'den büyükse yada Şekil 3.4'teki gibi bir alanda 2 veya daha çok sayıda renk var ise bu alanlar karşılaştırma alanları olarak seçilir.



Şekil 3.4 Karşılaştırma Alanları

Daha sonra karşılaştırma alanlarından birbirine en yakın alanlar seçilerek Şekil 3.5'teki gibi bir taralı alan oluşturulur. Bu alanın orta noktası da gezginin konumu olarak işaretlenir.



Şekil 3.5 Gezginin Konumu

3.1 Donanım

Donanımı geliştirirken, düşük güç tüketimine sahip ve çevre koşullarına dayanıklı bir alıcı-verici kullanılmıştır. Terminaller ve sunucu birimler sabit konumlarda olduğu için enerji gereksinimleri kabloyla karşılanabilmektedir. Gezgincilerin güç gereksinimi ise, takıldıkları forkliftlerden sağlanmaktadır. Birimler pille de çalışabilecek biçimde tasarlanmıştır. Mikroişlemci entegresi olarak Silicon Laboratories üretimi C8051F320 seçilmiştir. RF alıcı-vericinin orijinal geliştirme takımlarında bu işlemcinin kullanılması, seçimin bu marka üzerine olmasında etkili olmuştur. Mikroişlemcinin USB üzerinden programlanabilmesi, yüksek flash bellek kapasitesi, dahili voltaj regülatörünün olması, sıcaklık sensörünü içermesi diğer tercih nedenleriydi.

Alıcı-verici, Chipcon CC1100 seçildi. Proje başlangıç aşamasında RFM, Nordic marka ürünler de incelendi. CC1100 alıcı-vericinin Chipcon'un 4. nesil 0.18 μm CMOS teknolojisini kullanması, boyutlarının çok küçük olması, düşük maliyetli olması, RSSI özelliğinin olması, uyku modunda da çalışabildiğinden düşük enerji sarf etmesi, farklı modülasyon tiplerinin kullanılabilmesine imkan vermesi, bir sonraki modelde alıcı-

verici ve mikroişlemcinin aynı entegrede olması ve buna bir ön çalışma olacak olması sebebiyle bu alıcı-verici seçildi.

CC100'ün genel özellikleri:

1. Küçük boyutlu (QLP paket, 20 pin, 4x4 mm)
2. UHF RF Alıcı-verici
3. Frekans bantları: 300-348 MHz, 400-464 MHz, 800-928 Mhz
4. Yüksek hassasiyet (1.2 kbps'da -110dBm, %1 paket hatası)
5. Düşük akım tüketimi (1.2 kbps, 433 MHz, RX modda 15.4 mA)
6. Çıkış gücü 10dBm'e kadar
7. Opsiyonel FEC (Forward Error Correction)
8. 64'er byte RX ve TX FIFO
9. Dijital RSSI çıkışı
10. RX modunda wake-on-radio özelliği
11. OOK, ASK, FSK, GFSK, MSK modülasyonları destekli
12. Taşıyıcı dalgayı algılayabilme
13. Otomatik kanal temizleme özelliği, CCA (Clear Channel Assesment)
14. Link kalitesi göstergesi, LQI (Link Quality Indication)

Anten seçimi yapılırken EK1'de belirtilen bilgilerden faydalanılmıştır. Bu bilgilere göre Whip Anten seçilmiştir. Anten boyu ise yine EK1'de ifade edilen (5) numaralı bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre:

$$\lambda = \frac{300.000 \times 10^5 \frac{cm}{sn}}{433 \times 10^6 \times \frac{1}{sn}} \times 0,95 = 65,82 \text{ cm}$$

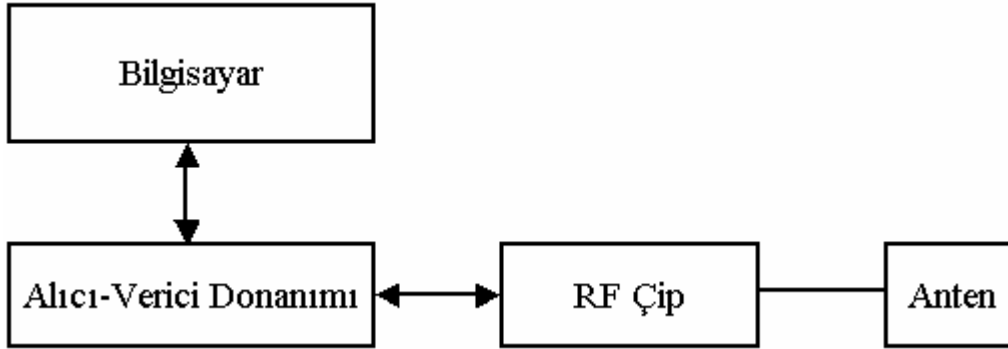
$$\text{Dalga Boyu} = \frac{\lambda}{4} = 16,45 \text{ cm} \text{ olduğundan anten boyu piyasadaki ürünlere göre}$$

yaklaşık olarak 17 cm seçilmiştir.

Şekil 3.6'da, tasarlanan RF alıcı-vericinin genel donanım yapısı gösterilmektedir. Alıcı-verici temel olarak 4 parçadan oluşmaktadır:

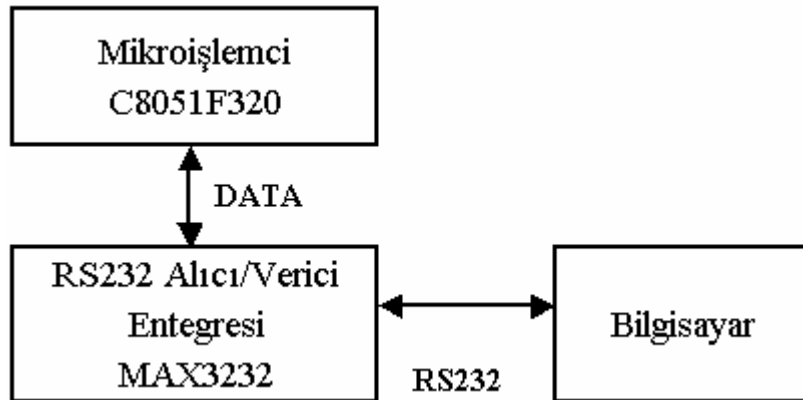
1. Bilgisayar: Sistem yazılımının alıcı-verici ile RS232'den haberleşmesini sağlar.
2. Alıcı-verici donanımı: RF çipe komut göndererek çipten gelen bilgileri değerlendirip RS232 üzerinden bilgisayara veri transferini sağlar.

3. RF Çip: Diğer alıcı-vericilerle kablosuz haberleşmeyi sağlayan entegreye sahip elektronik karttır.
4. Anten: RF çipin diğer çipler ile haberleşmesini sağlamak için EK1'de belirtilen bilgilere göre seçilmiş elektriksel iletkenidir.



Şekil 3.6 RF Alıcı-Verici Genel Donanım Yapısı

Şekil 3.7'de bilgisayar ile RF alıcı-vericinin RS232 üzerinden temel haberleşme yapısı gösterilmektedir. Buna göre bilgisayar ile seri haberleşme çatısı Max3232 entegresi üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 3.7 RF Alıcı-Verici Seri Haberleşme Yapısı

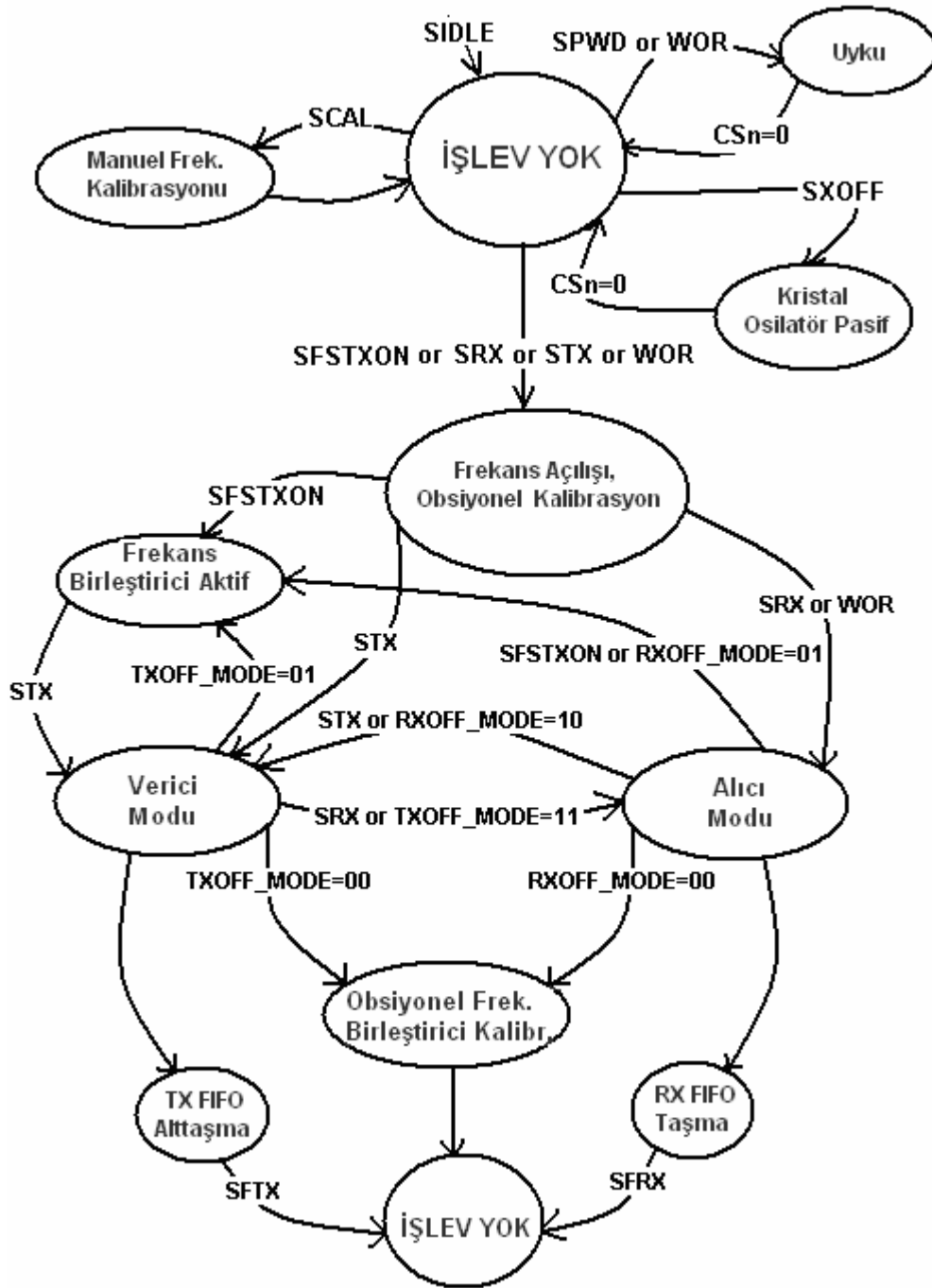
3.2 Yazılım

Veri toplama ve analizleri için Visual Basic 6.0, mikroişlemci yazılımı için C++ tabanlı Keil C Compiler kullanıldı.

Genel olarak alıcı-verici yazılımı, Şekil 3.8’da gösterilen Chipcon’un belirlediği formata göre yapıldı. Mikroişlemci yazılımında da RF çip için Chipcon’un belirlediği temel kütüphaneler kullanıldı. Genel aritmetik işlemler ve değişken analizleri için Windows’un kendi standart kütüphaneleri kullanıldı. Veri alış verişlerinde CRC (Cyclic Redundancy Check) kullanılarak verinin doğruluğu da kontrol edildi. Her paketin başına 4 byte başlangıç karakteri eklendi ve alıcı tarafında alınan veri buna göre analiz edildi. Çalışma prensibine göre RF alıcı-vericinin alıcı (receive) yapısı önce uyku modunda bekler, herhangi bir veri gelince IDLE üzerinden Receive moduna geçer, ardından gelen veri işlendikten sonra tekrar IDLE durumuna geçer ve buradan bir kereye mahsus olarak Transmit moduna geçer. Transmit modunda paket gönderimi yapıldıktan sonra alıcı-verici IDLE moduna ve oradan da tekrar uyku moduna geçer.

Genel olarak alıcı-verici iki durumda paket gönderimi yapar. Bunlardan birincisi yukarıda bahsedilen durumdur. Yani alıcıya veri geldiğinde bunu aktarmak için bir kereye mahsus iletim yapmasıdır. İkincisi ise, RS232 üzerinden işlemciye bilgi geldiği zaman bu bilginin diğer alıcı-vericilere aktarılması işidir.

Bilgisayardaki yazılım için Microsoft Visual Basic 6.0 kullanıldı. Bilgisayardaki yazılım, alıcı-verici ile RS232 üzerinden haberleşir. İki birim (bilgisayar, alıcı-verici) arasındaki haberleşme hızı 115200 bps olarak ayarlandı.



Şekil 3.8 Alıcı ve Verici Genel Çalışma Şekli [16]

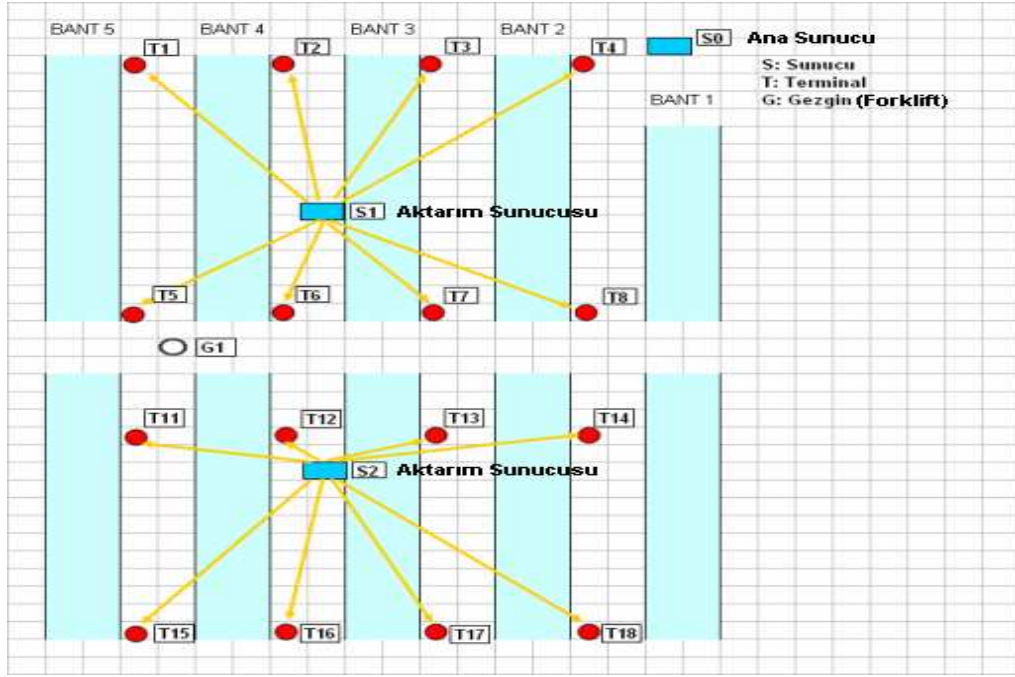
4. UYGULAMA

Uygulama, işletme içinde forklift takibini içermektedir. Forkliftler işletme için çok önem taşımaktadır. Bantların belli noktalarına acil malzeme tedarikini bunlar sağlamaktadır. İşletme içerisinde birden çok forklift olduğundan, iş ataması yapılırken hangi forkliftin en yakında olduğu, hangi forkliftin boşta olduğu planlama açısından büyük önem taşır.

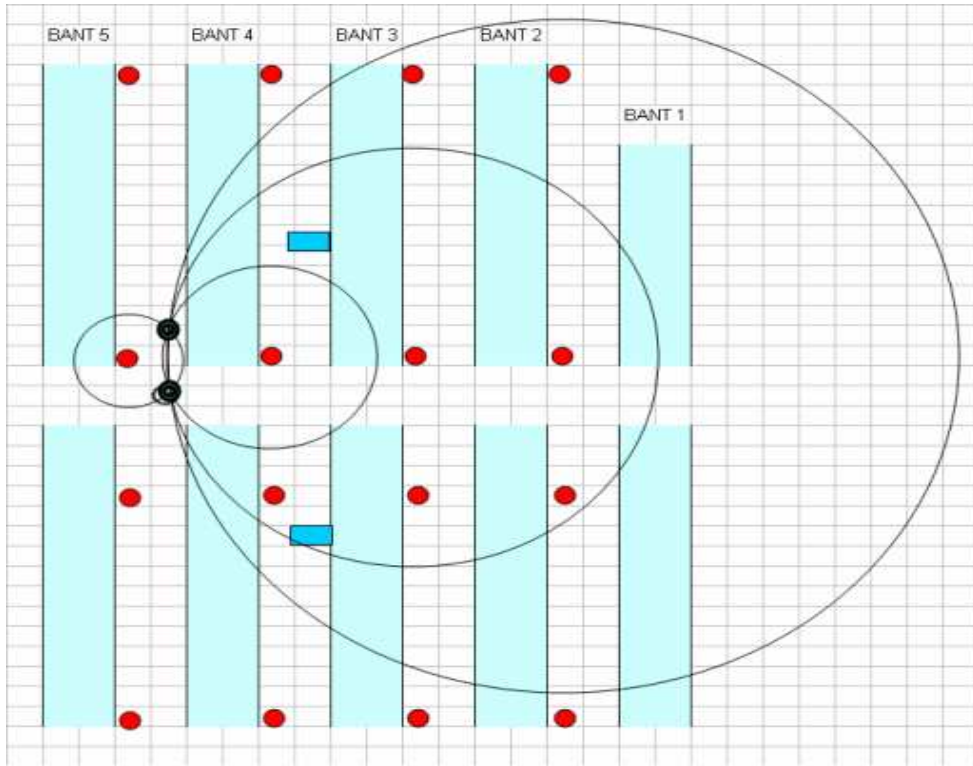
Uygulama için şekil 4.1’de gösterildiği gibi bir yapı oluşturuldu. Buna göre;

1. Fabrika alanı ikiye bölündü. Birinci alan S1 sunucusu, ikinci alan ise S2 sunucusu tarafından gözlendi.
2. S1 sunucusuna 8 adet terminal (T1-T8), S2 sunucusuna da 8 adet terminal (T11-T18) verildi. Yatay terminaller arası uzaklık 12 metre, dikey terminaller arası uzaklık 40 metre olarak ayarlanmıştır. Terminallerin sabitlenmesi için fabrikanın sabit kolonları seçilmiştir.
3. G1 gezgini birer saniye arayla sürekli olarak her defasında 25 adet sinyal gönderdi.
4. T1-T8 terminalleri uyku modundayken, gelen sinyallere göre uyanarak aldığı sinyallerin sinyal şiddetini (RSSI) ölçtü, gelen sinyal şiddetlerinin orta değerini aldı, buna kendi terminal numarasını ve gezgin numarasını ekleyerek S1 sunucusuna gönderdi ve tekrar uyku moduna geçti.
5. S1 sunucusu, kendine bağlı terminallerden (T1-T8) aldığı bilgileri kendi ismini (S01) de ekleyerek S0 ana sunucusuna gönderdi.
6. T11-T18 terminalleri uyku modundayken, gelen sinyallere göre uyanarak aldığı sinyallerin sinyal şiddetini (RSSI) ölçtü, gelen sinyal şiddetlerinin meydanını aldı ve buna kendi terminal numarasını ve gezgin numarasını ekleyerek S2 sunucusuna gönderdi ve tekrar uyku moduna geçti.
7. S2 sunucusu, kendine bağlı terminallerden (T11-T18) aldığı bilgileri kendi ismini (S02) de ekleyerek S1 sunucusuna gönderdi.
8. S1 sunucusu, hoplama yaparak, S2 sunucusundan kendine gelen bilgiyi aynı şekilde S0 ana sunucusuna gönderdi.

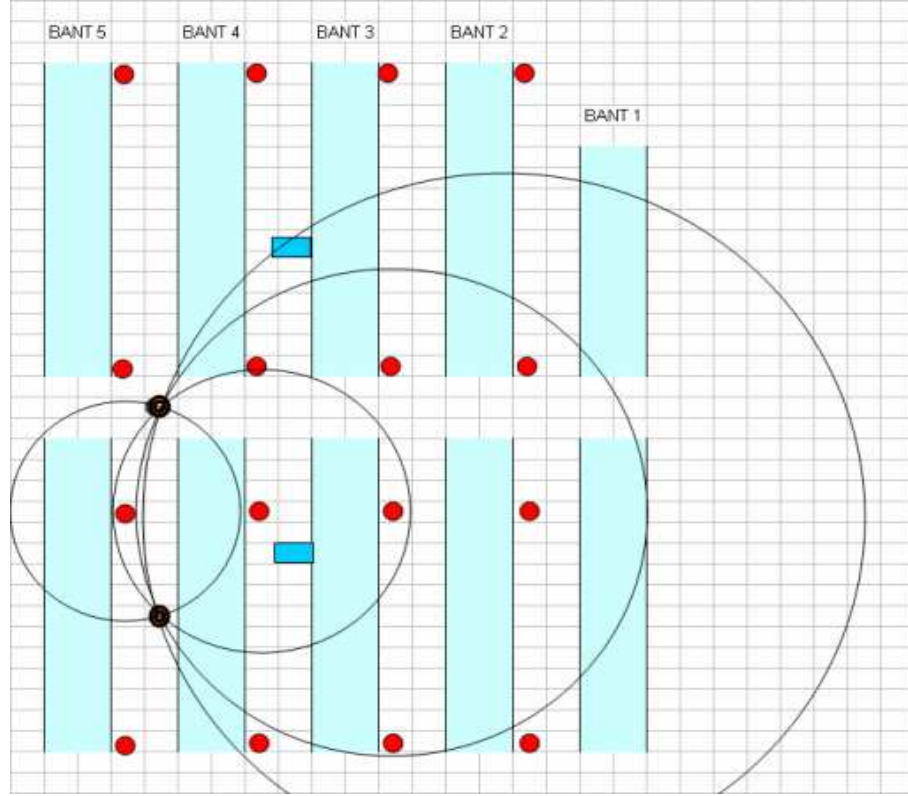
9. S1 sunucusu, sadece T1-T8 terminalleri ve S2 sunucusundan gelen bilgileri deęerlendirdi.
10. S2 sunucusu, sadece T11-T18 terminallerinden gelen bilgileri deęerlendirdi.
11. S0 ana sunucu, sadece S1 sunucusundan gelen bilgileri deęerlendirdi.
12. S0 ana sunucusu kendine gelen bilgileri RS232 yardımıyla bilgisayara gönderdi.
13. Bilgisayardaki bir yazılım ile S1 sunucusu ve S2 sunucusuna ait bilgiler ayıklandı.
14. Bilgisayardaki yazılım, S1 sunucusuna ait terminallerdeki (T1-T8) sinyal şiddeti bilgilerini, metrik değere çevirdi.
15. Her terminal noktası merkez, ona ait uzaklık değerleri de yarıçap olarak kabul edilerek çemberler çizildi. Sunucu 1 için Şekil 4.2'deki gibi çemberlerin bileşkesi alındığında gezginin bulunabileceği 2 nokta tespit edildi (çizimde sadece T5-T8 terminalleri gösterilmektedir).
16. S1 sunucusu için yapılanları yazılım, Şekil 4.3'teki gibi S2 sunucusu için tekrarlayıp gezgin için yine 2 nokta belirledi (çizimde sadece T11-T14 terminalleri gösterilmektedir).
17. Ortaya çıkan 4 nokta için bilgisayar yazılımı, en yakın 2 noktayı ele alarak, bu iki nokta arasındaki noktayı Şekil 4.4'teki gibi G1 gezgininin konumu olarak kabul eder. Çemberlerin kesişim noktaları ve çemberlerin geçebileceği alanlarla ilgili yazılım algoritması, genel olarak Bölüm3'te bahsedildiği gibi yapılmıştır.



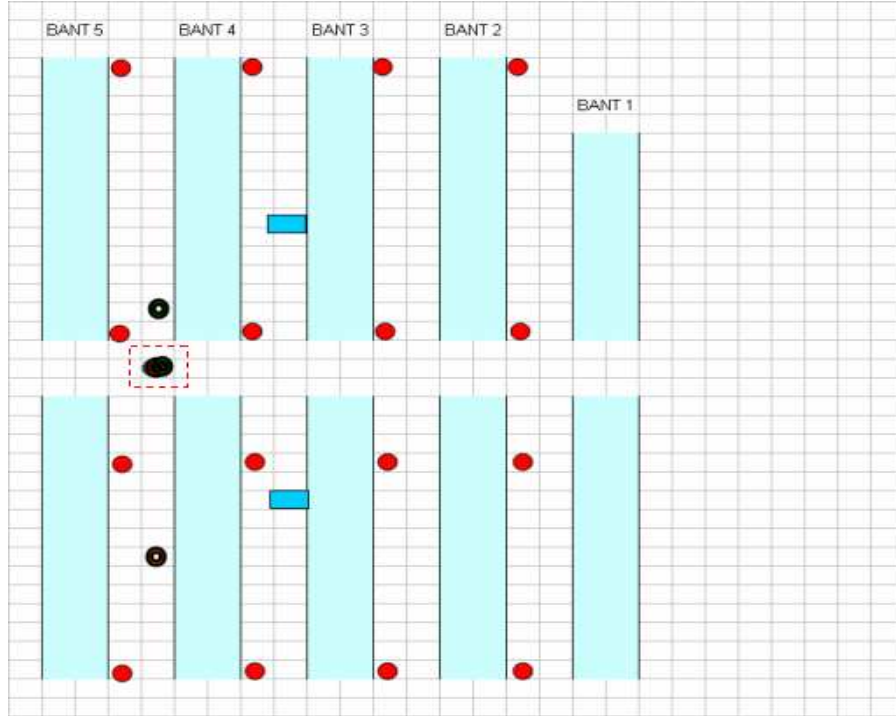
Şekil 4.1 Uygulama Haritası



Şekil 4.2 T5,T6,T7,T8 için Gezgin Konum İhtimalleri



Şekil 4.3 T11,T12,T13,T14 için Gezgin Konum İhtimalleri



Şekil 4.4 Bileşke Gezgin Konumu

Uzaklık ölçümleri için RSSI değeri kullanıldı. RSSI değeri 1 byte olarak ölçüldü. Ondalık olarak RSSI değeri CC1100 standardına göre aşağıdaki (3) numaralı formüle göre bulundu.

$$RSSI_{dBm} = \begin{cases} (RSSI_{dec} - 256) / 2 - RSSI_{offset}, & RSSI_{dec} \geq 128 \\ (RSSI_{dec}) / 2 - RSSI_{offset}, & RSSI_{dec} < 128 \end{cases} \quad (3)$$

$$RSSI_{offset} = 75 \quad [3]$$

Bu eşitliklere göre RSSI değerinin (4)'te belirtildiği gibi -11 ile -139 arasında olması beklenir.

$$-139 \leq RSSI < -11 \quad (4)$$

Yukarıdaki bilgiler de göz önüne alınarak 66 deney yapıldı. Bu deneyler açık havada yapıldı ve havanın rüzgarsız ve yağışsız olduğu zamanlar seçildi. Deney sonucunu etkileyecek faktörleri en aza indirmek için deneyler elle (manuel) ve kontrollü olarak yapıldı. Deney materyalleri deney yapılmadan önce ne fazla sıcak ne de fazla soğuk ortamlarda tutuldu. Materyaller daha çok oda sıcaklığında muhafaza edildi. Deneyler için engelsiz bir ortam seçildi. Şüpheli durumlarda, deneyler, aynı şartlar altında bir kez daha tekrarlandı. Deneylerin amacı, farklı sıcaklık ve nem değerlerine göre sinyal şiddetini okuyarak iki RF alıcı-verici arasındaki mesafeyi tahmin edebilmektir. Buna göre RSSI değerleri, belli mesafelerde sıcaklık ve bağıl neme göre ölçülerek istatistiksel veri olarak toplandı. Deneyler 10 metre, 20 metre ve 30 metre uzaklıklarda yapıldı. Bunun sonucunda Tablo 4.1'deki veriler elde edildi. Bu verileri analiz etmek için regresyon analizi kullanıldı. Regresyon analizinin temel amacı bağımlı değişken ile bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi matematiksel bir denklem ile açıklamaktır. Regresyon analizinde bağımlı değişken Y'deki toplam değişimin, yani Y'nin kendi ortalamasından olan uzaklıklarının kareli toplamının $\left[\sum y^2 = \sum (Y - \bar{Y})^2 \right]$ bileşenlerine ayrıştırılması söz konusudur. Regresyon analizinde artık (residual) kareler toplamı regresyon ile açıklanamayan, hatalara bağlı değişkenliği gösterir [15]. Artık değerler, tahmini değerler ile gözlenen değerler arasındaki farkı gösterir. Biz, elde ettiğimiz veriler ile $Y = aX + b$ şeklinde birinci dereceden denklem oluşturarak bir formül elde ettik.

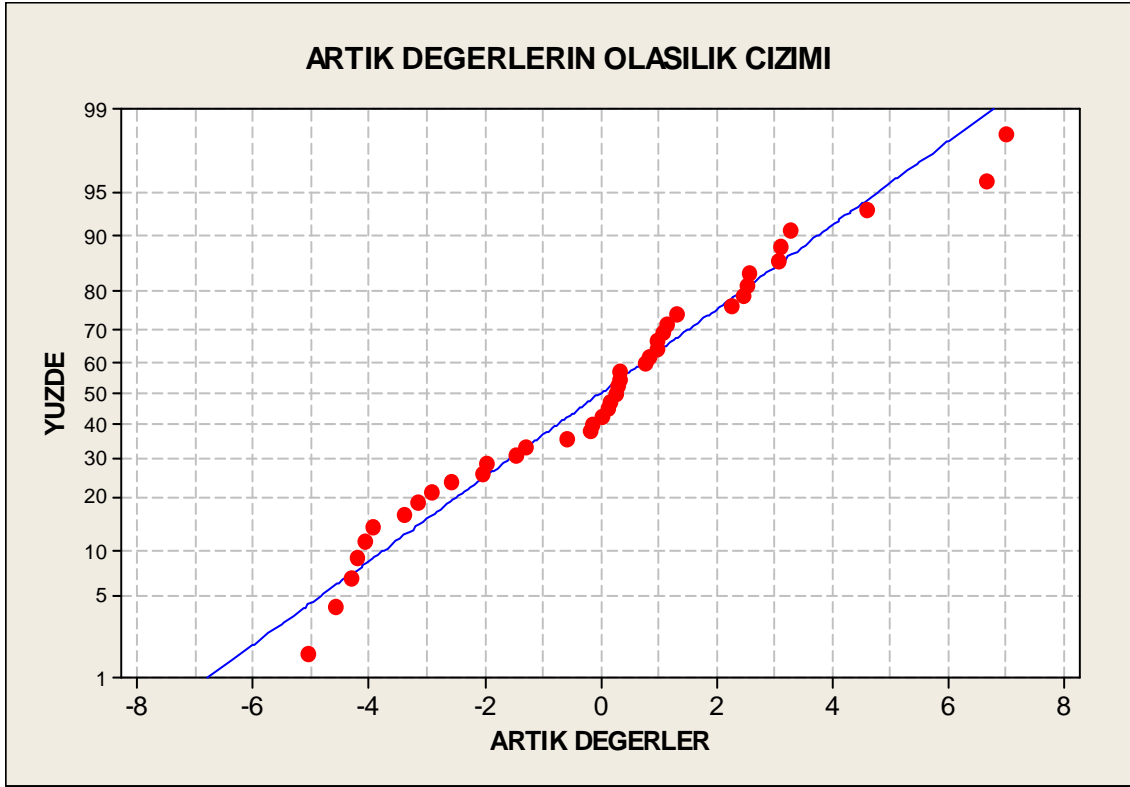
Tablo 4.1 Örnek Veriler

SICAKLIK, C	NEM, %	10 M RSSI,dBm	20 M RSSI,dBm	30 M RSSI,dBm
2	81	-59	-63,5	-81
5	49	-51	-66	-72
22,3	53,5	-74	-80	-88
22,7	35,2	-72,5	-81	-83,5
23,5	59,4	-73	-82,5	-84
23,9	62,9	-69	-81,5	-83,5
24	65	-55,5	-60	-68,5
24,2	51	-73,5	-81,5	-83
24,9	51,5	-71	-83	-83,5
25,3	67,8	-71	-80	-88
26,3	49,9	-74	-82	-81
26,7	45,7	-67	-84	-84,5
26,7	41,4	-74	-83,5	-85,5
29,2	36,8	-73,5	-79	-84
30,1	34,4	-73	-85	-86,5
31,2	32,1	-67	-80	-85,5
31,2	41,5	-71,5	-81,5	-84,5
31,9	25,2	-68	-84,5	-83
32,7	30,1	-72,5	-80,5	-79
33,1	29,6	-74,5	-84,5	-84
34,6	22,3	-68	-78,5	-80
39,2	13,1	-67,5	-83,5	-82,5

Tablo 4.1'deki verilere göre regresyon analizi yapıldığında aşağıdaki formül elde edilir.

$$\text{UZAKLIK (metre)} = - 29,5 - 0,365 \text{ SICAKLIK} - 0,0415 \text{ NEM} - 0,791 \text{ RSSI}$$

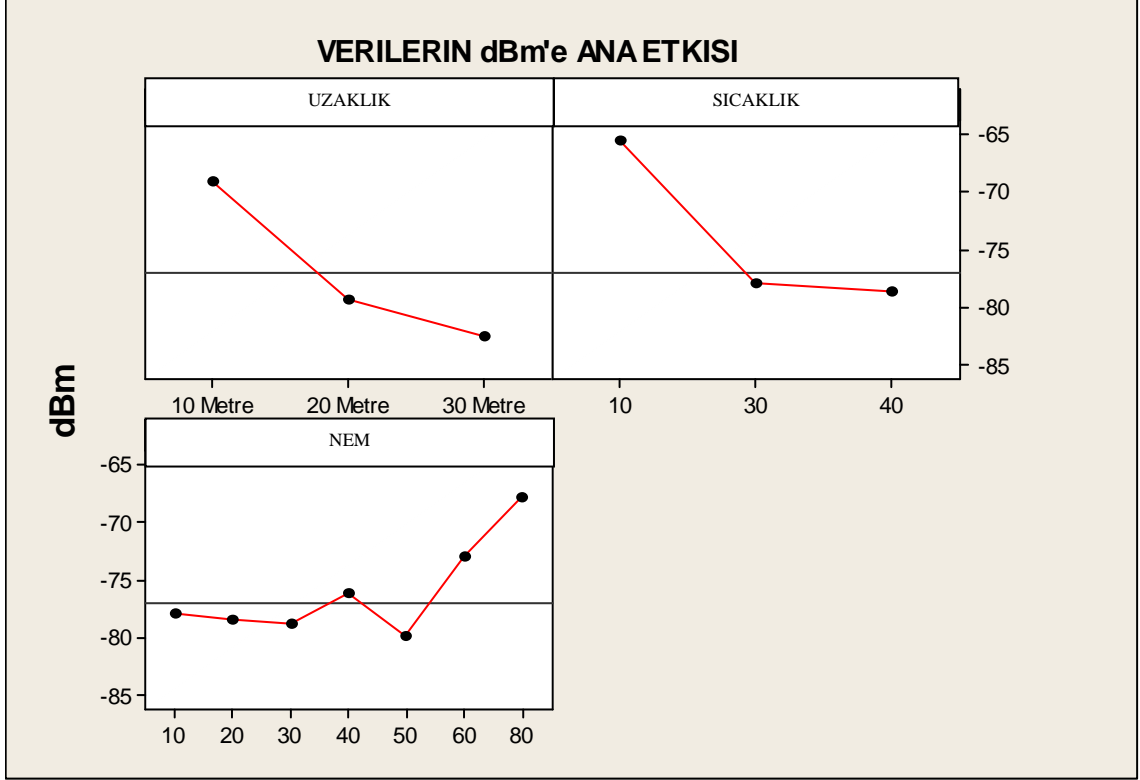
Şekil 4.5'te mesafe ölçümünün sıcaklık, bağıl nem ve RSSI değerine göre regresyon analizi görülmektedir. Regresyon analizi, verileri, şekilde görülen doğruya oturtmaya çalışır. Bu doğru aslında bizim elde ettiğimiz formülü verir. Doğruya oturmeyen veriler artık değerleri oluşturur. Grafikte yatay eksen artık değerlerin değişim aralığını gösterir. Şekle göre yukarıdaki formüle uymayan deneylerin hata aralığı yaklaşık olarak -5 ile +7 arasında değişir. Özetle, bu formülü kullanarak uzaklık ölçümü yapıldığında -5 ile +7 metre arasında hata çıkabilir. Dikey eksen kümülatif doğruluk olasılığını gösterir.



Şekil 4.5 Sıcaklık, Nem ve RSSI Değerine Göre Mesafe Ölçüm Regresyon Analizi

Yapılan deneylerde sinyal şiddetinin uzaklık, sıcaklık ve nem ile ilgili değişimi de incelendi. Sıcaklık bilgileri 0 ile 40 derece arasında 4 gruba ayrıldı (0-10, 11-20, 21-30, 31-40). Aynı şekilde nem bilgileri de 0 ile 100 arasında 10 gruba ayrıldı. Örneğin 32,1 ile 34,4 nem değerleri 4. gruba atandı. Uzaklık değerleri de zaten 3 gruba ayrılmış şekildeydi; 10, 20, 30. Bu gruplar arasında kombinasyonlar oluşturularak 120 adet örnekleme oluşturuldu. Bu örnekleme için sinyal şiddetlerinin minimum ve maksimum değerleri alınıp bunların ortalamaları alınarak örnekleme için muhtemel sinyal şiddetleri ortaya çıkarıldı. Böylece hatalı yapılan deneylerin vereceği yanlış fikirler önlenmiş oldu. Bu gruplama yöntemi, verinin genel hareket yapısını görmek için kullanıldı. Bu yöntemle deneyleri tekrar analiz ettiğimizde Şekil 4.6'daki gibi bir sonuç ortaya çıktı. Buna göre uzaklık arttıkça sinyal şiddeti azalmaktadır. Burada uzaklık grafiği ters kare kanununu anımsatmaktadır. Sıcaklık bilgisi de uzaklık bilgisinin karakteristiğine sahiptir. Yani sıcaklık arttıkça sinyal şiddeti belirgin şekilde zayıflamaktadır. Buna karşın nem değeri %50'nin üzerine çıktığı durumlarda sinyal şiddeti artmaktadır, diğer bir deyişle sinyal şiddeti daha az zayıflamaktadır. Bu bilgiye

göre nem oranının yüksek seviyede olduğu durumlarda RF sinyalinin daha uzak mesafelere gönderilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.6 Uzaklık, Sıcaklık ve Nemin dBm'e Etkisi

Uzaklık değeri formülize edildikten sonra yapılan konum bulma çalışmalarında hata, ortalama olarak 3,52 metre olarak bulundu. Bu çalışmada, RF alıcı-vericiler çalışma alanının (200metre x 350metre) farklı 15 noktasına konuldu. Her nokta için hata değerleri bulundu. Buna göre en iyi konum tahmini 1,5 metre uzaklıkta, en kötü konum tahmini de 6,5 metre uzaklıkta bulundu. Ölçümlere göre hata orta değeri 3,75 metre olurken, standart sapma 1,45 olarak bulundu.

5. SONUÇ

Bu çalışma, radyo dalgaları ile kapalı alanda pozisyon bulma işini kolaylaştırmıştır. Bunu, alıcı-verici üzerindeki RSSI özelliğini geliştirerek yapmıştır. RSSI değerleri, bölüm 4'te söz edilen deneylerin ardından metrik değerini kazanmıştır. Yalnız bu deneyler sadece sıcaklık ve nem faktörleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Sıcaklık dışında, sinyal şiddetini rüzgâr ve basıncın da etkilediği düşünülmektedir. Açık ortamlarda çalıştırılacak sistem için ayrıntılı sıcaklık, nem, rüzgâr ve basınç faktörlerine göre RSSI değerleri ölçülmelidir. Tüm yapılacak çalışmalar mutlaka engelsiz ortamda yapılmalıdır. Değişen ortamlar için ölçülen uzaklıklar, gürültü katsayısı denilecek ve kullanıcı tarafından keyfi olarak atanacak bir değer ile tolere edilebilir.

Yapılan deneyler neticesinde uzaklık ölçümünü etkileyen en önemli faktörün sıcaklık olduğu görülmektedir. Kesin kanıya varabilmek için daha çok sayıda deneyler yapılmalıdır. Deney sayısının yetersiz olmasına rağmen sıcaklığın sinyal üzerindeki etkisi belirgin olarak fark edilmektedir. Uzaklık formülü içerisinde bağıl nemin pek etkisi görülmemektedir. Buna rağmen, yapılan analizlerde bağıl nemin %50'lerin üzerine çıktığı zaman, sinyal şiddeti üzerinde belirgin bir etkisi görülmektedir. Mesafe ölçümü formülüne dayanarak, nem oranının yüksek olmadığı ortamlarda ölçüm aritmetiğinde, sadece ortam sıcaklığı ve ölçülen RSSI değerinin kullanmasının yeterli olacağı düşünülmektedir. RSSI değerinin metrik olarak değerlendirilmesi ile ilgili başka çalışmalar da araştırılmıştır [6]. Birçok etkenin de değerlendirileceği bir RSSI çalışması, diğer çalışmalara önderlik edecek ve daha hassas uzaklık ölçümleri elde edilebilecektir.

Yapılan çalışmalara göre bilgisayar yazılımının gezgin için konum hatası yaklaşık olarak 4 (3,52) metre olarak bulunmuştur. Ayrıntılı yapılacak çalışmaların, hata oranını büyük ölçüde azaltacağı düşünülmektedir. Örneğin gezginlerin üzerindeki antenler daha yüksek noktalara sabitlenebilir ve böylece terminaller ile gezginler arasındaki engeller azaltılabilir ve daha doğru mesafe ölçümü yapılabilir. Yapılan çalışmada mesafe ölçümünü bilgisayar yapmaktadır. Sıcaklık değeri olarak bilgisayar, kendi bulunduğu ortamın sıcaklığını almaktadır. Yalnız Şekil 4.1'deki bant2 ve bant1 arasındaki terminaller, fabrika içerisinde sıcaklık fanlarının etkisi altında çalışmaktadır. Dolayısıyla her terminalin kendine ait bir sıcaklık sensörünün bulunması ideal olacaktır.

Bunun da hata oranını bir miktar düşüreceği düşünülmektedir. Yalnız bizim kullandığımız mikroişlemcinin dahili sıcaklık sensörü olmasına rağmen, hassas ölçümler için bu sensör kullanılmamalıdır. Çünkü mikroişlemci üzerinden okunan sıcaklık değerleri, çalışma durumlarına göre +/- 3 derece farklılık göstermiştir. Çok hassasiyet istenmeyen durumlarda, elektronik kartımızdaki komponent sayısının minimumda olmasını istediğimiz zaman, mikroişlemci üzerindeki sensörü kullanmak kolaylık olacaktır.

Yapılan çalışmalarda ağ yapısı uygulamaya dönük geliştirilmiştir. Bunun haricinde, Windows'un kendi ağ protokollerinin kütüphanesini mikroişlemciye gömerek de standart bir yapı oluşturulabilir.

Sistem için oluşturulan elektronik kartta mikroişlemci ve alıcı-verici ayrı olarak tasarlanmıştır. Bu yüzden birisinde oluşacak hata diğer kart devresini etkilemeyecektir.

İki alıcı-verici arasındaki haberleşme mesafesi, çok yoğun engel olmayan ortamda 130 metre olarak ölçülmüştür. Engelsiz, boş alanlarda bu mesafenin 200 metreye kadar çıkabileceği düşünülmektedir.

Ortaya çıkan ürün, çeşitli amaçlarla kullanılabilir kablosuz haberleşme sistemlerine de kolaylıkla adapte edilebilecek durumdadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] ELEKTROMANYETİK ALANLAR VE HALK SAĞLIĞI
Bilgi Föyü no : 183 Son Gözden Geçirilme Tarihi : Mayıs 1998
- [2] WildPackets Corporation, *Converting Signal Strength Percentage to dBm Values*, November 2002
- [3] Chipcon Products from Texas Instruments, CC1100_Data_Sheet_1_1.pdf, RSSI
- [4] Chipcon Products from Texas Instruments, CC1100_Data_Sheet_1_1.pdf,, Key Features (Subtitle)
- [5] Performance Challenges in Wireless Mesh Networks, Pasi Lassila
Networking Laboratory Helsinki University of Technology, IST Summit,
Helsinki, Nov 23, 2006
- [6] Indoor Localization System Using Wireless Sensor Network Based on ZigBee
Standard, Tomonori Kawazoe, Yoshikazu Ohta, and Masayuki Murata,
Graduate School of Information Science and Technology Osaka University
- [7] On Kepler's First Law, Article, Shailesh Shirali, Rishi Valley School,
Resonance, May 1998
- [8] <http://www.csun.edu/~vceed002/books/sourcebook/chapters/15-geometric-principles/inverse-square.html> (22.03.08)
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna (22.03.08)
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/E-plane> (22.03.08)
- [11] <http://etd.lib.fsu.edu/theses/available/etd-04102004-143656/unrestricted/Chapter2.pdf> (22.03.08)
- [12] http://www.cwc.oulu.fi/home/4_IST_PANU06_PL.pdf (22.03.08)
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_wireless_mesh_networking (22.03.08)
- [14] Wireless mesh networks: a survey, Ian F. Akyildiz, Wudong Wang, Welin Wang
Computer Network, 2005
- [15] Uyum Analizinin Teorik Esasları ve Regresyon Analizi İle Benzerliğinin
Grafiksel Boyutta Karşılaştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler
Dergisi, Sayı:18 Ağustos 2007
- [16] Chipcon Products from Texas Instruments, CC1100_Data_Sheet_1_1.pdf,
Configuration Overview (Subtitle)

EK1. ANTEN SEÇİMİ

Anten basit haliyle elektriksel iletkenidir. Elektromanyetik enerjiyi boşluğa yayarken verici vazifesi, boşluktan elektromanyetik enerjiyi toplarken de alıcı vazifesi görür. Dolayısıyla bir anten aynı zamanda hem alıcı hem verici iletimi için kullanılabilir.

Alınan sinyal şiddeti, elektriksel alan şiddeti olarak ele alınır. Eğer alınan sinyal 15 mV ise ve anten boyu 3metre ise, alan şiddeti $15\text{mV}/3\text{m} = 5\text{mV/m}$ olarak bulunur. Polarizasyon hem alıcı hem verici anteninde aynı olmalıdır.



Şekil Ek1.1 Elektromanyetik Dalga Yayılma Yönü

RF enerjisi boşlukta yayılırken azalır. Yayılabilme mesafesi özellikle anten boyuna bağlıdır. Anten boyu aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$L = \frac{c}{f} k \quad (5)$$

L: Anten boyu, metre

c: Işık Hızı

f: Frekans, Hertz

k: İletken Hız Faktörü (genel olarak %95 kullanılır)

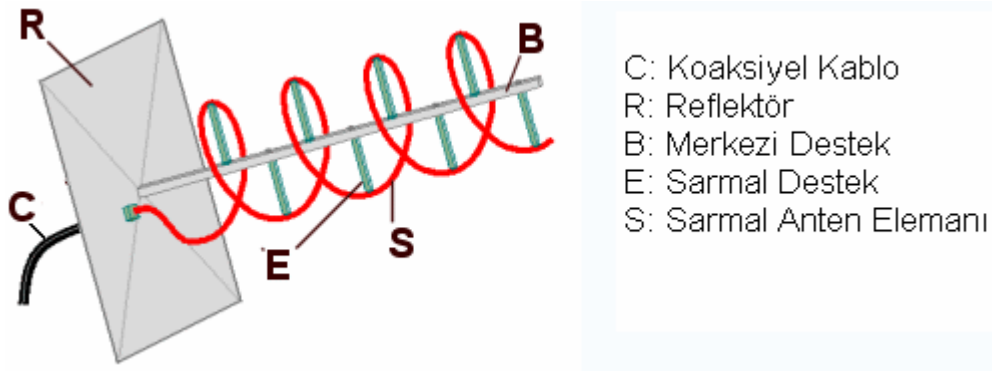
İletimde anten direnci de önem taşır. Örneğin, anten 0.5 W enerji yayıyorsa ve üzerinden maksimum 50mA geçiyorsa, $P = I^2R$ olduğundan, anten direnci 10 ohm olmalıdır. Anten verimini, gönderilen gücün alınan güce oranıyla bulabiliriz.

$$\eta = \frac{P_{iletilen}}{P_{alın}} = \frac{R_r}{R_r + R_l} \quad (6)$$

R_r : Anten direnci. R_l : Kayıp direnç

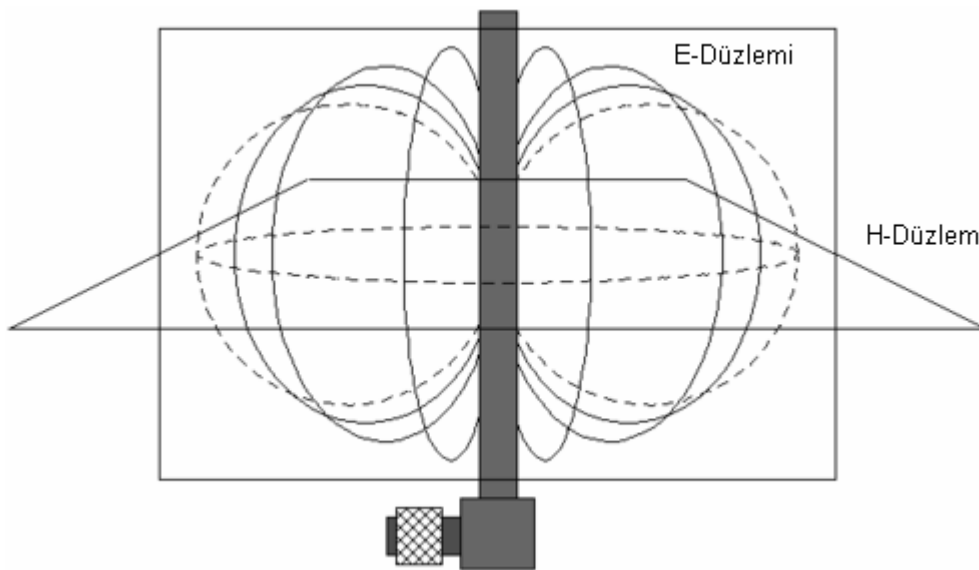
Helezon Anten (Helical Antenna)

Helezon antenler, geniş bant genişliğinde çalışabilmeleri ve kolay üretimleri nedeniyle tercih edilen antenlerdendir. Boyutları (20mm x 4mm) çok küçük olduğundan elektronik kartlara adaptasyonları çok kolaydır.



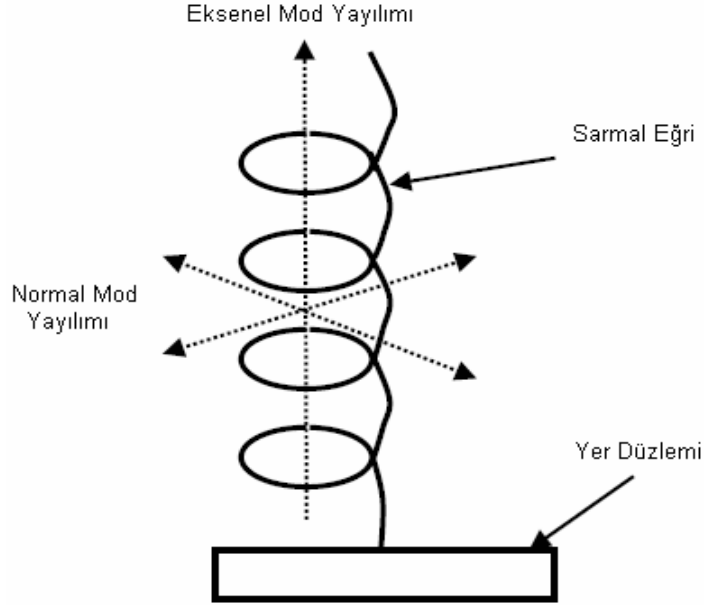
Şekil Ek1.2 Helezon Anten [9]

Anten genel olarak iki moda işlem yapar. Bunlardan biri, elektrik alanının dikey yönde polarizasyonu gösterdiği E düzlemi, normal mod; diğeri ise E-düzlemine dik olan ve manyetik alanı gösteren H-düzlemi, eksenel mod.



Şekil Ek1.3 Helezon Anten & E-Düzlemi & H-Düzlemi [10]

Sarmal çapı dalga boyuna göre çok küçük olursa, anten normal modda çalışır. Eğer çap, dalga boyuna yakın değerde ise anten aksel modda çalışır.



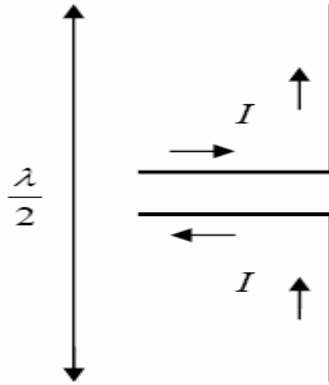
Şekil Ek1.4 Helezon Anten & Eksenel Mod Yayılımı [11]

Eksensel mod normal moda göre daha çok kazanç sağlar ve normal modun neredeyse iki katı bant genişliğine sahiptir.

Yarım Dalga Dipol (Çift Uçlu) Anten (Half Wave Dipole Antenna)

Bu antenlerde anten boyu, dalga boyunun yarısı kadar olduğundan “Yarım Dalga” ismini almıştır. Bu anten ortadan beslenir ve besleme hattının ucundan her iki tarafa çeyrek dalga uzunluğuna sahiptir.

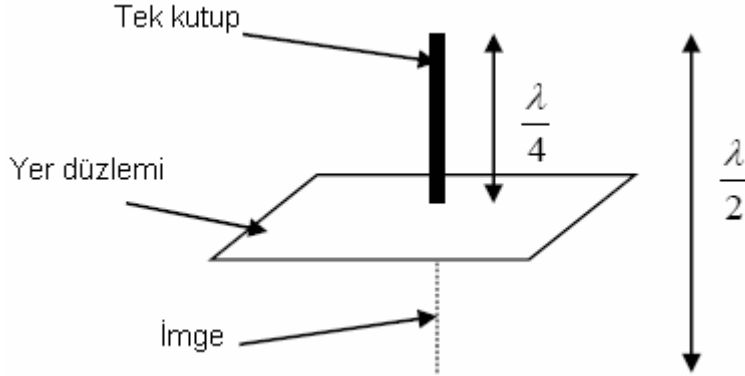
Şekil Ek1.5’te görüldüğü gibi dipolun kollarındaki akımlar aynı yöndedir ve yatay yönde yayılım yaparlar. Dikey yayılım için, dipol, yatay yönde yayılım yapar.



Şekil Ek1.5 Yarım Dalga Dipol Anten [11]

Tek Kutup Anten (Monopole Antenna)

Tek kutup anten, dipole imaj teorisi uygulanması ile elde edilir. Bu teoriye göre, eğer bir iletken düzlem $L/2$ uzunluğunda bir parçanın altına yerleştirilirse, parça ve bunun imgesinin birleşimi L uzunluğunda bir dipol gibi davranır.



Şekil Ek1.6 Tek Kutup Anten [11]

Bu anten tipi, Dipol ile karşılaştırıldığında yayılma direnci yarıya düşer. Tek kutup antenin en basit şekli “Whip” antenlerdir. UHF spektrumunda daha çok bu tip antenler kullanılır.



Şekil Ek1.7 Whip Anten

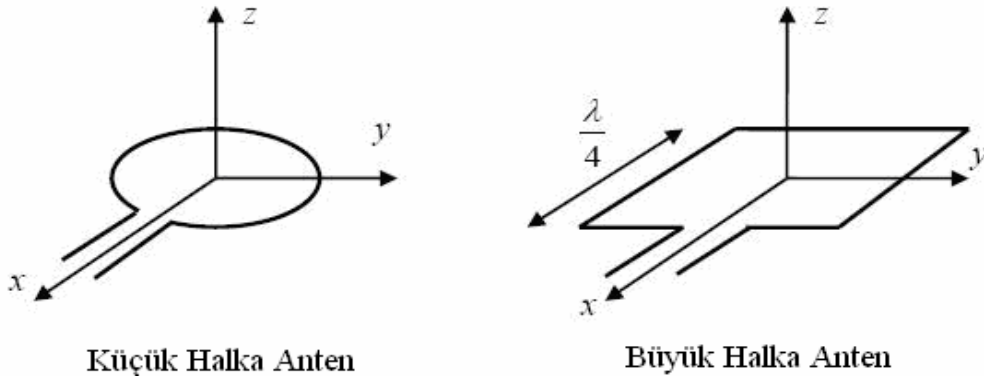
Halka Anten (Loop Antenna)

Halka Anten, kapalı bir eğrinin içine bükülmüş bir iletkendir. Diğer antenlere nazaran daha küçüktür. Antenin içinde birbirlerine göre farklı açılarla yerleşmiş

bobinler vardır. İki tipi vardır; Küçük Dairesel Halka Anteni ve Büyük Karesel Halka Anteni.

Eğer dairesel çevresi dalga uzunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ünden küçükse buna Küçük Halka Anteni denir. Küçük halkaya aynı zamanda manyetik halka da denir. Çünkü elektromanyetik dalganın manyetik elemanlarına fazlasıyla hassastır.

Büyük halka antenler ise dipolun ucundan bir çembere, üçgene yada kareye bağlanması özelliği dışında dipole benzerler. Tipik olarak Büyük Halkanın dairesel çevresi, tam veya yarım dalga boyundan daha büyüktür. Dairesel halkaların diğer büyük halkalara göre kazancı (%10) daha yüksektir.



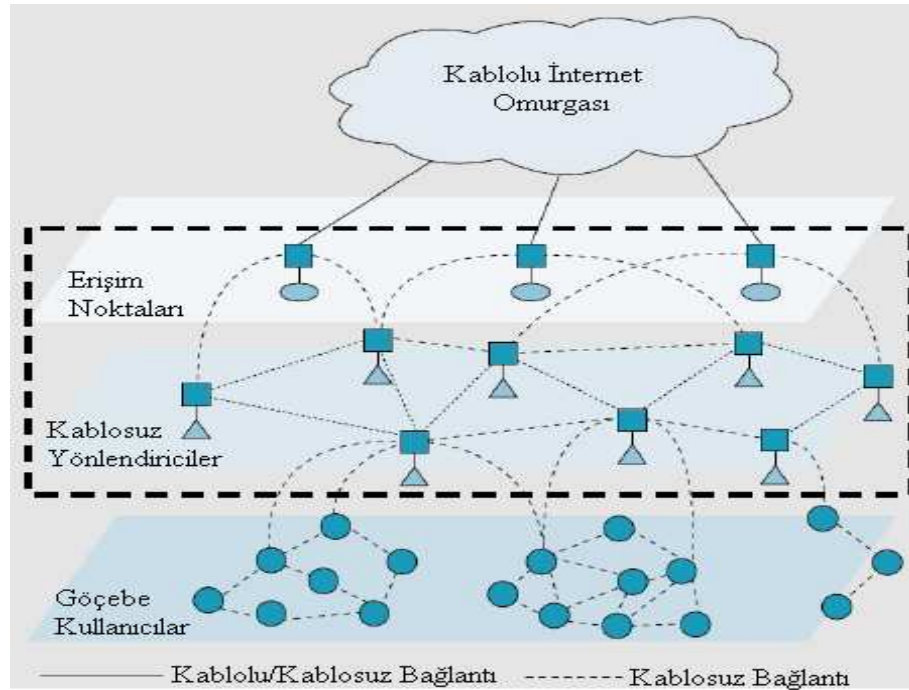
Şekil Ek1.8 Küçük ve Büyük Halka Anten [11]

EK2. KABLOSUZ AĞLAR

Bir veya daha fazla benzer düğümle haberleşebilen düğümleri içeren kablosuz şebeke, kablosuz ağı oluşturur. “Ağ”, tüm düğümlerin birbiriyle bağlanarak oluşturduğu sisteme denir. Şekil Ek2.1 temel bir kablosuz ağ yapısını göstermektedir. Göçebe kullanıcılar, kablosuz yönlendiriciler, erişim noktaları bir ağın temel elemanlarıdır. Ağ, bir veriyi bir yerden başka bir yere daha hızlı göndermemize yardımcı olur. Oluşturulan ağ, sürekli bir bağlantı hizmeti sunarken kopan ya da iptal olan yollar olduğunda hoplama (hopping) yaparak şebekeyi hedef düğümden haber alana kadar tekrar tekrar oluşturur [5].

Ağ üzerinde 2 tane 802.11b düğümü yan yana olsa bile bu düğümler birbirlerine yada diğer düğümlere bilgiyi, erişim noktalarından iletirler. Bir noktadan bir noktaya haberleşme yapılırken, hedef nokta için her zaman yakınlarda bir nokta aranarak hoplama metoduyla erişim sağlanır. Her kullanıcı bir röle noktası gibi davranarak şebeke trafiğini rahatlatır. Çünkü gerektiğinde yol alır gerektiğinde ise bekler.

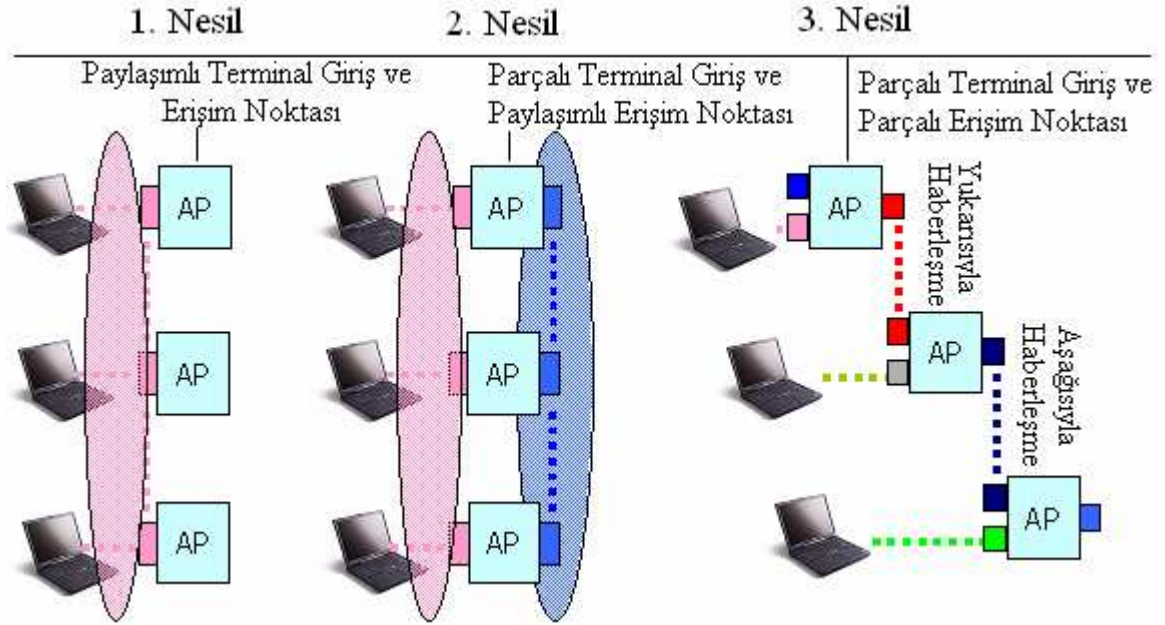
Bir kablosuz ağ 2 tip düğümden oluşur: Ağ Yönlendiricileri ve Ağ terminalleri.



Şekil Ek2.1 Kablosuz Ağ Yapısı [12]

Geleneksel düğümler (desktop PC, laptop, PDA, ...), ancak kablosuz şebeke kartıyla doğrudan ağ yönlendiricisine bağlanabilir. Bu kart olmadan ancak ethernet ile yönlendiriciye bağlanabilirler.

Kablosuz ağ, Şekil Ek2.2’de gösterildiği gibi 3 nesil teknolojiyi kapsar.



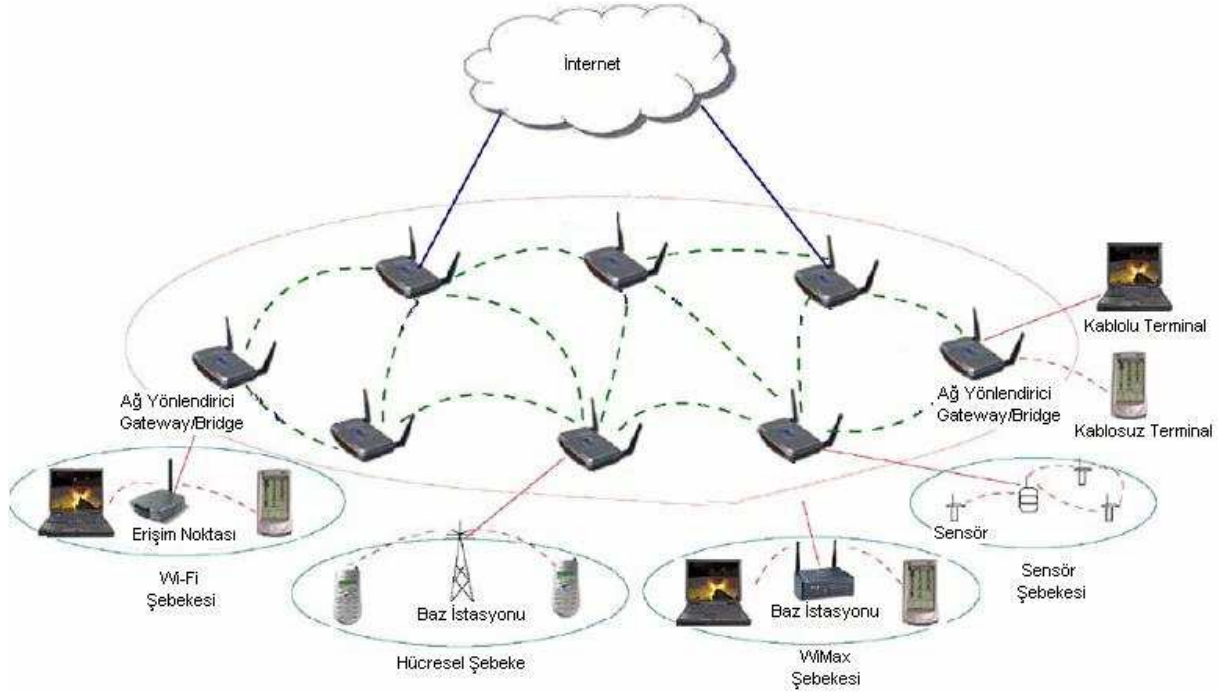
Şekil Ek2.2 3 Nesil Ağ Yapısı [13]

Eski nesil ağlarda düğümden düğüme hoplama özellikleri zayıftı. Ama günümüz yeni nesil şebeke yapılarında bu özellik oldukça gelişmiştir. Şebeke mimarisi için 3 temel yapı vardır. Terminallerin bir altyapısını oluşturan “Kablosuz Ağ Altyapısı”; terminal düğümlerinin gerçek şebekeyi oluşturduğunu ifade eden “Kablosuz Ağ Terminali”; ağ terminallerinin, ağ fonksiyonlarını diğer ağ terminalleri ile gerçekleştirmesini gösteren “Hibrit Kablosuz Ağ”. Bir ağın performansını 3 temel neden etkiler; analitik yaklaşım, protokol, standartlar (802.11 ve 802.16).

Kablosuz Ağ Altyapısı

Bu şebeke, ağ yönlendiricilerinden oluşur; çeşitli radyo teknolojilerinden faydalanır; gelişmiş fonksiyon özellikleri ile internete de bağlanabilir. Geleneksel terminaller için omurgayı sağlar. Aynı radyo teknoloji geleneksel terminallerde ağ

yönlendiricileriyle doğrudan haberleşme yapılabilir. Şekil Ek2.3, bir kablosuz ağda kullanılacak çeşitli eleman ve yapıları göstermektedir.

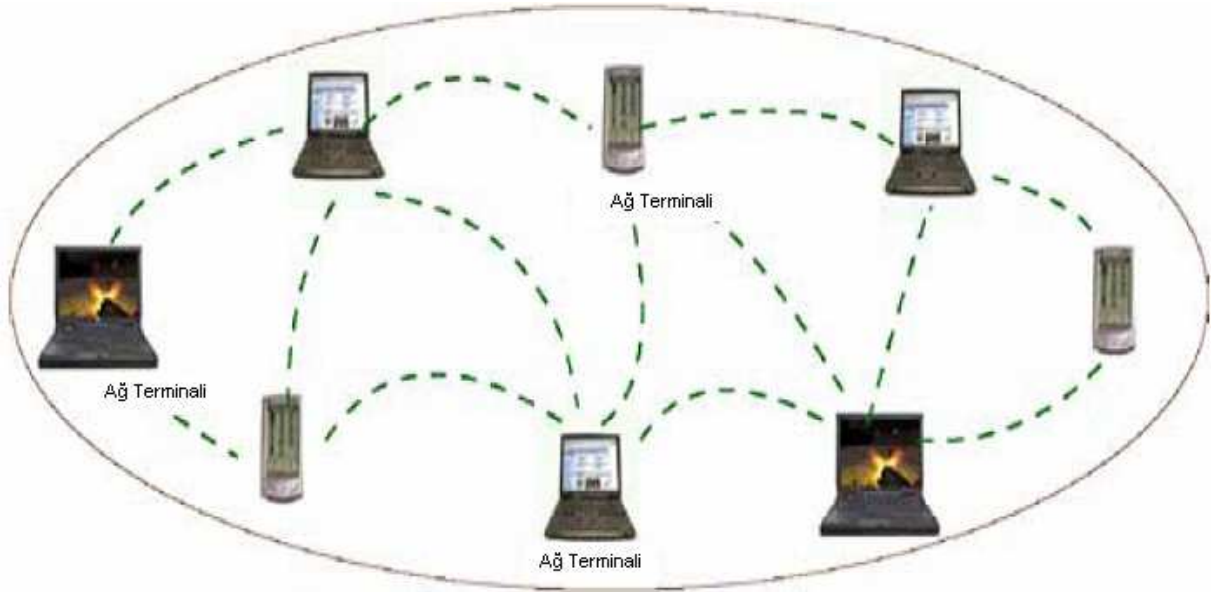


Şekil Ek2.3 Kablosuz Ağ Altyapısı [14]

Eğer farklı radyo teknolojileri kullanılırsa, terminaller, ethernet bağlantısı olan baz istasyonlarıyla haberleşmelidir. Yönlendiricilerde iki çeşit kablosuz haberleşme vardır, omurga haberleşmesi ve kullanıcı haberleşmesi. Omurga haberleşmesi uzak mesafelerde kullanılır.

Kablosuz Ağ Terminali

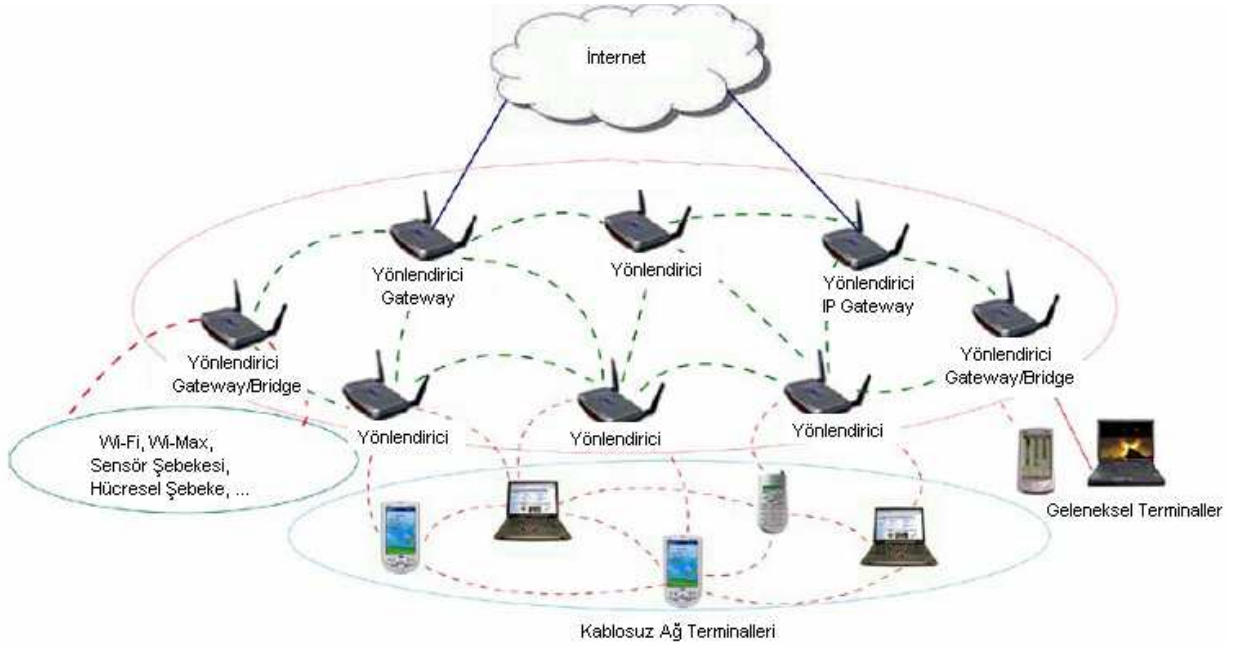
Terminal Şebekesi, terminal cihazlar arasında peer-peer şebeke sağlar. Terminal düğümler gerçek şebekeyi oluşturur. Bu tipteki bir şebeke için bir ağ yönlendiriciye gerek yoktur. Bir paket hedef düğüme gitmek için bir çok düğümden hoplayarak hareket eder.



Şekil Ek2.4 Kablosuz Ağ Terminali [14]

Hibrit Kablosuz Ağı

Bu yapı, altyapı ve terminal ağının birleşiminden oluşur. Ağ terminalleri bir şebekeye yönlendiriciler sayesinde girebilir. Altyapı şebekesi ise diğer şebekelerle bağlantıya imkan sağlar. Bu bağlamda hibrit mimarisi en çok uygulanan sistemdir.



Şekil Ek2.5 Hibrit Kablosuz Ağı [14]