

R
209
368

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ TEKNOLOJİLERLE KAPALI ALANDA
KONUM BELİRLEME**

Matematik Mühendisi Onur YILMAZ

FBE Matematik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Doç Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MTM / 2010

**KABLOSUZ TEKNOLOJİLERLE KAPALI ALANDA
KONUM BELİRLEME**

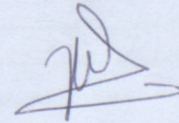
Matematik Mühendisi Onur YILMAZ

FBE Matematik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Doç Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK (YTÜ)



Doc. Dr. R. D. H. TAZU
Prof. Dr. İrfan ŞİAP



İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. KONUM BELİRLEME TEKNİKLERİ	4
2.1 Üçgenleme (Triangulation).....	4
2.1.1 Mesafe Ölçümü (Lateration).....	4
2.1.2 Açı Ölçümü (Angulation).....	5
2.2 Sahne Analizi (Scene Analysis).....	5
2.3 Yakınlık (Proximity).....	6
3. KONUM BELİRLEME ÇÖZÜMLERİ	7
3.1 Basınç Sensörlü Sistemler	7
3.1.1 Smart Floor	7
3.2 Görüntü İşlemeli Sistemler	7
3.2.1 Easy Living	7
3.3 Ultrasonik Sesli Sistemler.....	7
3.3.1 Active Bat	7
3.3.2 Cricket.....	8
3.4 Kızılötesi Sistemler.....	8
3.4.1 Active Badge	8
3.5 RADAR Sistemleri	8
3.6 GPS Sistemleri.....	8
3.7 RFID (Radyo Dalgası) Sistemler	9
3.7.1 SpotON	9
3.7.2 LANDMARC	9
3.7.3 FLEXOR.....	11
3.8 Güncel Gelişmeler	12
3.8.1 Time Domain	12
3.8.2 RF Technologies	12
3.8.3 Ekahau	12
3.8.4 AeroScout	12
3.8.5 WhereNet.....	12
3.8.6 MultiSpectral	13
4. KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ ÖZELLİKLERİ	14

4.1	Fiziksel Konum.....	14
4.2	Sembolik konum.....	14
4.3	Mutlak Sistem.....	14
4.4	İzafi Sistem	14
4.5	Kendinden hesaplama.....	14
4.6	Dışarıdan hesaplama.....	14
4.7	Ölçek.....	14
4.8	Tanıma	14
4.9	Maliyet.....	15
4.10	Sınırlamalar.....	15
5.	RADYO DALGALARI.....	16
5.1	mW ve dBm Birimleri	18
5.2	Alınan Sinyal Şiddeti Göstergesi (The Receive Signal Strength Indicator, RSSI)	20
5.3	Uçuş Zamanı (Time of Flight, TOF)	21
5.4	Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (Radio Frequency Identification, RFID)	21
5.5	Sinyal Şiddetinin Metrik Yüzdeliğinin Kullanılması	22
5.6	Sinyal Şiddeti ve Ters Kare Kanunu	22
5.7	SM Band / Standartlar ve Regülasyonlar	23
6.	IEEE STANDARTLARI ve KABLOSUZ AĞLAR	25
6.1	IEEE Standartları	25
6.2	Kablosuz Ağlar	25
6.2.1	Kablosuz geniş alan ağları (Wireless Wide Area Networks - WWAN).....	27
6.2.2	Kablosuz metropol alan ağları (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN).....	27
6.2.3	Kablosuz yerel alan ağları (Wireless Local Area Networks-WLAN).....	28
6.2.4	Kablosuz kişisel alan ağları (Wireless Personal Area Networks - WPAN)	28
7.	ZIGBEE – IEEE 802.15.4 TEMELLİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI.....	29
7.1	ZigBee Teknolojisi ve IEEE 802.15.4 Standartı	29
7.1.1	IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı.....	30
7.1.2	ZigBee Teknolojisi Teknik Altyapısı	31
7.2	ZigBee Teknolojisinin Endüstride Kullanıldığı Alanlar	35
7.3	Diğer WSN Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması	37
8.	UYGULAMA	39
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	46
	KAYNAKLAR.....	48
	ÖZGEÇMİŞ.....	51

KISALTMA LİSTESİ

BDK(PCB)	Baskılı devre kartı
CCT	Clear Channel Threshold
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DPRS	Department of Protective and Regulatory Services
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPS	Global Positioning System
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IR	Infrared
ISM	Industrial Scientific Medical
LLC	Logical Link Control
LQI	Link Quality Indication
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Networks
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personel Area Networks
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Relative Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indication
RT	Roaming Threshold
RTLS	Real Time Location Systems
TDOA	Time Difference of Arrival
TOF	Time of Flight
UHF	Ultra High Frequency
UPC	Universal Product Code
UWB	Ultra Wideband
WLAN	Wireless Local Area Networks
WSN	Wireless Sensor Network

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Lateration tekniği	4
Şekil 2.2	Angulation tekniği	5
Şekil 3.1	Landmarc öncesi	9
Şekil 3.2	Landmarc sistemi	10
Şekil 3.3	Flexor sistemi	11
Şekil 5.1	İzotropik antenle bulunan alan	18
Şekil 5.2	Sinyal şiddeti ile uzaklık ilişkisi	19
Şekil 5.3	dBm ile mW ilişkisi	20
Şekil 5.4	(A) Ters kare kanunu (B) Sinyal şiddeti etkisi	23
Şekil 5.5	ISM bandları	24
Şekil 6.1	Büyükklüklerine göre kablosuz ağlar	26
Şekil 7.1	ZigBee topolojileri	32
Şekil 7.2	ZigBee protokol yığını	33
Şekil 7.3	Örnek bir ZigBee ağ modeli	35
Şekil 7.4	Kablosuz teknolojiler içerisinde ZigBee'nin yeri	37
Şekil 8.1	Uygulama temel altyapısı	39
Şekil 8.2	Uygulama alanı	40
Şekil 8.3	Baskılı devre kartı (PCB)	41
Şekil 8.4	Mobil etiketler	42
Şekil 8.5	Sabit etiketler	42
Şekil 8.6	RSSI değeri ile mesafe ilişkisi	43
Şekil 8.7	Mobil etiketin bulunduğu alan	44

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Elektromanyetik spektrum	16
Çizelge 5.2 Anten – kazanç değerleri.....	17
Çizelge 5.3 mW - dBm dönüşüm tablosu.....	19
Çizelge 7.1 IEEE 802.15.4 genel karakteristikleri-modülasyon parametreleri	31
Çizelge 7.2 ZigBee ve bazı kablosuz teknolojilerin özelliklerinin karşılaştırılması.	38
Çizelge 8.1 Uygulama mesafe değerleri (t anında)	44

ÖNSÖZ

Kapalı ve özel alanlarda konum belirleme ve değerlendirme sistemleri, sağlıktan turizme, güvenlikten sanayiye kadar birçok sektörde yeni çözümlerin oluşmasını sağlayan, yeni nesil haberleşme teknolojilerini kullanan sistemlerdir.

Konumsal takibin çeşitli iş alanlarında kullanılması, iş süreçlerinin kısaltılması ve yeni iş süreçlerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Özellikle yurtdışında özel ve kapalı alanlarda konum belirleme sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması üzerinde detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Fakat ülkemizde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar, hem akademik hem de ticari anlamda yeterli seviyede değildir.

Ben de tez konumu seçerken bu tarz uygulamaların ülkemizde de yapılabileceğini göstermek ve sonrasında ticari olarak ta kullanabilmeyi amaç edinerek sunulan çalışmayı tamamladım.

Aynı amaçla Okyanus Teknoloji ve TÜBİTAK – TEYDEB (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu - Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı) Destek Programı işbirliğiyle bir Proje Grubu oluşturulmuş ve kablosuz teknolojilerle kapalı alanlarda konum belirleme yapabilen Wipilot adında bir ürün ailesi geliştirilmiştir.

Tezimi gerçekleştirme sürecinde desteklerinden dolayı öncelikle aileme; değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK'e ve Proje İzleyicisi Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Fatih ALAGÖZ'e teşekkür ederim. Ayrıca zor zamanlardaki arkadaşlıkları ve yardımlarından dolayı meslektaşlarım M.Rifat OK'a, Serkan ARSLAN'a ve değerli dostum Burak ÖZER'e de teşekkür ediyorum.

ÖZET

Dış ortam konum belirleme ile kapalı alan konum belirleme sistemlerinden beklenen özellikler farklılık göstermektedir. Kapalı alanlarda konum belirleme sistemlerinden beklenen belli başlı özellikler; hassasiyet, taşınabilirlik, en az kullanıcı müdahalesi şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada hali hazırda yurtdışında kullanılan;

- i) maliyeti yüksek ve gürültülü ortamlarda problem potansiyeli olan ultrasonik çözümlerin;
- ii) hassasiyeti düşük ve güç tüketimi yüksek 802.11 çözümlerinin;
- iii) kurulumu zahmetli ve maliyeti yüksek olan RFID ve UWB çözümlerinin;

dışında, farklı teknolojileri kullanarak bir konum belirleme sistemi geliştirilmiştir. Bu amaçla 802.15.4 ZigBee haberleşme teknolojisini kullanan ve pil tüketiminin en aza indirildiği maliyeti düşük donanımlar ile kapalı alan konum belirleme sistemi oluşturulmuştur. Ayrıca konum bilgilerini değerlendirecek yazılımların, donanımdan bağımsız bir altyapı ile geliştirilmesine imkan verecek ve diğer konum tabanlı sistemlerin entegrasyonuna zemin hazırlayan bir yazılım arakatmanı geliştirilmiştir. Bu yazılım arakatmanı aynı zamanda konum saptama motorunu da barındırmaktadır.

Sinyal şiddeti ile uzaklık arasındaki bağlantının kullanıldığı çalışmada, izlenecek hareketli (mobil) nesne üzerine yerleştirilen donanımlar ile önceden belirlenmiş noktalara yerleştirilen hareketsiz (sabit) alıcılar arasındaki sinyal şiddetleri ölçülmüş ve bu ölçümler kablosuz olarak merkezdeki sisteme iletilmiştir. Merkezde bulunan konum saptama motoru ile de hareketli nesnenin konumu belirlenmiştir.

Geliştirilen sistemin işletim ve kurulum maliyetinin düşüklüğü, personel, araç, hammadde ve ürün gibi her şeye uygulanabilir olması ile sağlık, üretim, inşaat, sanayi ve bakım-onarım sektörlerinde yapılan tüm operasyonlarda yeni iş akışlarının oluşturulmasına, mevcut süreçlerin iyileştirilmesine, hataların önlenmesine, güvenliğin arttırılmasına mutlak bir fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Konum belirleme, kapalı alanda konum, ZigBee, sinyal şiddeti, arakatman

ABSTRACT

There are differences between outdoor location identification systems and indoor location identification systems. The expected features of location identification systems for indoor areas are sensibility, mobility and reduced user interactivity.

In this study, a different location identification system is developed without using those technologies which are presently being managed below :

- i) Ultrasonic solutions that have higher costs and potential problems in noisy environments.
- ii) 802.11 Solutions that have low sensibility and higher power consumption
- iii) RFID and UWB solutions that have inconvenient implementation and higher costs.

For this purpose, an indoor location identification system is created which uses cost effective ZigBee communication technology and hardware equipments that minimize battery consumption. Besides, a software middleware is developed which enables individuals to develop hardware independent applications that evaluate location information. This software middleware is not only easier to integrate with other location based systems but also including location identification engine.

In this study, relationship between signal strength and distance is used. Signal levels between constant receivers which are located to pre-defined fields and mobile object that is intended to be tracked are measured and these measurement results are transferred to the central system without using any cable peripheral. Mobile object's location is identified with the help of central location identification engine.

Because it has low operational and installation costs and because it is applicable to every object such as employee, vehicle, raw-material and product, it is possible to improve existing flows, create new work flows, prevent errors and increase security on health-care, manufacturing, construction, industry and maintenance sectors.

Keywords: Location identification, location in indoor, ZigBee, signal strength, middleware..

1. GİRİŞ

Günümüzde, kablosuz haberleşme ürünlerinin kullanım yoğunluğu oldukça artmıştır. Cep telefonları, telsizler, çağrı cihazları, bilgisayarlar akla ilk gelen ürünlerdir. İnsanların yaşam standardını arttırması ve kolaylaştırması nedeniyle kablosuz haberleşme cihazlarına olan talep, gün geçtikçe artmaktadır. Bu cihazlar, sosyal yaşamda olduğu kadar sağlık, üretim, inşaat, sanayi ve bakım-onarım sektörlerinde de tercih edilmektedir. Son zamanlarda, hasta, işçi ve ürün takipleri, demirbaş sayımı için RF teknolojileri tercih edilmeye başlamıştır. Takip edilmek istenen nesne üzerine etiketlenen pasif RF etiketler, ürünün ortaya çıkması için geçen ilk aşamadan son aşamaya kadar tüm işlemleri kaydeder. Hasta veya işçilerde ise giriş-çıkış yapılan belirli bölgelere ait bilgileri depolar. Bu bilgiler daha sonra çeşitli süreçlerde kullanılır.

Kısa mesafeli pasif RFID teknolojileri, yaklaşık 40 santimetreye kadar olan yakın mesafeli haberleşmeleri içerir. Bu tür sistemler, güçlü 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 ve devam kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerjilenmek ve veriyi aktarmak için gerekli süre nedeniyle belli bir zaman kısıtı olan kısa mesafeli pasif RFID sistemleri yüksek hız gerektiren uygulamalarda kullanılamamaktadır.

Yüksek hızlı RFID uygulamalarında etiketlerin bağımsız bir güç kaynağı bulunur. Böylece daha uzak (20-30 metreye 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 kullanımı bulunan yarı aktif RFID sistemleri olarak adlandırılan bu sistemlerin etiketlerinin üretim maliyeti daha yüksektir ve belirli aralıklarla bakım gerektirirler.

Bazı uygulamalarda da uzak mesafelerde haberleşme yapmak gerekebilir. Özellikle büyük alanlarda onlarca/yüzlerce metre mesafelerde veri alışverişi yapmak gerekebilir. Bu tür gereksinimler için etiketlerin bağımsız enerji kaynağının olduğu tam aktif RFID çözümleri vardır. Farklı üreticilerin uygulamalarında haberleşme mesafesi 300 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 diatermi cihazları (3 - 30 MHz),
- FM telsizler (30 - 300 MHz),
- Seyyar telefonlar, televizyon yayınları, mikrodalga fırınlar, tıbbi diatermi cihazları (0.3 - 3 GHz),
- Radarlar, uydu linkleri, mikrodalga iletişim araç ve gereçleri (3 - 30 GHz)
- Güneş (3 - 300 GHz) (BTK, 1998).

Bunların dışında hali hazırda kullanılan dış ortam konum saptama teknolojileri de bilindiği üzere çok çeşitli iş alanlarında kullanılmaktadır. Elde edilen konum bilgileri çalışılan iş alanına göre değerlendirilerek gerek yeni süreçlerin oluşmasını gerekse mevcut iş süreçlerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Konum saptama teknolojilerinin bilinirliği, kullanımı ve çeşitli yazılım, servis ve ürünlerin geliştirilmesi genellikle dış ortam konum belirleme teknolojileri için oluşmuştur.

GPS teknolojisinin yaygınlaşması, ulaşımdan, taşımacılığa, acil müdahaleden, konum bazlı diğer tüm çalışmalara kadar geniş bir yelpazede yeni iş süreçleri oluşturmuştur. Benzer şekilde GSM bazlı konum saptama teknolojilerinin yaygınlaşması da, daha çok bireysel çözümlerde yerini bulmuş, zaman zaman sektörel bazda da farklı ihtiyaçlara cevap veren iş süreçlerinin oluşturulmasını sağlamıştır. Bilindiği gibi, GPS veya GSM bazlı dış ortam konum belirleme teknolojilerinin kullanımı kapalı alanlarda yeteri kadar hassasiyette sonuç vermemekte hatta kullanılamamaktadır. Bu durumun en önemli sebebi, iç ortam ile dış ortam koşullarının ve iş ihtiyaçlarının tamamen farklı olması ve bu teknolojilerin dış ortam için geliştirilmiş olmasıdır.

Bu çalışmada kapalı alanlarda, takip edilmek istenen nesnenin konumunu saptayabilmek için yukarıda bahsedilen mevcut sistemlerin artıları ve eksileri değerlendirilerek ortaya yeni bir ürün ailesi çıkarılmıştır. Bu çalışma ile örneğin bir işletmedeki personelin aracının nerede olduğunun bulunması, işletme içinde dolaşan araçların anlık ve belirli bir zaman aralığındaki konumlarının saptanması, kritik görev yapan bir personelin nerede olduğunun öğrenilmesi gibi bilgiler elde edilebilecektir.

Çalışmada izlenecek nesne veya kişi üzerine bir donanım yerleştirilmektedir. Bu donanım çalışmanın kapsamında 802.15.4 ZigBee iletişim teknolojisini kullanmaktadır. Bu donanım güç ihtiyacını üzerindeki pil ile sağlamaktadır. Belirli sürelerle kimlik bilgisini göndermektedir. Konum belirleme yapılacak alana yerleştirilen sabit alıcılar gelen kimlik numaraları ve sinyal seviyelerini toplamakta ve bir merkez sunucuya iletmektedir. Bu sinyal

seviyeleri çözümlenerek konum bilgilerine dönüştürülmektedir. Konum bilgileri ise bulanık mantık motorundan süzülerek anlamlı sözel bilgilere dönüştürülmektedir. Konum bilgileri aynı zamanda grafik motoruna gönderilerek kullanıcı için grafiksel ve 3 boyutlu bir sunuma dönüştürülmektedir (Tübitak, 2007).

2. KONUM BELİRLEME TEKNİKLERİ

Konum belirlemede yararlanılan teknikler üçe ayrılır:

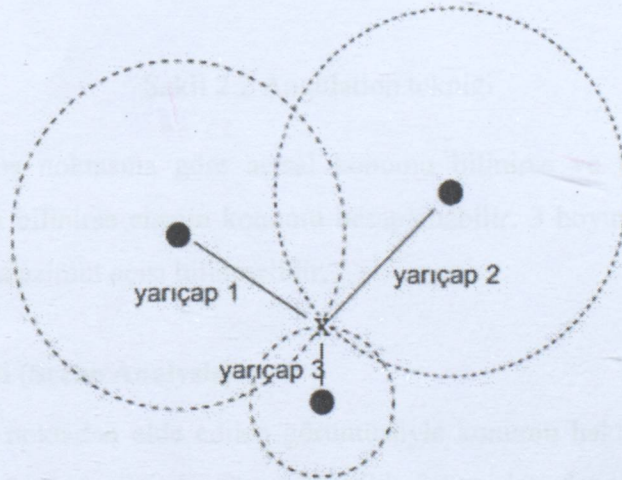
2.1 Üçgenleme (Triangulation)

Bu teknik sayesinde üçgenlerin geometrik özelliklerini kullanarak konum hesaplaması yapılabilir. Kendi içerisinde ikiye ayrılır.

2.1.1 Mesafe Ölçümü (Lateration)

Sadece uzaklık ölçümleri göz önünde tutulan teknik "lateration" diye adlandırılır. Uzaklık ölçümü de üç şekilde yapılabilir:

- Doğrudan,
- Gidiş - geliş zamanından,
- Sinyal şiddetinin değişiminden.

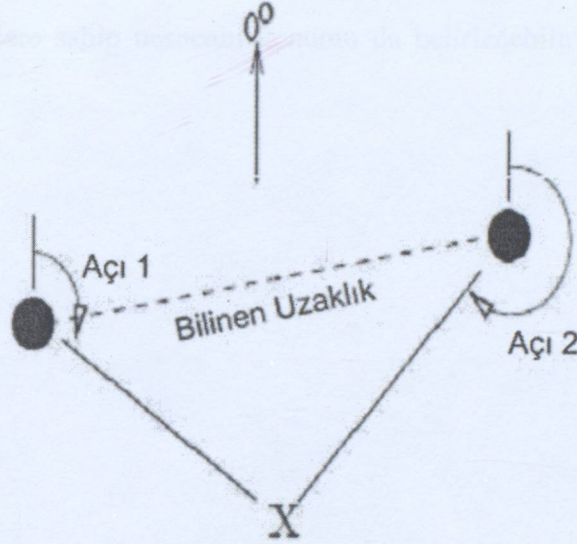


Şekil 2.1 Lateration tekniği

Bir cismin 3 referans noktasına uzaklığı biliniirse bu cismin konumu bulunabilir. 3 boyutlu uzayda tam konum bulabilmek için minimum 4 adet referansa ihtiyaç vardır.

2.1.2 Açı Ölçümü (Angulation)

Uzaklık bilgisinin yanında açı ölçümlerinden de yararlanılan teknik “angulation” olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 Angulation tekniği

Bir cismin 2 referans noktasına göre açısal konumu bilinirse ve bu 2 referans noktası arasındaki uzaklık da bilinirse cismin konumu hesaplanabilir. 3 boyutlu uzayda tam konum bulabilmek için ayrıca azimut açısı bilinmelidir.

2.2 Sahne Analizi (Scene Analysis)

İzlenen nesnenin bir noktadan elde edilen görüntüsüyle konumu hakkında bilgi edinebilme tekniğidir. Statik görüntü analizinde nesne özellikleri önceden depolanmıştır. Diferansiyel görüntü analizi ise ardışık görüntülerin farkından nesnenin konum değişikliği hakkında bilgi çıkarılmasını sağlar. Nesnenin konumu pasif gözlemlerin sonucu ortaya çıkar, mahremiyetin tehlikeye düştüğü ve çok enerji gerektiren uzaklık ve açı ölçümü gibi teknikler kullanılmaz. Nesnenin bulunduğu ortama ait bilgiler daha önceden elde edilmiş olmalıdır. “Scene” kavramı görüntü veya bir nesnenin elektromanyetik karakteristikleri olabilir.

Örnek: Microsoft Research Radar konumlama sistemi

2.3 Yakınlık (Proximity)

Bir nesnenin konumunu daha önceden bilinen konumlara göre tespit edebilme tekniğidir. Basınç ve dokunma sensörleri kullanılarak fiziksel temas ile konum belirlenebilir. Diğer bir yöntem olarak, nesnenin konumu içine dahil olduğu hücrelerin erişim noktalarının konumuna göre belirlenebilir. Ayrıca UPC ürün kodları veya ID etiketlerini okuyan aletin konumu biliniyorsa bu etiketlere sahip nesnenin konumu da belirlenebilir (Hightower ve Borriello, 2001).

3. KONUM BELİRLEME ÇÖZÜMLERİ

Günümüzde kapalı alan konum belirlemede kullanılan çeşitli çözümler mevcuttur. Bu çözümleri, teknolojilerine, kullanım alanlarına göre sınıflandırmak mümkündür. Teknolojik olarak sınıflandırıldığında ölçümde yayımlanan dalga'nın türüne ya da ölçüm tekniğine göre sınıflandırma yapılabilir.

Yayımlı hızı, kırılma, yansıma gibi kavramlar tüm dalga türlerinde bulunmaktadır ve bu kavramlarla birlikte kapsama menzili, uygun band genişliği, kanuni sınırlamalar, girişim, güç kısıtları, güvenlik ve teknoloji maliyeti gibi konular da bu çözümün geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Kapalı alan konum belirleme sistemlerini kullandıkları teknolojilere sınıflandırabiliriz (D'Roza ve Bilchev, 2003).

3.1 Basınç Sensörlü Sistemler

3.1.1 Smart Floor

Bu sistemde basınç sensörleri zemine yerleştirilmiştir. Hareketli nesneler etiket veya rozet benzeri materyaller taşımak zorunda değildirler. Ancak ölçeklenebilirlik bakımından zayıf ve maliyet bakımından dezavantajlıdır.

3.2 Görüntü İşlemeli Sistemler

3.2.1 Easy Living

Gerçek zamanlı 3 boyutlu görüntülü kameralar vasıtasıyla stereo-görüntü elde edilip işlenerek nesnelerin konumları hakkında bilgi edinilebilir. Bu sistemde ölçeklenebilirlik genellikle zor bir şekilde gerçekleştirilir.

3.3 Ultrasonik Sesli Sistemler

Düşük yayılım hızı sayesinde hassas ölçümler yapılabilir. Fakat taşınabilirlik, ve sabit noktaların maliyetlendirilmesi açısından olumsuz yönleri de vardır.

3.3.1 Active Bat

Bu sistemde her nesne bir etiket taşır ve tavanda bulunan alıcılar ultrasonik uçuş zamanı temelli "lateration" ile konum hesaplar. 9 cm'ye kadar doğru konumlama %95 kesinlikle gerçekleştirilir. Sistemi kullanabilmek için tavana ultrasonik alıcıların yerleştirilmiş olması gerekir ki bu da oldukça maliyetlidir.

3.3.2 Cricket

Active Bat'den farklı olarak alıcılar nesnelerin üzerindedir ve her nesne kendi konumunu hesaplayabilir. 120cmX120cm'lik bir alan tanımlanabilir. Avantajı mahremiyeti koruması, dezavantajı ise alıcıları dolayısıyla hesaplama yükünü nesneye bırakmış olmasıdır.

3.4 Kızılötesi Sistemler

Kızılötesi sistemler uzun dalga boylu radyasyon statüsüne girmekte ve duvar, eşya ve diğer nesneler tarafından bloke edilmektedir. Ayrıca ölçüm ve değerlendirme donanımları karmaşık ve pil tüketimi yüksek olabilmektedir.

3.4.1 Active Badge

Her nesne belli periyotlarla tek bir ID yayınlayan rozetlere sahiptir. Yayınlanan bu ID sabit kızılötesi alıcılar vasıtasıyla alınır ve merkezi sistem tarafından bir araya getirilen bu veriler sayesinde konum belirlenir. Güneş ışığından gelen kızılötesi ışınların yaptığı parazit bu tekniğin doğruluğunu azaltır. Konumu belirlenecek nesne ile görüş hattı olması gereklidir.

3.5 RADAR Sistemleri

Kablosuz aletlerin gönderdiği sinyallerin gücü ve S/N oranı bilgilerinden 2 boyutlu konum hesaplaması yapılır. Az sayıda baz istasyonu gereksinimi ve binaya ait var olan kablosuz ağ teknoloji altyapısının kullanılabilir olması avantajlarıdır. Ancak nesnenin kablosuz LAN desteklemesi lazım ki güç sınırlaması olan küçük aletlerde bu çok zordur. Ayrıca çok katlı binalarda veya 3 boyutlu konum hesaplamasında başarısızdır. Bu sistemlerde 3 metre ile 4.3 metre arasında bir doğruluk %50 kesinlikle elde edilir.

3.6 GPS Sistemleri

Dünya çevresinde 24 adet GPS uydusu vardır. Her nesnede bu uydulardan gelen mikrodalga sinyallerini toplayacak alıcılar mevcuttur. Uydudan gelen sinyalin içeriğinde yollandığı saat bulunur ve alıcı bu sayede sinyalin aldığı yolu yani uyduya olan uzaklığını hesaplar. Minimum 4 adet uydudan gelen sinyali birleştirip "triangulation" tekniği ile nesnenin 3 boyutlu konumunu hesaplar. Daha fazla uydudan gelen sinyali kullanarak hata oranını düşürürler. 1 metre ile 5 metre arasında doğruluğa %95 -%99 kesinlikle ulaşılır. Ancak kapalı ve özel alanlara bu sinyaller giremediği için bu alanlarda kullanılamazlar.

3.7 RFID (Radyo Dalgası) Sistemler

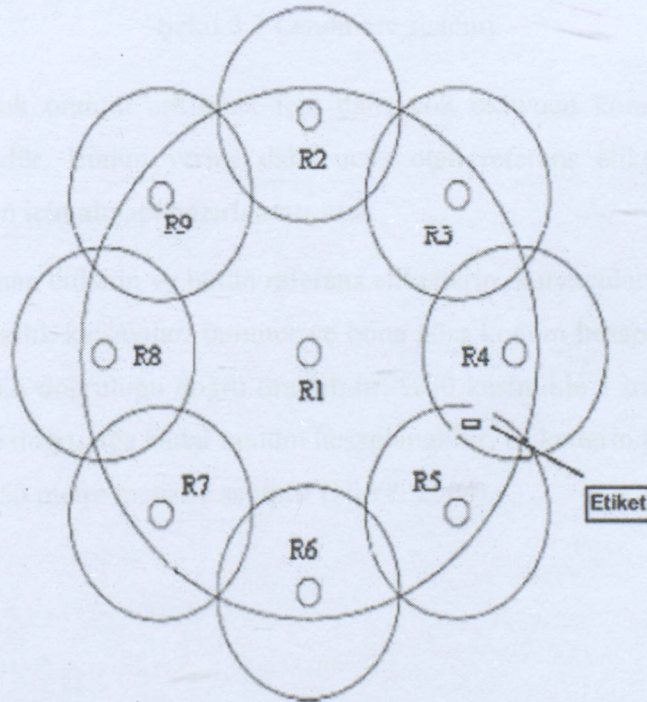
Radyo Dalgası kullanan sistemlerde sinyal yayılımından hareketle varış zamanı belirlenerek veya sinyal gücünden hareketle doğrudan tahmini mesafeyi bulma prensiplerine göre sistemler geliştirilmektedir (D'Roza ve Bilchev, 2003).

3.7.1 SpotON

Radyo sinyal güç analizi tekniği kullanılarak geliştirilen 3 boyutlu konum belirleme sistemidir. Birçok baz istasyonundan RSS değerleri vasıtasıyla elde edilen uzaklık değerleri merkez sunucu tarafından bir araya getirilip nesnenin konumu "triangulation" metodu ile hesaplanır. SpotON etiketlerinin maliyeti 30-40\$ civarındadır. Etiketlerde bulunan lityum pillerinin ömrü 10 saattir. Bu teknik kullanılarak 1 metre küp hacim doğruluğuna kadar konum belirleme yapılabilir (Borriello vd., 2001).

3.7.2 LANDMARC

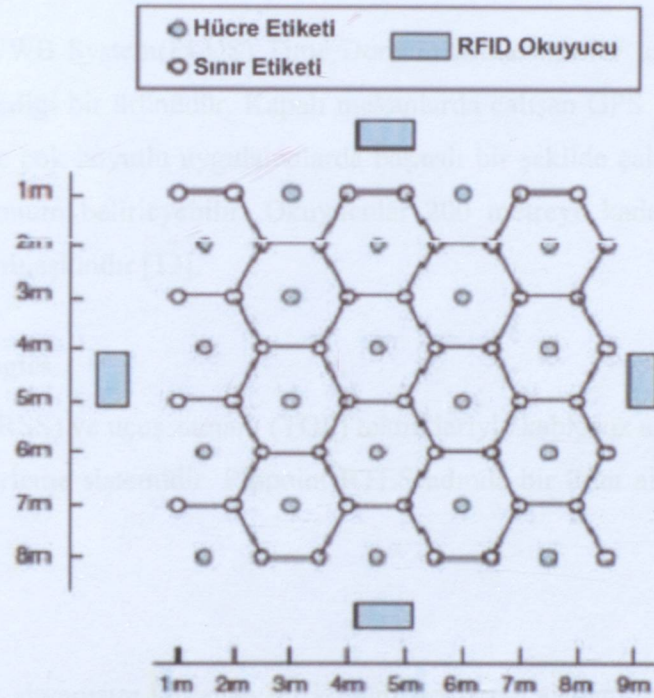
RFID teknolojisine dayalı olan bir kapalı alan konum belirleme sistemidir. Kullanıcı etiketlerinin maliyetinin düşük, küçük boyutta olması bir avantajdır. Ancak okuyucular maliyetli ve sistemin kurulum süreci uzun ve zahmetlidir. Uygulaması şu şekildedir;



Şekil 3.1 Landmarc öncesi

3.7.3 FLEXOR

LANDMARC'ın geliştirilmiş versiyonu olup hücresel bölgelendirmeden faydalanılmıştır.



Şekil 3.3 Flexor sistemi

Flexible Localization EXploits Rfid'nin kısaltmasıdır. Bazı uygulamalarda nesnenin bulunduğu koordinattan çok bulunduğu bölge önemlidir. LANDMARC, bu gibi uygulamalar için esneklik bakımından yoksun olduğundan bu teknik geliştirilmiştir.

Bölge altıgen hücrelere ayrılmıştır, her hücrenin ortasında “hücre etiketi” ile altı köşesinde “sınır etiketi” bulunur. İki çalışma modu vardır:

- **Bölge modu:**

Bu modda konum hesaplamak için sadece hücre etiketi gerekir. Sadece hücre etiketleri ile hesaplama yapıldığından LANDMARC'a göre daha avantajlıdır.

- **Koordinat modu:**

Bu mod için hücre etiketi ve iki sınır etiketi gereklidir. Diğer modda olduğu gibi önce bütün hücre etiketleriyle daha sonra da sadece o hücreye ait sınır etiketleriyle hesaplama yapıldığından yine LANDMARC'tan daha avantajlıdır.

LANDMARC ile aynı doğruluğa daha az hesaplama yaparak ulaşabilir (Sue vd., 2006)

3.8 Güncel Gelişmeler

3.8.1 Time Domain

Precision Location UWB System(PLUS) Time Domain firmasının RF teknolojisi kullanarak nesne konumu belirlediği bir üründür. Kapalı mekanlarda çalışan GPS gibi düşünülebilir. 1 boyutlu, 2 boyutlu ve çok boyutlu uygulamalarda başarılı bir şekilde çalışır. 30 cm'ye kadar doğru bir şekilde konum belirleyebilir. Okuyucular 200 metreye kadar okuma menziline sahiptir. Pil ömrü 5 yılı aşkındır [13].

3.8.2 RF Technologies

Bağlı sinyal şiddeti (RSS) ve uçuş zamanı (TOF) teknikleriyle kablosuz ağ (Wi-Fi) altyapısını kullanan konum belirleme sistemidir. Pinpoint RTLS adında bir ürün ailesi olarak piyasada yer almaktadır [11].

3.8.3 Ekahau

Kablosuz ağ (Wi-Fi) altyapısını kullanan bir konum belirleme sistemidir. Firma ile aynı adı taşıyan bir ürün ailesi ile piyasada yer almaktadır. Nortel Networks ve Siemens gibi büyük şirketler Ekahau'yu fiyat, teknoloji ve ürün kalitesi bakımından en iyisi olarak seçtiler. Konum belirlemeyi 1 – 3 metre doğrulukla yapabilmektedir [12].

3.8.4 AeroScout

Radyo sinyalleri arası zaman farkı (TDOA) ve sinyal şiddeti (RSSI) metodları ile Wi-Fi temelli konum belirleme sistemidir. 3 veya daha fazla alıcının, aynı vericiden aldıkları sinyaller arasındaki zaman farkını ve bu sinyallerin şiddetlerini kullanarak konum belirleme yapmaktadır. Diğerlerinde olduğu gibi konum belirlemede doğruluk ve kesinlik değerleri çevre şartlarına göre değişkendir [1].

3.8.5 WhereNet

AeroScout'a benzer şekilde radyo sinyalleri arası zaman farkı (TDOA) yöntemini kullanarak konum belirleme yapmaktadır. WhereTag IV adlı ürün 7,5 metre doğruluğa kadar konum belirleme gerçekleştirebilir. Kapalı alanlarda 100 metre, açık alanlarda 1000 metreye kadar okuma ve konum belirleme menziline sahiptir. Pil ömrü 7 yıldan fazladır [15].

3.8.6 MultiSpectral

Geniş band (UWB) teknolojisi kullanarak konum belirleme yapmaktadır. UWB (Ultra Wide Band) tekniği ev ağlarında geniş bant iletişimi sırasında kullanılan Wi-Fi nin açıklarını doldurmaktadır. UWB hizmeti örneğin video kamera, televizyon ve bilgisayar gibi aygıtlar arasında hareketli görüntülerin kablosuz olarak aktarılması için kullanılmaktadır.

Kapalı alanlarda 50 metre ve açık alanlarda 200 metre okuma menzili vardır. Konum belirlemede çözünürlük 10cm - 30cm civarındadır. Pil ömrü 10 yılı aşındır [10].

4. KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ ÖZELLİKLERİ

4.1 Fiziksel Konum

Nesnenin dünya üzerindeki koordinatları veya yeryüzünden yüksekliği gibi (Örneğin: GPS)

4.2 Sembolik konum

Bir nesnenin bilinen yerlere göre konumu (Örneğin: mutfakta, İstanbul'a gelen trende gibi)

4.3 Mutlak Sistem

Bütün alıcılar aynı referansları kullanarak konum belirler. (Örneğin: GPS)

4.4 İzafi Sistem

Her alıcı kendi sahip olduğu referansa göre nesnenin konumunu bildirir. (Örneğin: kurtarma ekipleri – kayıp)

4.5 Kendinden hesaplama

Bazı sistemlerde konum belirleme sırasında yapılacak hesaplamalar konumu belirlenen nesne tarafından yapılır. (Örneğin: GPS)

4.6 Dışarıdan hesaplama

Konum belirleme için yapılan hesaplama dışarıdan altyapı tarafından yapılır. Az güç gerekir fakat mahremiyet tehlikesindedir. (Örneğin: RFID)

4.7 Ölçek

Belli zaman aralığında birim altyapının konumunu belirleyebildiği nesne sayısıdır. GPS sınırsız alıcılara hizmet verebilirken bazı etiket okuyucular birden fazla etiketi aynı anda okuyamazlar. Ölçeği arttırmayı engelleyen etmenler altyapı maliyetinin yanında özel yazılımın karmaşıklığıdır.

4.8 Tanıma

Konumu belirlenen nesnenin kimliğini de tanımlayabilmedir. GPS uyduları bu özelliğe sahip değil iken ID tabanlı nesne konumlama sistemleri aynı zamanda kimlik tanımlama gerçekleştirebilir.

4.9 Maliyet

Zaman maliyeti kurulum için geçen zaman, yer maliyeti altyapının miktarı ve kullanılan donanımın ölçüğü, sermaye maliyeti ise birim altyapının fiyatıdır.

4.10 Sınırlamalar

Bazı sistemler iç yapılarda kullanılamazlar. (Örneğin: GPS) Bazı etiket okuyucular birden fazla etiketi aynı anda okuyamazlar. Bazı durumlarda aynı frekans bandını paylaşan sistemler parazit nedeniyle kullanışsız hale gelirler (Hahnel vd., 2004).

5. RADYO DALGALARI

Günümüzde iletişimde yaygın olarak kullanılan radyo dalgaları genellikle 100 KHz ile 100 Hz arasında dağılım gösterirler. Bu dağılım Çizelge 5.1'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 mantıklı değildir. Uzak mesafeler için dalga zayıf kaldığından UHF, kapalı alanlarda daha iyi performans verir. UHF için 315, 433, 868 Mhz serbest frekanslardır.

Çizelge 5.1 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 ve yüzde ölçüm. Tüm ölçümler birbiriyle ilişkili olduğu için bir ölçüm biriminin diğerine dönüştürülmesi mümkündür (WildPackets Corporation, 2002).

Radyo dalgalarının uzay boşluğunda yayılım hızları ışık hızı (c) olan 300,000 km/sn eşittir. Bu hız, konektör, kablo gibi iletkenler üzerinde çok düşük bir miktarda düşebilir. Radyo dalgalarının dalga boyu bu bilgi sayesinde (5.1) de ki formül ile bulunabilir.

$$\lambda[m] = \frac{C[m]}{f[Hz]}$$

λ (lambda) = Dalga boyu (m)

(5.1)

f = Frekans (Hz)

C = Radyo dalga hızı (3×10^8)

Kablosuz bir cihaz ile iletişim kurabilmek için bulunulan noktaya ilgili radyo dalgalarının ulaşması gereklidir. Her ne kadar radyo dalgalarının o noktada bulunup bulunmaması yayın yapan antenin uzaklığı ile ilgili olsa da, radyo dalgalarının gücü ve tespiti aslında o noktadaki elektriksel alanın yoğunluğu ile ilgilidir.

Radyo dalgalarının ilerlemesinin anlaşılabilmesi için, başlama noktasında sanal bir referans anten olduğu kabul edilir. Bu teorik antene izotropik anten denir. Bu, uzay boşluğunda, her yönde eşit miktarda yayılım yapan sanal bir kaynak olarak kabul edilir.

Şekil 5.1’de de görüleceği üzere, $P[W]$ gücünü izotropik bir antenle yayın yapan bir kaynaktan $D[m]$ kadar uzakta “bulunulan alanda” güç yoğunluğu $P_D[W/m^2]$ ile ifade edilir ve (5.2) formülü ile hesaplanır.

$$P_D = \frac{P}{4\pi D^2} \quad (5.2)$$

Bununla birlikte aynı bölgedeki elektriksel alan yoğunluğu $E[V/m]$ ile ifade edilir ve (5.3) formülü ile hesaplanır.

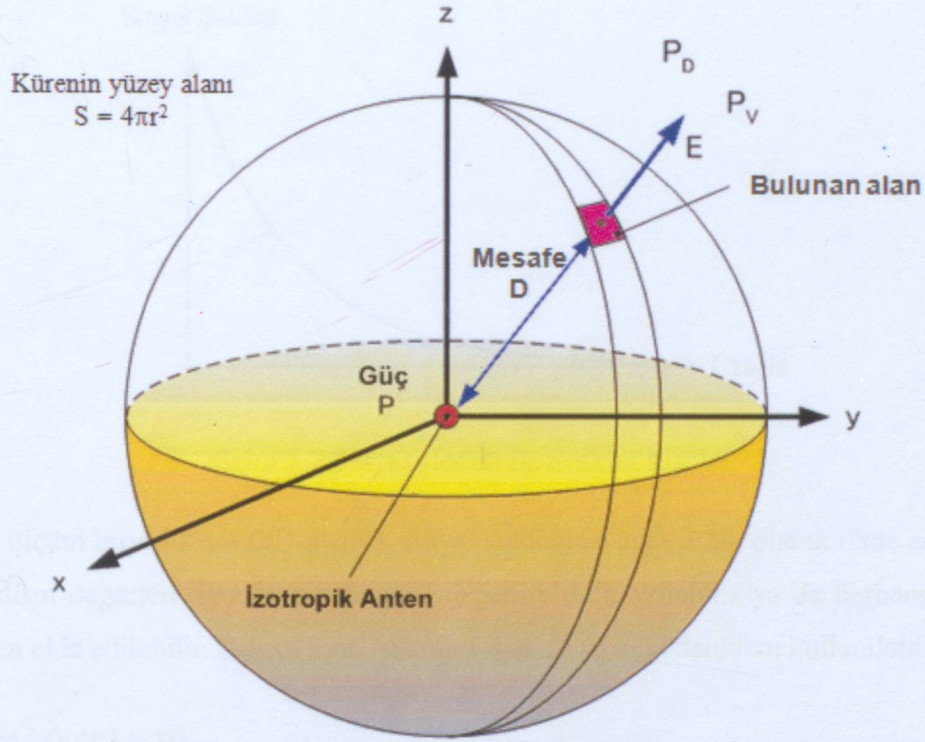
$$E = \frac{\sqrt{30P}}{D} \quad (5.3)$$

Aynı bölgedeki elektriksel alan yoğunluğu kazancı G_i olan bir anten ile tespit edilmeye çalışıldığında formül (5.4)’de ki gibi değişmektedir. Formülde G_i değeri olarak antenin dBi cinsinden değil gerçek değeri kullanılmalıdır. Bu değerlere örnekler Çizelge 5.2’de verilmiştir [14].

$$E = \frac{\sqrt{30PG_i}}{D} [V/m] \quad (5.4)$$

Çizelge 5.2 Anten – kazanç değerleri

Anten Çeşidi	Gerçek Kazanç	
	Gerçek Değer G_i	Desibel Değeri
İzotropik	1	0
Dipole	1.5	1.76
$\lambda / 2$ Dipole	1.64	2.15
$\lambda / 4$ Monopole	3.28	5.15



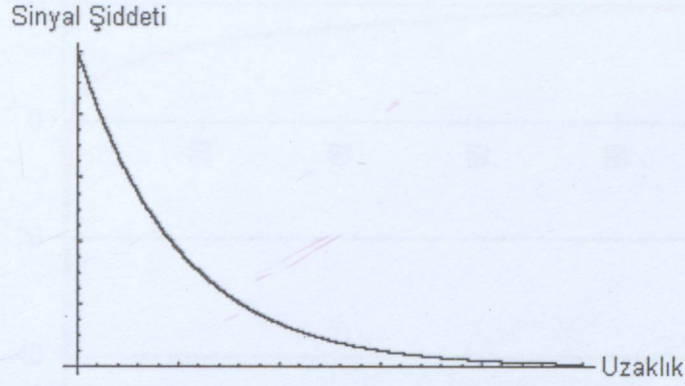
Şekil 5.1 İzotropik antenle bulunan alan

5.1 mW ve dBm Birimleri

mW sinyal şiddeti, ortama yayılan elektromanyetik dalganın toplam gücünü gösterir. Tipik olarak kablosuz erişim noktalarının (wireless access point) 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 (5.5) ile gösterilebilir.

$$\frac{SS_1}{SS_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (5.5)$$

Sinyal şiddeti ile uzaklık arasındaki ilişki Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Uzaklık arttıkça sinyal şiddeti anlamlı bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 5.2 Sinyal şiddeti ile uzaklık ilişkisi

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, (5.6) deki denklem kullanılabilir.

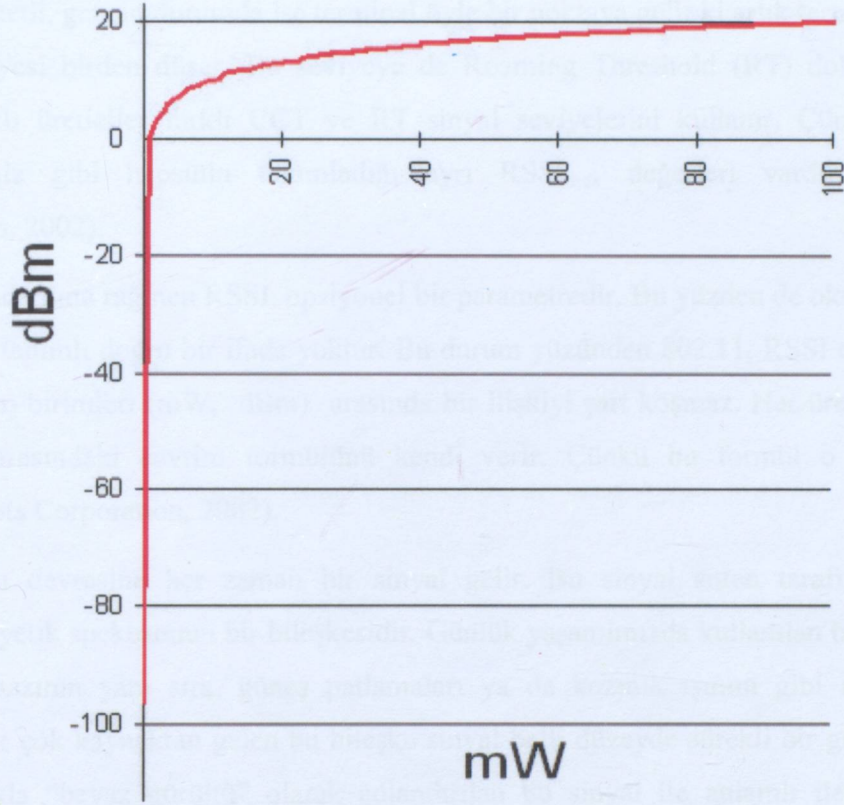
$$dBm = \log_{10}(mW) \times 10 \quad (5.6)$$

Çizelge 5.3'de farklı güç değerlerinin dBm cinsinden karşılıkları listelenmektedir. 20 dBm için mW değeri kolay ifade edilirken -96 dBm için mW değeri çok zor ifade edilir.

Çizelge 5.3 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 5.3'de mW ile dBm arasındaki ilişki gösterilmektedir. 0 dBm altındaki değerlerde mW değerinin gösterimi oldukça zorlaşmaktadır [4].



Şekil 5.3 dBm ile mW ilişkisi

5.2 Alınan Sinyal Şiddeti Göstergesi (The Receive Signal Strength Indicator, RSSI)

Bir radyo sinyalinin cihaz üzerinde algılanan gücüdür. IEEE 802.11 standardı, devre sistemi ile ölçülen RF enerjiyi 0-255 aralığında bir sayı olarak tanımlamıştır. Bu değer 1 byte olarak ifade edilir. Ancak her üretici firma, RF enerjiyi belirtmek için 256 farklı değer kullanmaz. Örneğin; bilgisayar piyasası için düşünürsek, 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 ya da 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 (WildPackets Corporation, 2002).

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 (WildPackets Corporation, 2002).

Sinyal alıcı devresine her zaman bir sinyal gelir. Bu sinyal anten tarafından toplanan elektromanyetik spektrumun bir bileşkesidir. Günlük yaşamımızda kullanılan birçok kablosuz iletişim cihazının yanı sıra, güneş patlamaları ya da kozmik ışınlam 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 -96 dBm’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 (WildPackets Corporation, 2002; [2]).

5.3 Uçuş Zamanı (Time of Flight, TOF)

Bir radyo sinyalinin verici tarafından ortama yayıldıktan sonra ulaşacağı alıcıya gidip, bu noktadan bir onay sinyali olarak vericiye tekrar dönmesi için geçen süreyi ifade eder. Kullanılan ürüne veya sisteme göre farklı değerler üretir. Metrik değere çevirme işlemleri ürüne ve sisteme özeldir.

5.4 Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (Radio Frequency Identification, RFID)

(RFID) teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesneleri 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 istenen ilgili bilgiler otomatik olarak kaydedilebilir veya değiştirilebilir.

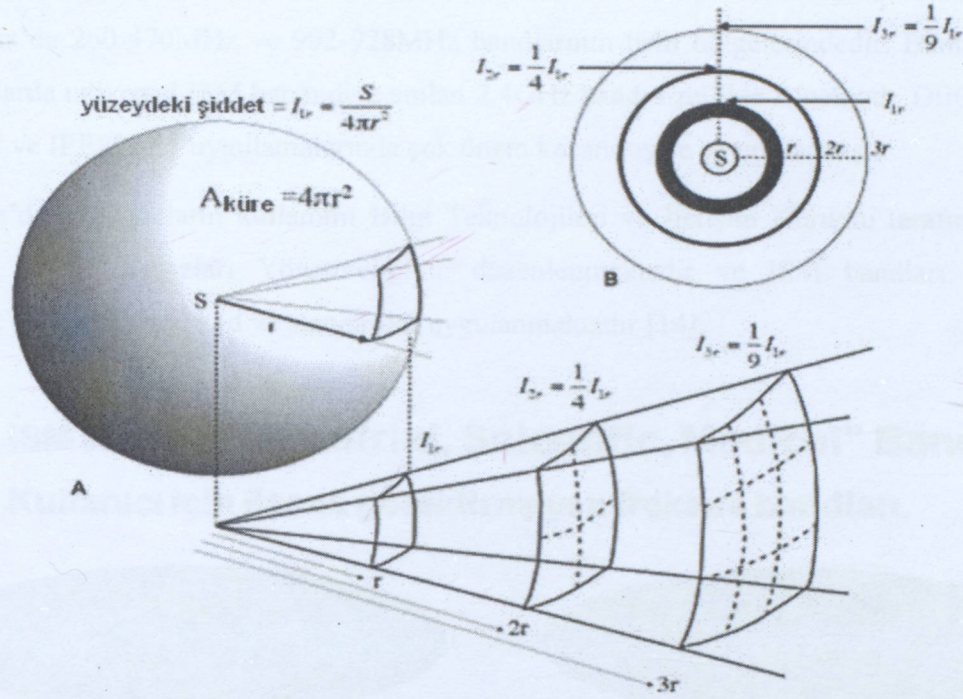
5.5 Sinyal Şiddetinin Metrik Yüzdeliğinin Kullanılması

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. Yapılan çalışmalar, sinyal şiddetinin %20'ye düştüğü durumların "dolaşabilme eşiği"ne gelindiğini gösterir. Eğer sinyal şiddeti %10'nun altına düşerse de "temiz kanal eşiğine" gelinmiş demektir (WildPackets Corporation, 2002).

5.6 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 bulduğunu belirtti [18].

Şekil 5.4A'da gösterildiği gibi noktasal bir kaynaktan çıkan toplam güç S ise, r yarıçaplı bir kürenin yüzeyindeki sinyal şiddeti de I_{1r} olur. Şekil 5.4B'de sinyal şiddetinin uzaklığın karesiyle ters orantılı değiştiğini gösterir.



Şekil 5.4 (A) Ters kare kanunu (B) Sinyal şiddeti etkisi
[7]

5.7 SM Band / Standartlar ve Regülasyonlar

Elektromanyetik spektrumun farklı ihtiyaçların, ürünlerin, üreticilerin ve kullanıcıların ortaya çıkması ile hızla yaygınlaşan kullanımı neticesinde 1985'de Amerika'da FCC (Federal Communications Commission) adlı komisyon kullanıcıların lisans gerekmeksizin bazı telsiz sistemlerini (bu sistemler ISM (Industrial Scientific Medical) diye adlandırılan bandda çalıştığı sürece) kullanabileceğini kararlaştırmıştır. Avrupa'da RF teknolojileriyle çalışan ve ISM bandı operasyonlarını da kapsayan telsiz vb. cihazlarla ilgili kullanımı düzenleyen ve standartları belirleyen kurumlar CEPT ve ETSI'dir.

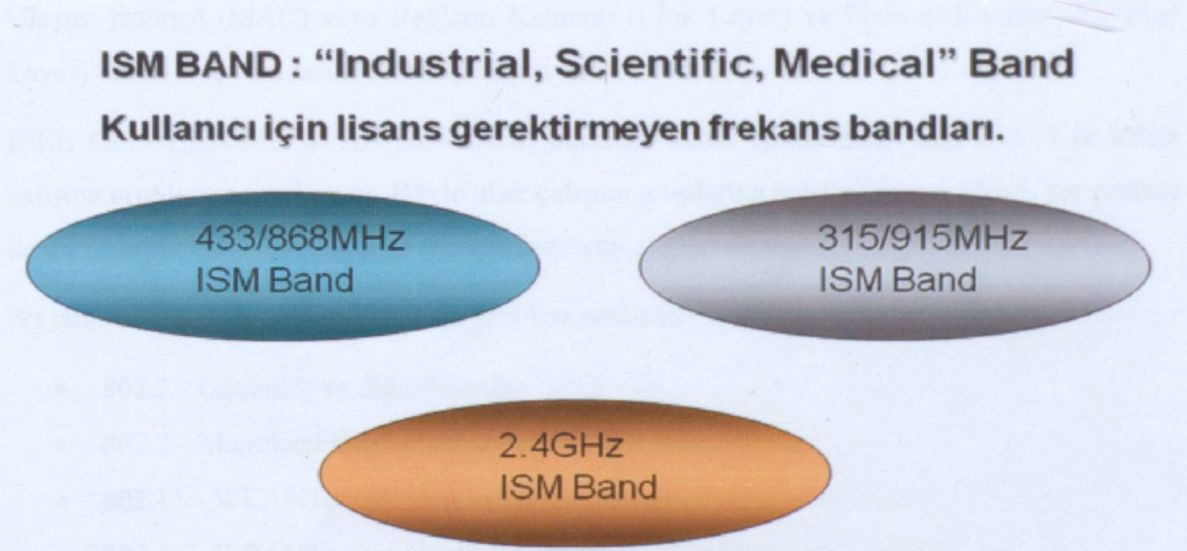
Avrupa'da 9KHz-25GHz bandı ve bu bandda çalışacak kablosuz cihazlar uyumluluk ve onay açısından 3 ayrı standartla tanımlanmaktadır.

- EN 300 220 (25MHz-1GHz)
- EN 300 330 (9KHz-25KHz)
- EN 300 440 (1GHz-25GHz)

Amerika'da kablosuz ürünlerle ilgili her türlü uyumluluk ve onay işlemleri FCC tarafından yürütülür ve ISM bandları ve bu bandlarda lisanssız kullanım CFR47-Part 15 ile düzenlenir.

Lisans gerektirmeyen ve ISM bandı olarak anılan band Avrupa'da 433MHz ve 868MHz'de Amerika'da 260-470MHz ve 902-928MHz bandlarının belli bölgelerindedir. Bunun dışında son yıllarda universal ISM bandı diye anılan 2.4GHz bandı özellikle Bluetooth, DECT/DPRS, WLAN ve IEEE802.11 uygulamalarında çok önem kazanmış ve yaygınlaşmıştır.

Türkiye'de bu bandların kullanımı Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından Kısa Mesafe Telsiz Cihazları Yönetmeliğiyle düzenlenmektedir ve ISM bandları açısından Avrupa'da kullanılan band ve standartlar uygulanmaktadır [14].



Şekil 5.5 ISM bandları

6. IEEE STANDARTLARI ve KABLOSUZ AĞLAR

6.1 IEEE Standartları

Kablosuz ağlara değinmeden önce IEEE'nin kablosuz ağlar hakkındaki standartlarını anlamak çok önemlidir.

IEEE 802.X adı altında; Yerel ağlar (LAN), Metropol ağlar (MAN) ve Bluetooth gibi kişisel ağlar (PAN) için standartlar çıkartmıştır. IEEE'nin 802'si, OSI'nin son 2 katmanı olan Ortam Ulaşım Kontrol (MAC) veya Bağlantı Katmanı (Link Layer) ve Fiziksel Katman (Physical Layer)'daki süreç standartlarını ve işlemleri sınırlandırmıştır.

IEEE 802 - LAN/MAN/PAN standartları komitesi kendi içinde 802.1'den 802.17'ye kadar çalışma gruplarına ayrılmıştır. Böyle ufak çalışma gruplarına ayrılmalarının yararı, her grubun kendi farklı konularını ve geliştirme standartlarını sağlamalarıdır.

Bu tanım içindeki en önemli çalışma grupları şunlardır:

- 802.1 - Güvenlik ve diğer konular
- 802.2 - Mantıksal Bağlantı Kontrolleri (LLC)
- 802.11 - WLAN'lar için standartlar üretmek (Kablosuz lokal ağlar)
- 802.15 - WPAN'lar için standartlar üretmek (Kablosuz kişisel ağlar)

802.1 ve 802.2, kablosuz lokal ağlar için uygulanmaktadır. Her çalışma grubu kendi içinde görev gruplarına ayrılmışlardır. Bu görev grupları çeşitli ihtiyaçların sağlanması ve standartların geliştirilmesi üzerine çalışmaktadır.

Kablosuz ağlar kurmak için şu anda kullanılan ana standart IEEE 802.11'dir. IEEE 802.11 ilk olarak 1999'da yayınlanmıştır ve 2.4 Ghz'de 2Mbps (DSL bağlantı gibi) hızında veri iletişimi için tasarlanmıştır. Ayrıca FHSS veya DSSS kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

DSSS'in anlamı; belirlenmiş menzil içinde herhangi bir zamanda kullanılmak üzere, verinin uygun değişik frekanslarda küçük paketler halinde yollanmasıdır.

FHSS'de ise; veri, değişik frekanslarda kısa ama iri paketler şeklinde tekrarlanan bir biçimde yollar. FHSS ağlar, diğerleri ile karışmayan aynı fiziksel alanlar için vardır.

6.2 Kablosuz Ağlar

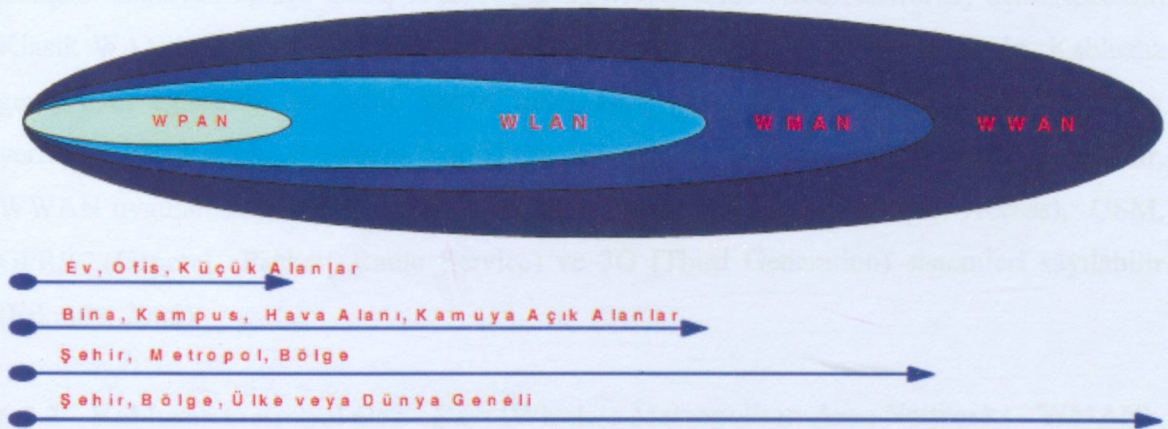
Kablosuz teknoloji, en basit anlamıyla, bir veya daha fazla cihazın fiziksel bağlantı olmaksızın haberleşmesi demektir. Kablosuz ağlar, kablolu iletişime alternatif olarak

uygulanan, RF (Radyo Frekansı) teknolojisini kullanarak havadan bilgi alışverişi yapan esnek bir iletişim sistemidir.

Kablosuz ağlar, aletler arasında ve geleneksel kablolu ağlar arasında taşıyıcı mekanizma olarak hizmet verirler. Kablosuz ağlar çok çeşitlidirler, ancak genellikle kapsadıkları alanlara göre 4 gruba ayrılırlar:

- Kablosuz Geniş Alan Ağları (Wireless Wide Area Networks - WWAN),
- Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN),
- Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks - WLAN),
- Kablosuz Kişisel Alan Ağları (Wireless Personal Area Networks - WPAN).

Kapsadıkları alana (büyüklüklerine) göre kablosuz ağlar Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Büyüklüklerine göre kablosuz ağlar

Kablosuz geniş alan ağları 2G hücreli, Cellular Digital Packet Data (CDPD), Global System For Mobile Communications (GSM) ve Mobitex gibi geniş kapsama alanı teknolojilerini içerir. Kablosuz Yerel Alan Ağları, 802.11, HiperLAN ve diğerlerini, Kablosuz Kişisel Alan Ağları ise Bluetooth ve Infrared (IR) gibi teknolojileri içerir. Bütün bu teknolojiler, bilgiyi, elektromanyetik dalgaları kullanarak alırlar ve iletirler. Kablosuz teknolojiler, radyo frekans bandının yukarısında ve IR bandının yukarısındaki dalga boylarını kullanırlar.

Kablosuz iletişim, kullanıcılara taşınabilirlik, esneklik, artan verimlilik ve daha az kurulum maliyeti gibi birçok yarar sunmaktadır. Kablosuz yerel alan ağları, kullanıcılara dizüstü bilgisayarlarıyla ofislerde kablolarla gerek kalmadan ve ağ bağlantısı kesilmeden hareket etme olanağını sağlamaktadır. Daha az kablo daha fazla esneklik, verimliliğin artması ve kablolama ücretlerinin azalması anlamına gelmektedir.

Ancak riskler, kablosuz ağların ayrılmaz bir parçasıdır. Bu risklerden bazıları kablolu ağlardaki risklerle aynıdır, bazıları da yenidir. Kablosuz ağlarda riskin kaynağı iletim ortamının hava olmasıdır. Yetkili olmayan kullanıcıların sisteme ve bilgilere girmesi, sistem bilgilerinin bozulmasına, ağ bant genişliğinin azalmasına, ağ performansının düşmesine neden olmaktadır.

Son birkaç yıl içinde kablosuz ağlar artan bir şekilde pazarda kabul görmeye başlamıştır. Artık sadece kurumsal ortamlarda değil, havaalanı, fuarlar gibi açık alanlarda ve evlerde kullanılır hale gelmiştir [9].

6.2.1 Kablosuz geniş alan ağları (Wireless Wide Area Networks - WWAN)

Ülkeler arası ya da dünya çapında yüzlerce veya binlerce kilometre mesafeler arasında iletişimi sağlayan ağlara Geniş Alan Ağları (WAN, Wide Area Networks) denilmektedir. Klasik WAN'larda, genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Kablosuz geniş alan ağlarında ise kablo yerine uydu veya telsiz iletişimi kullanılmaktadır. Uzak yerleşim birimleriyle iletişimin kurulduğu bu ağlarda çok sayıda bilgisayar çalışabilir. WWAN uygulamalarına örnek olarak; CDMA (Code Division Multiple Access), GSM, GPRS (General Packet Radio Service) ve 3G (Third Generation) sistemleri sayılabilir (Erkinay, 2005).

6.2.2 Kablosuz metropol alan ağları (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN)

Bir şehri kapsayacak şekilde yapılandırılmış iletişim ağlarına veya birbirinden uzak yerlerdeki yerel bilgisayar ağlarının (LAN) birbirleri ile bağlanmasıyla oluşturulan ağlara Metropol Alan Ağları (Metropolitan Area Networks, MAN) denilmektedir. MAN'larda da WAN'larda olduğu gibi, genellikle kiralık hatlar veya telefon hatları kullanılmaktadır. Metropol alan ağlarında, kablo yerine uydu veya RF iletişimi teknolojileri kullanılması ile Kablosuz Metropol Alan Ağları (Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN) oluşmaktadır. WMAN'lar çok sayıda şubesi bulunan kurum ve büyük şirketler ile dağınık yerleşime sahip üniversiteler gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IEEE 802.16 standardı WMAN için geliştirilmiştir (Erkinay, 2005).

6.2.3 Kablosuz yerel alan ağıları (Wireless Local Area Networks-WLAN)

Yerel alan ağlarında bilgisayarlar ve ağ içerisindeki diğer cihazlar arasında iletişimi sağlamak üzere kablo yerine RF veya kızılötesi teknolojisi kullanılması durumunda, Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks, WLAN) oluşmaktadır. En kısa tanımıyla WLAN sistemi, bir kablosuz LAN'dır. Bu nedenle kablolu LAN'ların tüm özelliklerine sahiptir. Kablosuz bir sistem olması nedeniyle cadde, sokak, park, bahçe ve benzeri açık alanlarda WLAN sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. WLAN sistemlerinin erişim mesafesi 25 - 100 metre civarındadır.

Dünyada yaygın olarak kullanılan iki tür WLAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve 12, diğeri ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir. Bunların dışında Japonya'da geliştirilen MMAC (Multimedia Mobile Acces Communication System) sistemi de mevcuttur. Ancak, MMAC Sistemi 3 - 60 GHz frekans bandında çalışmakta olup, ülkemizde uygulanan Avrupa standartlarından farklıdır (Erkinay, 2005).

6.2.4 Kablosuz kişisel alan ağıları (Wireless Personal Area Networks - WPAN)

Ev ya da küçük iş yerlerinde birkaç bilgisayar ve çevre biriminden oluşan ağlara, Kişisel Alan Ağları (Personal Area Networks - PAN) denilmektedir. Kablo yerine kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanılması durumunda ortaya çıkan alanlara WPAN denilmektedir. WPAN'lar, yakın mesafedeki elektronik cihazları kablosuz olarak birbirine bağlayan ağlardır. Bu tür sistemler, diğer ağlara kıyasla daha düşük veri hızına ve daha kısa iletişim mesafesine sahiptirler. WPAN'ların hızları 1 Mbs ve ulaşım alanları yaklaşık 10 metredir. WPAN'ların en yaygın uygulamaları, Bluetooth ve HomeRF'dir. Bluetooth, genelde kişinin etrafındaki sayısal cihazlar arasında kablosuz bağlantı kurmak için geliştirilmiştir. HomeRF ise ev veya küçük işyerlerinde bir kablosuz ağ oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Her iki sistemde de veri iletişim hızını artırmak ve kapsama alanını genişletmek ve yeni özellikler ilave edilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. WPAN uygulamalarında öncülüğü Bluetooth yürütmektedir (Erkinay, 2005).

7. ZIGBEE – IEEE 802.15.4 TEMELLİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI

Kablosuz Algılayıcı Ağları (Wireless Sensor Network, WSN) kavramı ilk kez 1980'lerin başlarında karşımıza çıkmıştır. Mikro elektro-mekanik (MEMS) sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte 1990'lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır. İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan kablosuz algılayıcı (sensör) ağları; zamanla maliyetlerinin düşmesi ile çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Akyildiz vd., 2002).

Algılayıcı ağları, nem, sıcaklık, basınç, ses, ışık ve hareketlilik gibi durumsal değişiklikleri takip edebilecek yapıdaki termik, sismik, manyetik ve görsel gibi bir çok farklı tipte algılayıcı içerebilir. Bu ağların uygulama alanları askeri, çevre, sağlık, ev ve diğer ticari alanlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Askeri alanda, özellikle savaş alanlarında mevcut donanım bilgisine ulaşmak, düşman askerinin hareketlerini izlemek ve savaş hasarı ile ilgili bilgi toplamak için, çevresel uygulamalarda hayvanların hareketlerini izlemek, kimyasal ve biyolojik tespitlerde bulunmak, orman yangınlarını ve sel felaketlerini tespit etmek için, sağlık uygulamalarında ise hasta takibi için kullanılabilir (Alaybeyoğlu vd., 2009).

Ev uygulamalarında da elektrik süpürgesi, mikrodalga fırın gibi cihazların içine yerleştirilirken ticari uygulamalarda binaların havalandırma ve ısıtma sistemlerinde veya araba hırsızlıklarının tespiti gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2005; Li vd., 2006; Pathan vd., 2006; Alaybeyoğlu vd., 2009). Teknolojik yönden sık sık batarya değişimi pratik olmadığından oldukça düşük güç tüketimine gerek duyulmaktadır (Tekin, 2006).

IEEE 802.15.4 (ETSI'nin adlandırması ile ZigBee) standardı; uzaktan görüntüleme, kontrol ve algılama ağları uygulamalarının gereksinimlerini belirleyen tek teknoloji esaslı standarttır.

7.1 ZigBee Teknolojisi ve IEEE 802.15.4 Standartı

WSN'ler endüstride günümüzün en etkileyici teknolojilerinden biridir. ZigBee ismini, arıların çiçekten çiçeğe dolaşırken izledikleri zig-zag şeklindeki yoldan almıştır. Bu dolaşım sırasında, diğer arıların bu kaynaklara (çiçeklere) nasıl (nereden) ulaşmış oldukları bilgisiyle hareket ederler. Kablosuz bağlanabilirlik için yeni bir standart olan ZigBee, IEEE tarafından duyurulan IEEE 802.15.4 standartını temel alır ve ZigBee Alliance (Birlikteliği) ilk genel standartını uygulamalarda kullanılmak üzere sağlamıştır. ZigBee Alliance; Ivensys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola ve Philips gibi 200 kadar firmadan oluşmaktadır [6].

Aşağıdaki bölümlerde sırası ile IEEE 802.15.4 standardı ve mimarisi, bunu temel alan ZigBee teknolojisi ve mimarisi verilerek endüstrideki uygulamalarından bahsedilmektedir.

7.1.1 IEEE 802.15.4 Teknik Altyapısı

ZigBee, IEEE 802.15.4 standardı tarafından tanımlanan güçlü radyo (fiziksel katman, PHY) ve Ortam Eklenme Kontrolü (Medium Attachment Control, MAC) katmanları üzerine kuruludur. Bu yüzden öncelikle IEEE 802.15.4 standardını incelemekte yarar vardır. IEEE 802.15.4-2003 standardı bir Personal Area Network (PAN)'da ki radyo iletişimi ile ara-bağlantılandırılmış cihazları ve temel alınan protokolü tanımlar. Standart CSMA/CA ortam erişimi mekanizmasını kullanır ve star, peer-to-peer (eşler arası) gibi topolojileri destekler. Ortam erişimi "contention" temellidir. Bir IEEE 802.15.4 (ve ZigBee) ağı en azından bir tane tam fonksiyonlu cihaza ağ yöneticisi olarak ihtiyaç duyar, fakat endpoint cihazları sistem maliyetini düşürmek için fonksiyonelliği azaltılmış cihazlar olabilmektedirler. IEEE 802.15.4, üç adet lisanssız frekans bandını tanımlamıştır. İlk band, 2.4 GHz frekans bandını (Industrial, Scientific, Medical (ISM) bandı) kullanır ve 16 kanala sahiptir. İkinci band, 902-928 MHz frekans bandını 10 kanalla kullanır. En sonuncusu ise 868-870 MHz frekans bandını sadece bir kanal ile kullanır. Bu frekans bandlarının kapasiteleri sırasıyla 250 kb/s, 40 kb/s, 20 kb/s 'dir (Callaway vd., 2002; Kahveci vd., 2004; [6]). Yukarıda da bahsedildiği gibi IEEE 802.15.4 standardı temel olarak iki katmanı (PHY ve MAC) tanımlamıştır. PHY katmanında üç farklı frekans bandında radyo iletişimi yapılabilmektedir. Uygulama için bunlardan sadece birinde çalışabilmesi yeterli olmaktadır. Bunlardan 2.4 GHz (2450 MHz) PHY bir onaltılı quasi-ortogonal modülasyon tekniği kullanır. Her bir veri sembol periyodunda, dört bilgi bit'i, 16 yakın ortogonal sözde-rastgele gürültü (pseudo-random noise, PN) dizisinden birini, iletilmesi için seçmekte kullanılır. PN dizileri bitleştirilmiş ardışık veri sembolleridir ve toparlanmış chip dizisi, offset-quadrature phase-shift keying (O-QPSK) kullanan taşıyıcı (carrier), modüle edilmiş durumdadır. Temelde bu modülasyon formatı, O-QPSK kodlaması olarak düşünülebilir ve tipik olarak bir look-up tablosu ile iletilen maliyetini azaltan kanal sembollerinin yaratımı için gerçekleştirilir (Callaway vd., 2002; [6]). Tipik iletim mesafesi, kapalı mekan'da (indoor) görüş alanında olmayan farklı ortamlar arası için 30 metre, görüş alanı için 80 metreden fazla olarak rapor edilmiştir. Burada belirtilmesi gereken diğer bir nokta ise, bit oranının eğer uygulamalar ağ cihazları arasında büyük miktarda veri iletmek isterlerse, sınırlayıcı bir faktör olduğudur.

Çizelge 7.1 IEEE 802.15.4 genel karakteristikleri-modülasyon parametreleri

PHY (MHz)	Frekans bandı (MHz)	Yayılım parametreleri	
		Chip oranı (kchip/s)	Modülasyon
868 & 915	868-868.6	300	BPSK
	902-928	600	BPSK
2400	2400-2483	2000	O-QPSK
Veri parametreleri			
Bit oranı(kb/s)		Sembol oranı (ksymbols/s)	Semboller
20		20	Binary
40		40	Binary
250		62.5	16'lı ortogonal

Çizelge 7.1'de gösterilen frekans bandları (Callaway vd., 2002; Safaric vd., 2006), 868 MHz – Avrupa için, 902-928 MHz – Kuzey Amerika için, 2.4 GHz – dünya çapında ki uygulamalar için düşünülmüştür. Farklı frekans bandlarındaki birkaç kanal spektrum içerisinde tekrar konumlandırmayı mümkün kılar. Bu standart, dinamik kanal seçimine izin verir, bir tarama fonksiyonu beacon aramasında desteklenen kanallar listesini adım adım, alıcı enerjisi tespiti, bağlantı kalite göstergesi, kanal anahtarlama gibi olgularla kontrol eder. Düşük frekanslar daha uzak mesafeleri daha düşük yayılım kayıpları nedeniyle sağlarlar. Düşük oran, daha iyi hassasiyet ve büyük kapsama alanına çevrilebilir (Callaway vd., 2002; Safaric vd., 2006). Tüm bandlarda, modülasyon şeması doğrudan dizi yayılım spektrumu'dur (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).

Burada 868 ve 902-928 MHz bandlarında transmitter'in BPSK (Binary Phase-Shift Keying) kullandığını belirtmek gerekir. Daha önce de belirtildiği gibi 2.4 GHz bandında transmitter offset-QPSK kullanır (Callaway vd., 2002; Kahveci vd., 2004; [6]). PHY katmanı özellikleri olarak radyo alıcısının aktivasyon/deaktivasyonu ve enerji tespiti/bağlantı kalite göstergesi, kanal seçimi, temiz (boş) kanal atanması gibi özellikler sayılabilir (Kahveci vd., 2004; [16]; [3]).

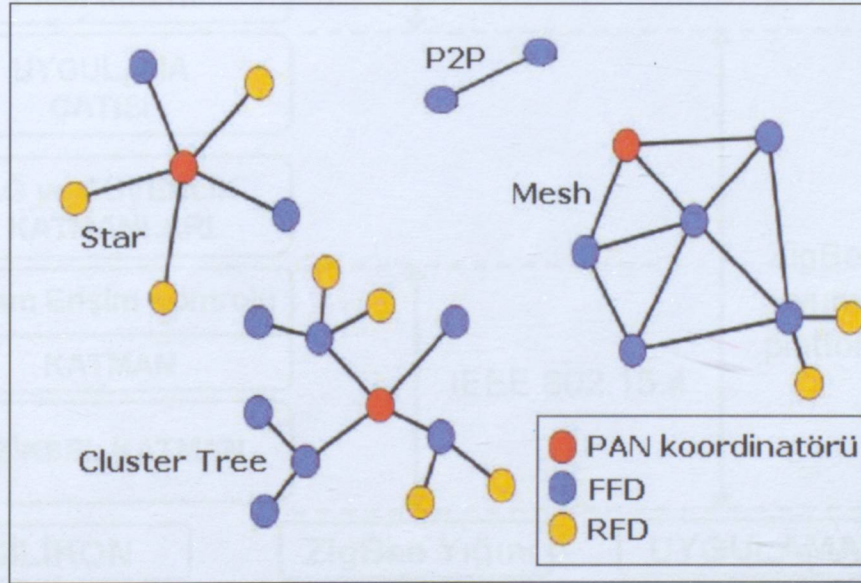
7.1.2 ZigBee Teknolojisi Teknik Altyapısı

PAN'ler (Personal Area Networks) için geçtiğimiz senelere kadar iki ana teknoloji/standart bulunmaktaydı. Bunlar yukarıda da bahsedildiği üzere "Bluetooth" ve "WiFi" (yani IEEE 802.11.x) olarak adlandırılırlar. Endüstri de kullanılan uygulamaların ana görüşü, kablosuz iletişimin düşük band genişliğinde daha az karmaşıklık ve birçok durumda pil ömrünün neden olduğu sorunlara çözüm getirmesiydi. Bununla beraber, eğer düğümler pil ile beslenir ise

düşük güç tüketimi mümkün olabilmekteydi (Callaway vd., 2002). WiFi ve Bluetooth bu istekleri karşılamakta (bazılarını karşılasalar da hepsini değil) zorlanmaktaydılar. 1999'da "FireFly" çalışma grubu, bugün ZigBee olarak bilinen teknolojiyi tasarlamaya başladı. Gelişim olarak, önce IEEE 802.15.4-2003 temel alınarak ve daha sonra ZigBee Alliance 'in Aralık 2004'te bu işe el atmasıyla süreç gelişti. Böylece ZigBee resmen PAN ağlarından birisi haline geldi [17]. ZigBee teknolojisi dört temel topolojiyi kullanır:

- Peer-to-Peer (P2P),
- Star,
- Mesh
- Cluster Tree.

Bunlar Şekil 7.1'de görülebilmektedir.

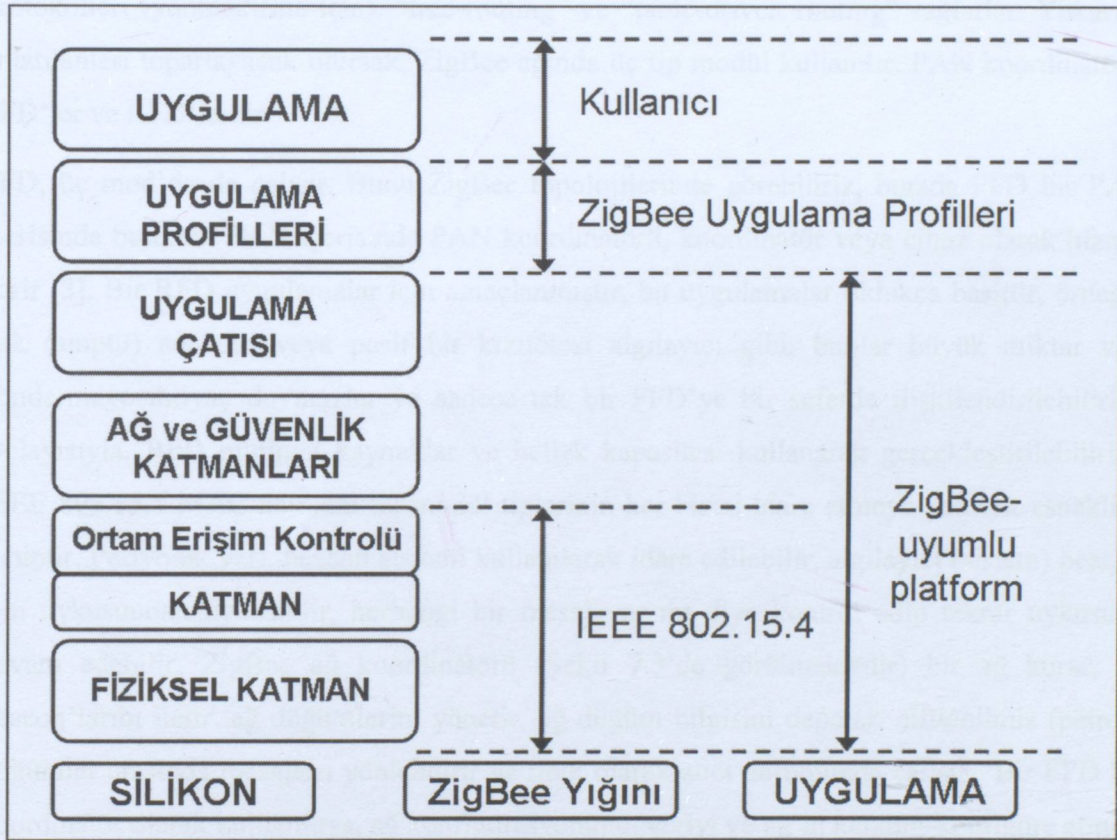


Şekil 7.1 ZigBee topolojileri
(Safaric vd., 2006)

Topoloji, bir ağın ele aldığı probleme ve ağ şemasına bağlıdır. Her bir topolojinin kendine has avantaj/dezavantajları vardır. Şekil 7.1'deki FFD, Tam Fonksiyonlu Cihaz (Full Function Device) ve RFD ise İndirgenmiş Fonksiyonlu Cihaz (Reduced Function Device) olarak verilmiştir (Safaric vd., 2006).

ZigBee Alliance, IEEE 802.15.4 'ü temel alan bir yapılanma izlediği için ilk iki katman (OSI modeline göre PHY ve Data-link (MAC) katmanı) pek bir değişikliğe uğramamıştır. ZigBee, IEEE 802.15.4 standartının beacon tekniği kullanır, yani bir düğüm komşusuna devamlı olarak kendisinin ağ'da var olduğunu belirten küçük paketler yollar. İki veya daha fazla

düğüm bir ağ biçiminde bağlanmışsa, daha sonra diğer düğümler tarafından aralarına (birlik oluşturma) alınabilirler [16]. ZigBee, “routing discovery” protokolü üzerinden çalışır [3]. ZigBee ağındaki düğüm, pil ile beslenen veya yüksek enerji tasarrufu yapan, var olan ağları arayabilen, gerekince uygulamasından veri transferi yapabilen, verinin alınıp alınmadığını tanımlayabilen, ağ koordinatöründen veri isteyebilen, uzayan periyodlar için uykuya yatabilen bir yapıda tasarlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 7.2’de ZigBee protokol yığını (katmanları) görülmektedir (Benkic vd., 2007).

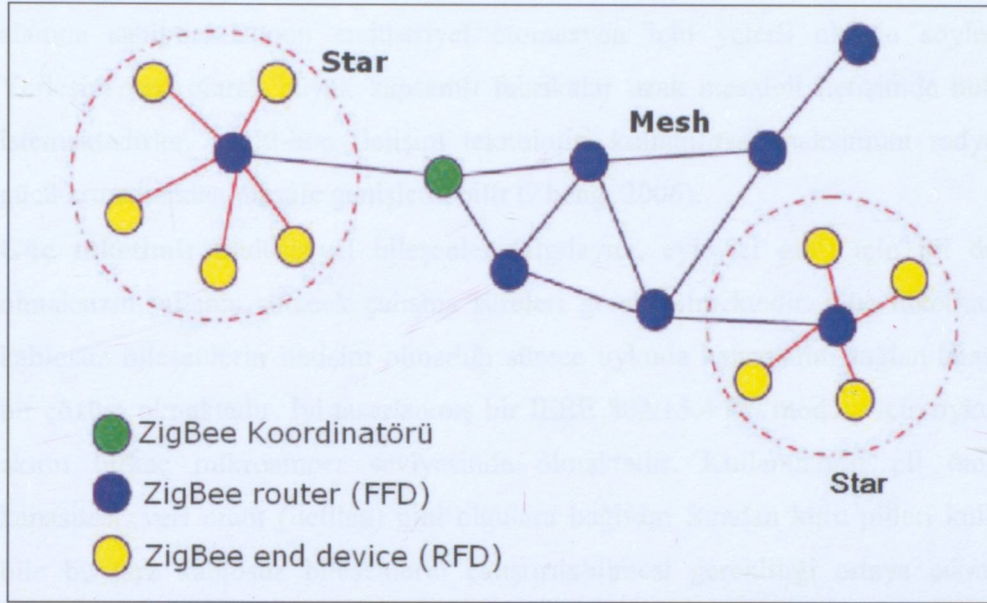


Şekil 7.2 ZigBee protokol yığını (Benkic vd., 2007)

IEEE tarafından iki fiziksel cihaz tipi düşük sistem maliyeti için tanımlanmıştır. Bunlardan ilki, diğer cihazlarla konuşabilen, ağ koordinatörü yeteneğine sahip olan, herhangi bir topoloji de fonksiyon gösterebilen (çalışabilen) Full Function Device (FFD) 'dir. Reduced Function Device (RFD) ise star topolojisi ile sınırlandırılmıştır ve koordinatör olamaz, çok basit bir uygulaması vardır ve sadece bir ağ koordinatörü ile konuşabilir (Kim vd., 2007). Bir ZigBee/IEEE 802.15.4 ağı en azından bir FFD'yi ağ koordinatörü olarak gerektirir, fakat endpoint cihazları RFD olabilir, böylece sistem maliyeti azaltılır. ZigBee ağı dinamik ağ formasyonu, adresleme, routing ve bir hop (sıçrama) yakınındaki komşusunu keşfetmeyi destekler. Ağ adresinin büyüklüğü 16 bit'tir. ZigBee, 65535 adet ağ'ı (18.45 x 1018 adet

cihazı, IEEE 64 bit adres sayesinde) kabul edebilecek yeteneğe sahiptir. Ağ adresleri ağaç yapısında atanır. ZigBee star topolojisi yanısıra mesh gibi topolojileri de desteklediği için, herhangi bir cihaz PAN koordinatörü dışında diğer bir cihazla da iletişime geçebilir, bu yüzden ağ yüksek ölçeklenebilirlik ve esnekliğe sahiptir. Kendiliğinden-formasyon ve kendini-iyileştirme özellikleri ZigBee'yi ilgi çekici hale getirmiştir. ZigBee cihazları (düğümleri) otomatik olarak ağı oluşturabilirler ve cihazların ağa katılıp/ayrılması otomatik olarak ağ konfigürasyonuna yansıtılır (Kim vd., 2007). ZigBee'nin sağladığı routing protokolleri (yönlendirme için), "tree-routing" ve "table-driven routing" sağlarlar. Yukarıda anlatılanları toparlayacak olursak, ZigBee ağında üç tip modül kullanılır: PAN koordinatörü, FFD'ler ve RFD'lerdir.

FFD, üç mod'da da çalışır. Bunu ZigBee topolojilerinde görebiliriz, burada FFD bir PAN içerisinde bulunur. PAN içerisinde PAN koordinatörü, koordinatör veya cihaz olarak hizmet verir [3]. Bir RFD uygulamalar için amaçlanmıştır, bu uygulamalar oldukça basittir, örneğin ışık (ampül) anahtarı veya pasif bir kızılötesi algılayıcı gibi, bunlar büyük miktar veri göndermeye ihtiyaç duymazlar ve sadece tek bir FFD'ye bir seferde ilişkilendirilebilirler. Dolayısıyla, RFD minimal kaynaklar ve bellek kapasitesi kullanarak gerçekleştirilebilirler. IEEE 802.15.4 MAC katmanı bu modül tiplerinin her birini idare etmeye yetecek esnekliğe sahiptir. Periyodik veri, beacon sistemi kullanılarak idare edilebilir, algılayıcı (sistem) beacon için uykusundan uyanabilir, herhangi bir mesaj var mı diye kontrol edip tekrar uykusuna devam edebilir. ZigBee ağ koordinatörü (Şekil 7.3'de görülmektedir) bir ağ kurar, ağ beacon'larını iletir, ağ düğümlerini yönetir, ağ düğüm bilgisini depolar, çiftlenilmiş (paired) düğümler arasında mesajları yönlendirir ve tipik olarak alıcı durumunda çalışır. Bir FFD bir koordinatör olarak kullanılırsa, ağ konfigürasyonunu, veriyi ve ağ'ın kendini-konfigüre etmesi (ayarlaması) için işleme gücüne ihtiyaç duyar. Bir router, cihazlardan gelen ve giden mesajları doğrudan takas etmek yerine önce depolar sonra iletir. Bir koordinatör, ağ'daki basit bir düğümden daha fazla güç kullanmalıdır ve şehir hattı veya bir güç kaynağından elde edilecek güce ihtiyaç duyabilir (Kinney, 2003). Aşağıda Şekil 7.3'de (Safaric vd., 2006) ZigBee için örnek bir ağ modeli görülmektedir. ZigBee, DSSS modülasyonunu, karışım yapılmış mesh'lerde, star, peer-to-peer (P2P) topolojilerde (buna cluster tree de dahildir) kullanır, böylece seçimlik onay mesajları ile güvenilir bir veri teslimatı sağlar. Her bir düğüm için nominal mesafe 10 metre'dir, fakat popüler uygulamalarda bu ek bir hop mesafesi için görüş alanındaki düğüm başına 100 metreye kadar çıkar (Kinney, 2003; Zheng, 2006; [17]).



Şekil 7.3 Örnek bir ZigBee ağ modeli (Safaric vd., 2006)

7.2 ZigBee Teknolojisinin Endüstride Kullanıldığı Alanlar

ZigBee WSN'lerini endüstriyel uygulamalarda (otomasyonlarda) kullanmak için Zheng'in çalışmasında bahsettiği (Zheng, 2006) şu sorunların ilk etapta çözümlenmiş olması gerekmektedir:

- **Güvenirlilik:** ZigBee/IEEE 802.15.4 ağlarının en ilgi çekici özelliklerinden birisi mesh ağlarının yapısıdır. Bir mesh ağı, P2P iletişim fonksiyonunun düğümler arasında kullanılabildiği esnek bir ağ'dır. Bu ağın gerektirdiği en önemli teknoloji, routing fonksiyonunun gerçekleştirimidir, böylece en karmaşık sistemde bile uygun yol bulunabilmektedir (Zheng, 2006).
- **Gecikme:** Kablosuz ağların gerçek zamanlı performansında gecikme oluşmaktadır. ZigBee/IEEE 802.15.4 ağlarının gecikmesi, hop sayısına bağlı olarak oldukça fazla değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun yanında, tek bir hop iletişimde bu gecikme oldukça düşüktür (birkaç milisaniye mertebesinde), fakat multi-hop bir yolda, neredeyse hop sayısı ile orantılı olarak gecikme artmaktadır. Maksimum gecikme süresi ne ZigBee ne de IEEE 802.15.4 tarafından spesifikasyonlarında belirtilmemiştir. Gerçek sistemlerde hop'lar arası gecikmeler yüz milisaniyeler mertebelerine ulaşabilmektedir (Zheng, 2006).
- **İletişim mesafesi:** Radyo çıkış gücü 1mW (0 dBm) olacak şekilde ticari IEEE 802.15.4 RF çip'inin built-in amplifier'ı sayesinde bu güç mevcuttur. Bu sayede 30 metre in-door (bina içi), 100 metre out-door (açık mekan) genişliğinde bir kapsama

alanına sahiptir. Bunun endüstriyel otomasyon için yeterli olduğu söylenemez. Yerleşim yeri olarak büyük kapsamlı fabrikalar uzak mesafeli iletişimde bulunmak istemektedirler. Multi-hop iletişim teknolojisi kullanılırsa, maksimum radyo çıkış gücü arttırılmadan mesafe genişletilebilir (Zheng, 2006).

- **Güç tüketimi:** Endüstriyel bileşenler (algılayıcı, eyleyici gibi) için pil değişimi olmaksızın yıllarca sürecek çalışma süreleri gerekebilmektedir. Güç tüketimi adına kablosuz bileşenlerin iletişim olmadığı sürece uykuda kalmasının sağlanması buna bir çözüm olmaktadır. İyi tasarlanmış bir IEEE 802.15.4 RF modülü için uyku modu akımı birkaç mikroamper seviyesinde olmaktadır. Kullanılabilir pil ömrü, pil kapasitesi, veri oranı (iletilen) gibi olgulara bağlıdır. Sıradan kuru pilleri kullanarak bile bu tarz kablosuz bileşenlerin çalıştırılabilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Zheng, 2006).

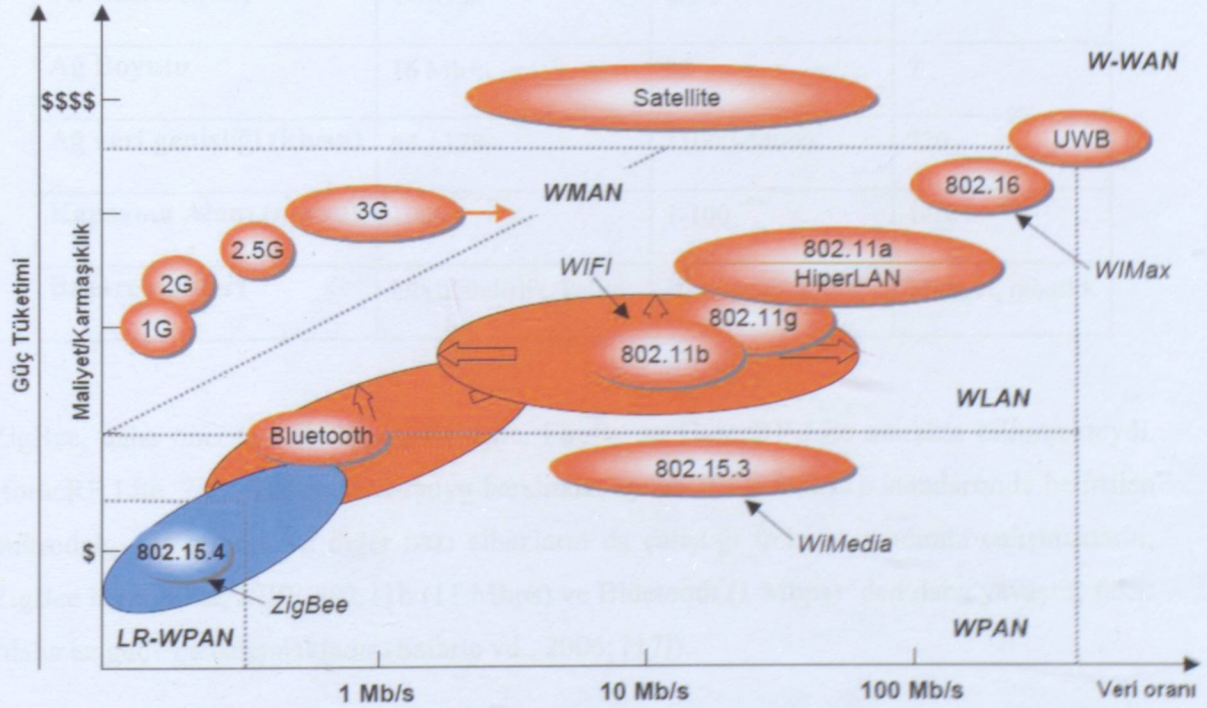
Endüstride ZigBee ağlarının kullanımı oldukça yaygın olarak bulunmaktadır, bunları sayacak ve örneklerine de bakacak olursak;

- Ticari bina otomasyonu (süpermarket stok takibi, ortam ısısı takibi, enerji seviyesi kontrolü vs.), Ev Otomasyonu (Yangın, ev içi ısı ve nem kontrolü, vs.), Ev eğlencesi (Akıllı ışıklandırma, film ve müzik ses-görüntü sistemlerinin ayarlamaları vs.),
- Hayvancılık sektörü (Süt ineklerinin veriminin takip edilmesi, ağıl içindeki eksik hayvan tespiti vs.), Ziraat ve tarım bitkileri koruma (Bitki boyu, yaprak büyüklüğü ölçümleri vs.),
- Mobil uygulamalar (m-payment, m-monitoring ve kontrolü, m-security ve erişim kontrolü, m- healthcare ve tele-assist vs.),
- AMR (Otomatik Ölçüm Okuma), kablosuz telemetri, Kimya/Boya/İlaç sektörü (Kimyasal süreçlerin izlenilmesi, ürün kalite-kontrolü vs.), Su arıtma/Atık temizleme (Büyük su arıtma tesislerinde algılayıcıları her bir pompanın olduğu bölüme ekleyerek kontrol odasına gerçek-zamanlı ölçüm verilerinin gönderilmesi)

gibi konulardır.

7.3 Diğer WSN Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması

ZigBee, personel (küçük) alan ağlarında kullanılan cihazlar arasında belirli miktar veri transferi için kullanılması, ağ ile yapılan ölçüm, tespit, izleme ve uygulamaların kontrol edilmesi ile ilgilenir. Fakat WiFi veya Bluetooth gibi büyük boyutlu dosya transferi için elverişli değildir. Diğer low-rate WPAN (LR-WPAN) teknolojileri (Bluetooth vb.) ve diğer bazı kablosuz teknolojiler ile ZigBee teknolojisini [5] Şekil 7.4'de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. ZigBee, WiFi veya Bluetooth'un, birden çok cihazlar arasındaki iletişim yaklaşımına benzemeyen bir biçimde, basit ağlar üzerinden daha az güç tüketimi ve maliyet oluşturacak bir biçimde çalışarak, daha az band genişliği istekleri ile iletişim sağlayabilmektedir. Çizelge 7.2'de detaylar görülmektedir (Kinney, 2003; Safaric vd., 2006; [17]).



Şekil 7.4 Kablosuz teknolojiler içerisinde ZigBee'nin yeri
[5]

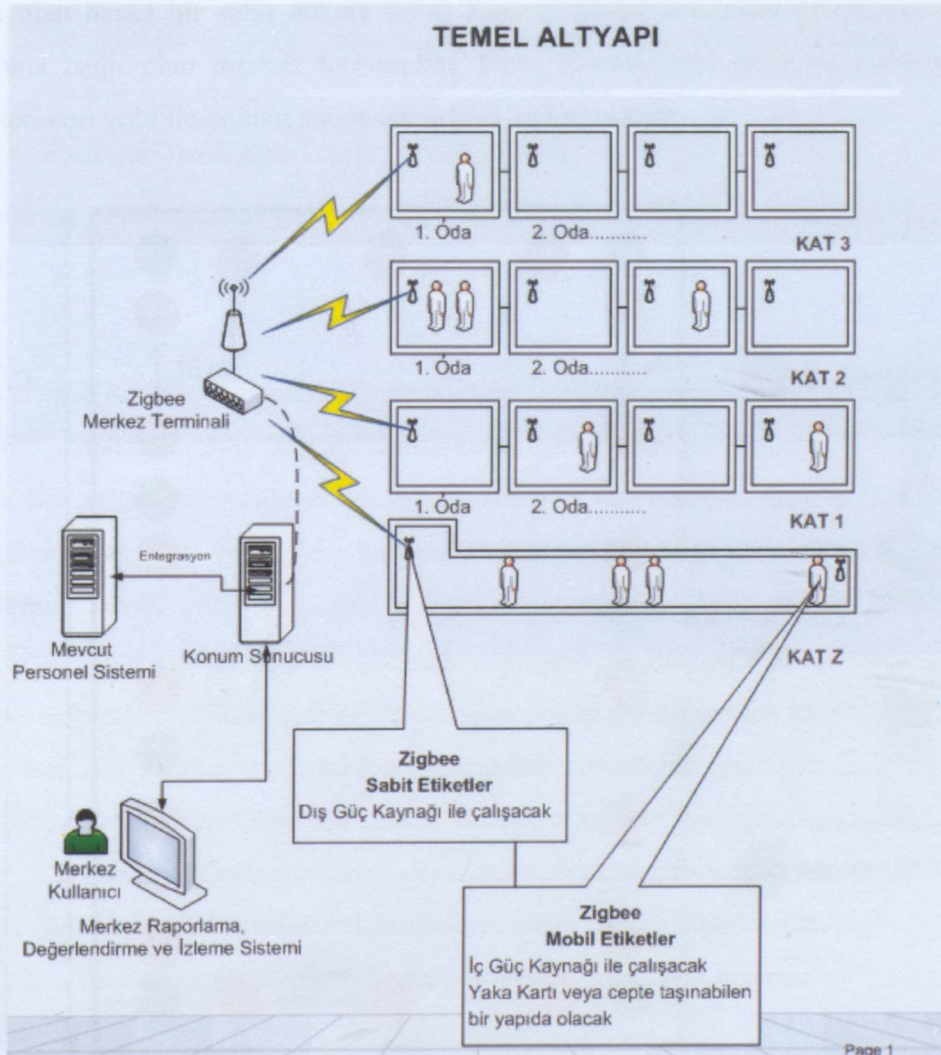
Çizelge 7.2 ZigBee ve bazı kablosuz teknolojilerin özelliklerinin karşılaştırılması.

Özellik		ZigBee	
Odaklanma alanı		İzleme ve Kontrol	
Sistem Kaynağı		4-32 Kb	
Pil Ömrü (gün)		100 - 1000+	
Ağ Boyutu		~ Sınırsız (2^{64})	
Ağ veri genişliği (kb/sn)		100 - 1000+	
Kapsama Alanı (metre)		1 - 100+	
Başarı alanları		Dayanıklılık, maliyet, güç tüketimi	
Özellik	GPRS/GSM	Wi-Fi	Bluetooth
Odaklanma alanı	Geniş alan ses ve veri	Web, email, Video	Kablo yerine
Sistem Kaynağı	16 Mb+	1 Mb+	250Kb+
Pil Ömrü (gün)	1-7 Gün	0.5-5	1-7
Ağ Boyutu	16 Mb+	32	7
Ağ veri genişliği (kb/sn)	64 - 128+	11000-54000	720
Kapsama Alanı (metre)	1000+	1-100	1-10+
Başarı alanları	Ulaşılabilirlik, kalite	Hız, esneklik	Maliyet, rahatlık

ZigBee, daha önceden PURLnet, RF-Lite, Firefly ve HomeRF Lite olarakta bilinmekteydi. HomeRF Lite, 2.4 GHz'de ISM radyo bandında, aynen IEEE 802.11b standartında belirtilen mikrodalga, Bluetooth ve diğer bazı cihazların da çalıştığı frekans bandında çalışmaktadır. ZigBee teknolojisi, IEEE 802.11b (11 Mbps) ve Bluetooth (1 Mbps) 'den daha yavaştır, fakat "daha az güç" ile çalışmaktadır (Safaric vd., 2006; [17]).

8. UYGULAMA

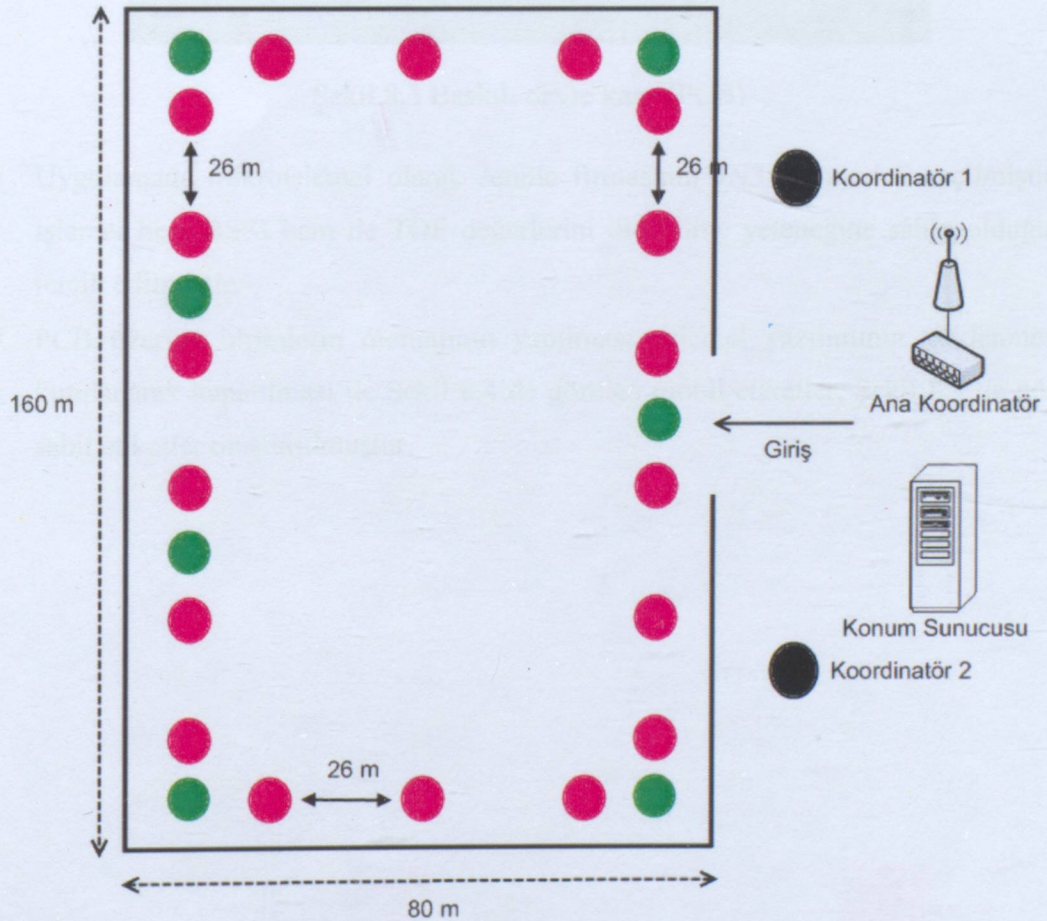
Tasarlanan sistem için, sinyal şiddetini ve TOF süresini ölçebilen donanıma sahip ZigBee alıcı vericilerle Şekil 8.1'deki gibi bir temel altyapı oluşturuldu. Şekil 8.1'de belirtildiği üzere hareketli nesnelerin (kişi, ekipman vs.) üzerlerine mobil etiketler yerleştirildi. Referans noktalarını belirlemek üzere alanın belirli noktalarına sabit etiketler ve bu sabit etiketlerdeki bilgiyi merkez sunucuya iletmek amacıyla Zigbee merkez terminali kurulumu yapıldı. Bu yapıda mobil etiketler birer saniye arayla boşluğa sinyal yayan vericiler, sabit etiketler ise mobil etiketlerden aldıkları sinyal şiddeti ve TOF süresi bilgilerini ZigBee merkez terminaline ileten alıcı-vericilerdir. Merkez terminali kendine gelen bilgileri RS232 seri veri yolu üzerinden konum sunucusuna iletir. Konum sunucu bu bilgileri değerlendirerek mobil etiketin konumunu belirler.



Şekil 8.1 Uygulama temel altyapısı

Konum tespiti için konum sunucusuna gelen veriler, sunucuda yer alan Microsoft Visual Studio .Net 2008 tabanlı bir servis yazılımıyla değerlendirildi. Bu yazılım veritabanı olarak Microsoft SQL Server 2005 kullanılmaktadır. Mobil etiketler içerisindeki mikroişlemci yazılımı C diliyle yazılmıştır.

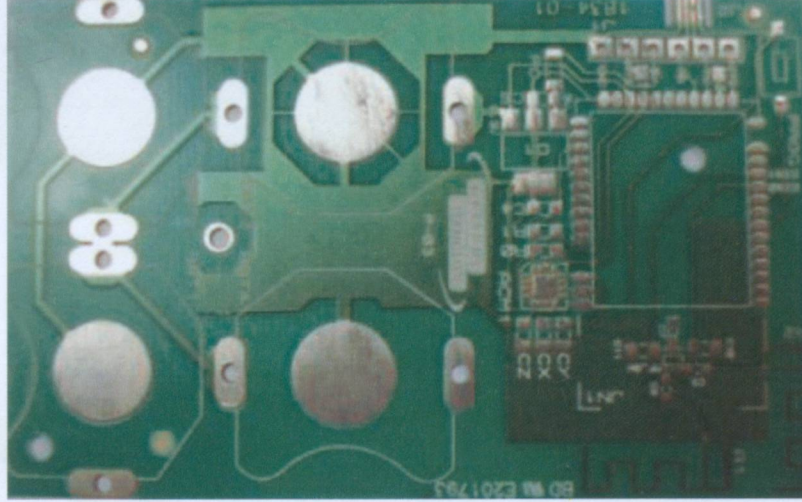
Tasarlanan bu temel sistemin uygulaması uçak bakım sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın uçak bakım hangarında yapıldı. Hangar içerisindeki personel ve hareketli ekipmanların takibi Şekil 8.2' de gösterilen alan içerisinde yapıldı. Hangar içerisine Şekil 8.2'de kırmızı ve yeşil renkle gösterilen referans noktalarına sabit etiketler yerleştirildi. Kırmızı renkle gösterilen etiketler yerden 22 metre yükseğe, yeşil etiketler ise yer seviyesine yerleştirildi. Sabit etiketler, mobil etiketlerden aldıkları sinyal şiddeti ve TOF süresi bilgilerini konum sunucusuna iletmek için koordinatör adı verilen, belli bir sabit etiket grubundan sorumlu olan başka bir sabit etikete iletir. Koordinatörler kendisine gelen bilgileri konum sunucusuna bağlı olan merkez terminaline (Ana Koordinatör) iletir ve merkez terminali RS232 seri veri yolu ile konum sunucusuna bu bilgileri aktarır.



Şekil 8.2 Uygulama alanı

Şekil 8.2’de ki yapının detaylarına indiğimizde sırasıyla aşağıdaki aşamalar uygulandı;

- İlk önce sistemde kullanılacak tüm donanımların temelini oluşturacak bir PCB(BDK) tasarımı yapıldı. Şekil 8.3’de görülen bu tasarım pil ömrünü arttırmak amacıyla 4 adet pil yuvasından, mikroişlemci biriminden ve diğer elektronik birimlerin monte edilebileceği (direnç, kondansatör, ivmeölçer, sıcaklık, ışık, nem sensörü gibi) yuvalardan oluşmaktadır.



Şekil 8.3 Baskılı devre kartı (PCB)

- Uygulamada mikroişlemci olarak Jennic firmasının JN5148 modeli seçilmiştir. Bu işlemci hem RSSI hem de TOF değerlerini ölçebilme yeteneğine sahip olduğu için tercih edilmiştir.
- PCB üzerine birimlerin montajının yapılması, işlemci yazılımının yüklenmesi ve kutulanarak kapatılması ile Şekil 8.4’de görülen mobil etiketler, Şekil 8.5’de görülen sabit etiketler oluşturulmuştur.



Şekil 8.4 Mobil etiketler



Şekil 8.5 Sabit etiketler

- Bu aşamadan sonra 25 adet sabit etiket, 2 adet koordinatör ve 1 adet ana koordinatör Şekil 8.2’de görülen yapıdaki haliyle hangarın belirlenen noktalarına takıldı.
- Pilot uygulama için 10 adet mobil etiket hangarın içerisinde hareketli olan, uçak bakım işlerinde kullanılan cihazlara monte edildi.

- Mobil etiketler birer saniye arayla uyanarak (sinyal verme konumuna geçerek) etrafındaki tüm sabit etiketlere saniyede 4-5 adet olmak üzere RSSI ve TOF ölçümlerini veriyorlar.
- Uygulamada kullanılan mikroişlemci yapısı gereğiyle RSSI değerini direk olarak vermemektedir. Mikroişlemci LQI (Link Quality Indication) diye tabir edilen sinyal gücünün kalitesi olarak adlandırılan 0-255 arasında bir değer vermektedir. (8.1)' de gösterilen formül ile LQI değerinden RSSI değerine ulaşılmaktadır.

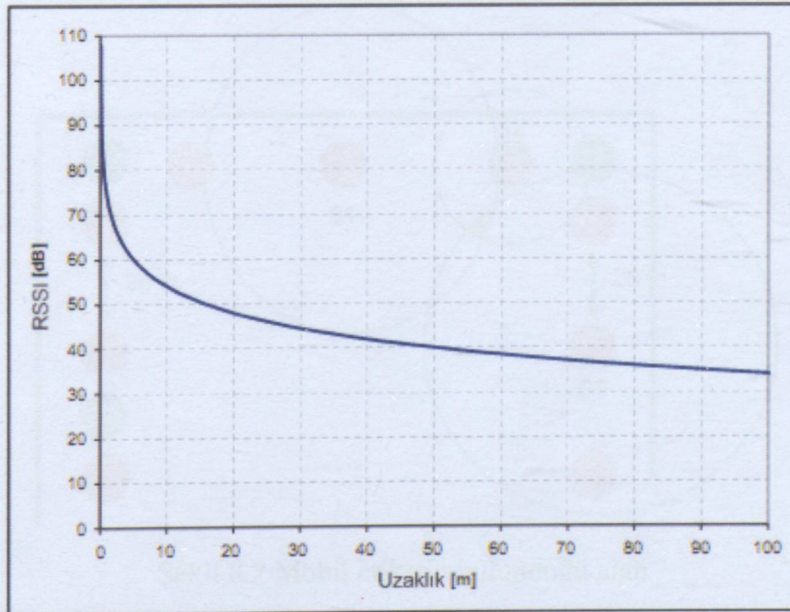
$$RSSI = \frac{LQI}{3} + 20 \quad (8.1) [8]$$

- RSSI değerine elde ettikten sonra bu değer anlamlı hale gelebilmesi için mesafe birimine (metre cinsinden) çevrilmesi gerekmektedir. Bu çevrim işlemi için (8.2)' deki formül kullanılmıştır.

$$Mesafe = 0.02 \times 10^{\left(\frac{108-RSSI}{20}\right)} m \quad (8.2) [8]$$

(m) = metre

- RSSI değerinin mesafeyle olan ilişkisi Şekil 8.6' da gösterilmiştir.

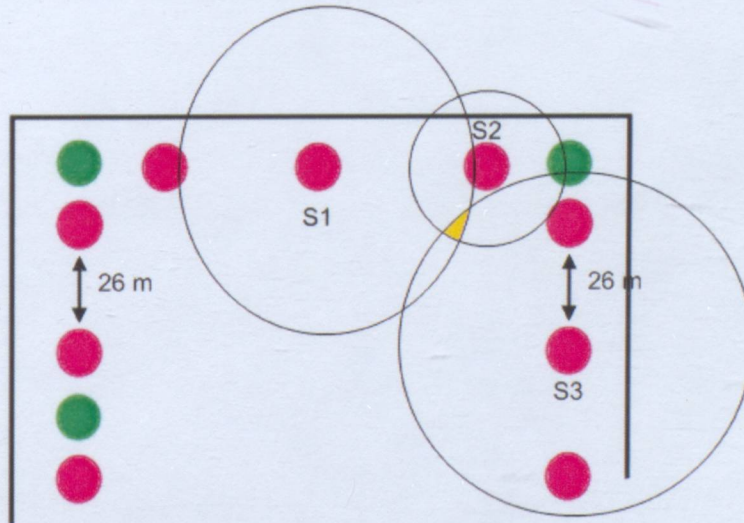


Şekil 8.6 RSSI değeri ile mesafe ilişkisi

- Yukarıdaki formüller aracılığıyla, RSSI değerinden elde edilen, mobil etiket ile etrafındaki n adet sabit etiket arasındaki mesafelerle bir değer tablosu oluşturuluyor. Bu mesafeler bulunurken doğruluk oranını yükseltmek için ölçülen değerlerin en küçük ve en yüksekleri atılarak bir ortalama değer bulunuyor.
- Bu değerler konum sunucusuna koordinatörler ve ana koordinatör (merkez terminali) vasıtasıyla aktarılarak veritabanında biriktiriliyor.
- Bu aşamada artık elimizde konumu belirlenmesi istenen mobil etikete ait olan, etrafındaki sabit etiketlerle olan mesafelerinin olduğu bir tablo var. Mobil etiketin konumunun, uygulamada 10 sn'de bir güncellenmesi istendiğinden konum hesaplamasına geçilmeden önce, 10 sn boyunca ölçümler alınmaya devam ediyor. Ölçümler sonucunda Çizelge 8.1'de örnek olarak verilen değerler oluşmakta ve Şekil 8.7'de görüldüğü üzere bu değerler, Üçgenleme (Triangulation) tekniğinin Mesafe Ölçümü (Lateration) yöntemi kullanılarak mobil etiketin konumu sarı renk ile bulunmaktadır.

Çizelge 8.1 Uygulama mesafe değerleri (t anında)

	S1	S2	S3
Mobil Etiket 1	25 m	10 m	32 m



Şekil 8.7 Mobil etiketin bulunduğu alan

- Uygulamada RSSI ile konum belirleme dışında daha önce bahsedildiği üzere TOF yöntemi de kullanıldı. Bu yöntemde mikroişlemci özelliği gereği, sinyal veren mobil etiket ile sinyali alan sabit etiket arasındaki sinyalin gidip gelme zamanını pikosaniye

(saniyenin milyonda biri) cinsinden vermektedir. Bu bilgi ışığında, ışık hızının ortalama 300,000 km/sn olduğunu düşünürsek, mesafeyi metre cinsinden bulmak için pikosaniye olan değeri 0.0003 ile çarpmak gerekir.

- TOF yönteminde de, RSSI yöntemine benzer şekilde saniyede 4-5 ölçüm alınarak, konumu belirlenmek istenen mobil etiket ile etrafındaki sabit etiketler arasındaki mesafe değerleri bulunmakta ve bu değerler Üçgenleme (Triangulation) tekniğinin Mesafe Ölçümü (Lateration) yönteminde kullanılarak konum belirleme yapılmaktadır.
- Uygulamada kullanılan iki yöntem arasında, TOF yönteminin RSSI yöntemine göre daha yüksek doğrulukla konum tespiti yaptığı belirlenmiştir. Ancak pil tüketimi değerlerine bakıldığında, RSSI yönteminde mobil etiketler 1 yıl süresince çalışabilmesine karşın TOF yönteminde bu süre 6 aya inmektedir. Burada iş ihtiyacına göre uygun yöntem yapılan analizlerle seçilmeli ve uygulanmalıdır.

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma ile Türkiye’de ilk defa yerli üretim olarak kablosuz teknolojilerle (burada ZigBee teknolojisi ile) kapalı ve özel alanlarda konum belirleme işinin yapılabildiği gösterilmiştir. Baskılı devre kartı tasarımından başlayarak tüm devrelerin montajı, mikroişlemci yazılımın yazılması, kutulama ve uygulama alanında kurulması işlemleri bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Konum, alıcı-verici üzerindeki RSSI ve TOF özellikleri kullanılarak belirlenmiştir. RSSI ve TOF değerleri, bölüm 8’te anlatılan formüllerle anlamlı metrik değerlere çevrilmiştir. Bu değerlere çevirme ve konumu anlamlı hale getirme işlemini yapan konum sunucusundaki servis yazılımı da bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

Bu çalışma da elde edilen RSSI ve TOF değerlerinin ortamdaki metal yoğunluğu ile birebir bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu metal yoğunluğu sebebiyle değişen mesafeler, gürültü katsayısı denilecek ve kullanıcı tarafından keyfi olarak atanacak bir değer ile tolere edilebilir.

Ayrıca RSSI ve TOF değerlerini etkileyebilecek diğer faktörler arasında sıcaklık, nem, basınç ve rüzgar da düşünülmelidir. Kapalı alanlarda rüzgarın ve basıncın etkisi göz ardı edilebilir olmasına karşın, ortamın nem ve sıcaklık değerleri dikkate alınması gerekebilir. Daha önce yapılan çalışmalarda sıcaklığın RSSI üzerindeki etkisinin önemli bir faktör olduğu ortaya çıkarılmıştır (Tomonori vd., 2006). Bu çalışma da oluşturulan PCB sıcaklık ve nem sensörlerinin monte edilebileceği düşünülerek tasarlanmıştır. Bu nedenle bu değerlerin ölçülmesi, yalnızca ilgili sensörlerin tedarik maliyetlerinin sisteme etkisi nedeniyle etiketlerin birim maliyetlerini arttıracaktır.

Yapılan çalışma ile konum sunucusundaki servis yazılımı, mobil etiketin konumunu 5 ile 10 metre arasında doğrulukla bulmuştur. Ayrıntılı yapılacak bir çalışma ile (diğer faktörlerin hesaba katıldığı) bu yazılım geliştirilerek hata oranının büyük ölçüde azaltılacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada sabit etiket sayısı arttırıldığında ve daha fazla ölçüm alındığında hata oranının azaldığı belirlenmiştir. Ancak burada sabit etiket sayısını arttırmak sistemin maliyetine doğrudan etki edeceği için bu kararın çok dikkatli verilmesi gerekmektedir.

Çalışmada ağ yapısı uygulamaya özel olarak geliştirilmiştir. Bu noktada mikroişlemcinin sunduğu standart ağ yapısı JenNet kullanılarak hem pil tüketimi düşürülebilir, hem de Bluetooth, Wi-Fi gibi diğer kablosuz teknolojilerle uyumlu çalışma sağlanabilir. Bu sayede uygulama yapılacak alanda daha önce kurulmuş bir ağ yapısı bulunuyorsa, yeni bir ağa gerek

kalmadan konum belirleme sunucusuna RSSI ve TOF değerleri bu yapı üzerinden aktarılabilir.

Sistem için oluşturulan baskılı devre kartında hem alıcı için hem de verici için aynı şekilde tasarlanmıştır. Yalnızca enerji ve iş ihtiyacına göre boyutu değişmektedir. Bu da tasarım maliyetlerini düşürmektedir.

İki alıcı-verici arasındaki haberleşme mesafesi, çok yoğun engel olmayan ortamda 200 metre olarak ölçülmüştür. Engelsiz, açık alanlarda bu mesafenin 1 km'ye kadar çıkabileceği bilinmektedir.

Bu alışma sonucunda ortaya çıkan ürün, çok çeşitli amaçlarla kullanılabilir bir ürün ailesine dönüştürülebilir durumdadır. Hali hazırda iş güvenliği ve otomasyon alanlarında kullanılabilir bir ürün ailesi bu çalışma kapsamında oluşturulmuştur.

Teknoloji desteği konusunda yetkili birimler, bu çalışmada bahsedilen, ülkemizde yeni gelişmeye başlayan kablosuz teknolojilerle konum belirleme uygulamalarına desteklerini arttırdıkları takdirde dünya ile yarışır bir konuma gelmemiz mümkündür. Teknoloji geliştirme, yalnızca ticari firmaların kazanç elde etmek için yaptıkları çalışmalardan ibaret olmamalı, bir ülke politikası olarak benimsenmeli, disiplinli ve planlı çalışmalarla bu konuda ilerlenmelidir.

Bundan sonraki süreçte ürünün geliştirilmesi ve iyileştirilmesi adına çalışmalar yapılmaya devam edecektir. Tamamen yerli üretim olması, yurt dışındaki rakiplerine fiyat ve performans olarak yakın seviyelerde bulunması, çalışmanın TÜBİTAK tarafından destek görmesi ve böyle bir ürünün özenli ve disiplinli bir çalışma süreci sonunda ülkemizde de yapılabilirceğinin ortaya çıkması bize ayrıca gurur vermektedir.

KAYNAKLAR

Ahmed, N., Salil Kanhere, S. ve Jha, S. (2005), "The Holes Problem in Wireless Sensor Networks: A survey", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review (MC2R), 9(2).

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. ve Cayirci, E. (2002), "Wireless Sensor Networks-A Survey", Elsevier Computer Networks, 38:393-422.

Alaybeyoğlu, A., Kantarcı, A. ve Erciyes, K. (2009), "Telsiz Duyarga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları", Akademik Bilişim 2009 konferansı, Bildiri No: 69, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Benkic, K., Planinsic, P. ve Cucej, Z. (2007), "Custom Wireless Sensor Network based on ZigBee ", 49th International Symposium ELMAR-2007, 12-14 Eylül 2007, Zadar.

Borriello, G., Hightower, J., Vakili, C. ve Want, R. (2001), "Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System", UW CSE 00-02-02 University of Washington, Seattle.

BTK. (1998), "Elektromanyetik Alanlar ve Halk Sağlığı Bilgi Föyü", 183.

Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Naeve, M., Heile, B. ve Bahl, V. (2002), "Home networking with IEEE 802.15.4 : A developing Standard for low-rate wireless Personal Area Networks", Communication Magazine, IEEE, 40(8).

D'Roza, T. ve Bilchev, G. (2003), "An overview of location-based services", BT Technology Journal, 21(1):20-27.

Erkınay, M. (2005), "Kablosuz Ağlar (Wireless Networks) ve Kablosuz Ağlarda Güvenlik Yüksek Lisans Tezi", Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. ve Philipose, M. (2004), "Mapping and localization with RFID technology", Robotics and Automation, IEEE International Conference, 1:1015-1020.

Hightower, J. ve Borriello, G. (2001), A survey and taxonomy of location sensing systems for ubiquitous computing.

Kahveci, S., Türk, K. ve Kaya, İ. (2004), "IEEE 802.15.4 Zigbee Standardının 2.4 GHZ ISM Bandında Kapasite Analizi", URSI (Union Radio Science Internationale) Türkiye Ulusal Komitesi, URSI-TÜRKİYE'2004 Bilimsel Kongresi, 8-10 Eylül 2004, Ankara.

Kim, T., Kim, D. Park, N., Yoo, S. ve Lopez, T.S. (2007), "Shortcut Tree Routing in ZigBee Networks", Wireless Pervasive Computing - ISWPC 2007, 2nd International Symposium, 5-7 Şubat 2007, San Juan.

Kinney, P. (2003), "ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works", Technical-White Paper, Kinney Consulting LLC, Chair of IEEE 802.15.4 Task Group, Secretary of ZigBee BoD, Chair of ZigBee Building Automation Profile WG.

Li, M. ve Yang, B. (2006), "A Survey on Topology Issues in Wireless Sensor Networks", ICWN, Las Vegas.

Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. ve Patil, A. (2004), "LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID", Wireless Networks, 10:701-710.

Pathan, A.S.K., Hyung-Woo L. ve Choong S. H. (2006), "Security in wireless sensor networks: issues and challenges", The 8th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2:20-22.

Safaric, S. ve Malaric, K. (2006), "ZigBee wireless standard", 48th International Symposium ELMAR-2006, 07-09 Haziran 2006, Zadar.

Sue, K.L., Tsai, C.H. ve Lin, M.H. (2006), "FLEXOR: A Flexible Localization Scheme Based on RFID", In I. Chong, and K. Kawahara (Eds.), International Conference on Information Networking (ICOIN 2006).

Tekin, U. (2006), "Kablosuz Duyarga Ağlarında Etkili Yönlendirme Ve Enerji Problemleri", Seminar Raporu, 12.06.2006, GYTE Bil. Müh. Bölümü, Kocaeli.

Tomonori, K., Yoshikazu, O. ve Masayuki, M. (2006) "Indoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network Based on ZigBee Standard," The IASTED International Conference on Wireless Sensor Networks (WSN 2006), Banff.

Tübitak, (2007), "AGY101-01 PERSİST Bina içi – Özel Alan Kişi Konum Belirleme ve Değerlendirme Sistemi"

WildPackets Corporation (2002), Converting Signal Strength Percentage to dBm Values.

Zheng, L. (2006), "ZigBee Wireless Sensor Network in Industrial Applications", SICE-ICASE International Joint Conference, 18-21 Ekim 2006, Busan.

İnternet Kaynakları:

[1] www.aeroscout.com/content/technology

[2] <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc1100.html>

[3] www.ece.mcgill.ca/~coates/publications/shortcourse-part2.pdf

[4] www.antrak.org.tr/gazete/111999/ertugrul.htm

[5] www.eecs.berkeley.edu/~prabal/teaching/cs294-11-f05/slides/day21.pdf

[6] <http://standards.ieee.org/wireless/overview.html>

[7] www.csun.edu/~vceed002/books/sourcebook/chapters/15-geometric-principles/inverse-square.html

[8] www.jennic.com

- [9] www.wifi-turk.com/makale-5-kablosuz-aglar.html
- [10] www.multispectral.com/pdf/Sapphire_Revolution.pdf
- [11] www.pinpointrtls.com/index.html
- [12] www.ekahau.com/products/real-time-location-system/overview.html
- [13] [www.timedomain.com/datasheets/TD_UWB_Ranging Communications.pdf](http://www.timedomain.com/datasheets/TD_UWB_Ranging_Communications.pdf)
- [14] www.udea.com.tr/teknikInfo.aspx
- [15] http://zes.zebra.com/pdf/products-datasheets/ds_where_tag_4.pdf
- [16] <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/03/15-03-0305-00-0040-zigbee-tutorial.ppt>
- [17] www.zigbee.org
- [18] www.ias.ac.in/resonance/May1998/pdf/May1998p30-42.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	23.08.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1998	Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi
Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak. Matematik Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurumlar		
	2002-2005	HSBC Bank A.Ş.
	2005-2006	Deniz Harp Akademisi Komutanlığı
	2006-Devam ediyor	Okyanus Teknoloji Bilgisayar ve Yazılım San. Tic. Ltd. Şti

