

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÖLGE TANIMLI KAPALI ALANLAR İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ BLUETOOTH
KONUMLAMA SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa GÜLERYÜZ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BÖLGE TANIMLI KAPALI ALANLAR İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ BLUETOOTH
KONUMLAMA SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa GÜLERYÜZ
504121388**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Hasan Bülent Yağcı

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121388 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa GÜLERYÜZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı BÖLGE TANIMLI KAPALI ALANLAR İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ BLUETOOTH KONUMLAMA SİSTEMİ başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Öğr.Gör.Dr. Hasan Bülent YAĞCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Sıddıka Berna ÖRS YALÇIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Serkan TOPALOĞLU
Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **21 Aralık 2015**

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen RF Elektronik Laboratuvarının değerli öğretim üyeleri Dr. H. Bülent Yağcı'ya ve Dr. Osman Ceylan'a; meslektaşım Arda Demiray'a, bu tezi hazırlamamda büyük emeği olan PAVO Tasarım çalışanı tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Kasım 2015

Mustafa Güteryüz
Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.2.1 Radyo çözümleri	3
1.2.1.1 WiFi tabanlı konumlama.....	3
1.2.1.2 Bluetooth tabanlı konumlama	4
1.2.2 Diğer çözümler.....	4
1.2.2.1 Magnetik konumlama	4
1.2.2.2 İvmesel ölçümler.....	4
1.2.2.3 Kontrol noktası kavramı.....	4
1.2.2.4 Ağ kavramı.....	5
1.2.2.5 Geniş kapsama alan kavramı.....	5
1.2.2.6 İşaret geliş açısı	5
1.2.2.7 İşaret geliş süresi	6
1.2.2.8 İşaret gücü	6
1.2.3 Hesaplama yöntemleri.....	7
1.2.3.1 Empirik yöntem.....	7
1.2.3.2 Matematiksel modelleme	7
1.2.4 Kullanım alanları.....	7
1.3 Hipotez	8
2. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA TEKNOLOJİLERİ	9
2.1 Karşılaştırma Kriterleri	9
2.1.1 Kapsama alanı	9
2.1.2 Maliyet	9
2.1.3 Hassasiyet.....	10
2.1.4 Erişilebilirlik	10
2.1.5 Güvenlik.....	10
2.2 GPS	10
2.3 RFID/NFC.....	11
2.3.1 RFID okuyucular.....	11
2.4 WiFi.....	12
2.5 Bluetooth	13
2.6 Bluetooth Classic – Bluetooth Low Energy Karşılaştırması.....	15
3. BLE PROTOKOL YAPISI	17
3.1 Bağlantı Durumları.....	18
3.1.1 Bağlantı kurulum aşamaları	19
3.2 BLE Protokol Bileşenleri	20
3.2.1 ATT.....	20

3.2.2 GATT	20
3.2.3 GAP.....	22
3.3 Uygulama Katmanı	23
3.3.1 Profil.....	23
3.3.2 Servis.....	23
3.3.2.1 BLE özel servisler	24
4. KAPALI ALAN KONUMLAMA SİSTEMİ	25
4.1 BLE Konum Servisi	26
4.1.1 Hareketli düğüm yazılımı.....	26
4.1.2 Sabit düğüm yazılımı	27
4.1.3 Merkez yazılım.....	27
4.2 Donanım Tasarımı	28
4.2.1 Hareketli düğüm donanımı.....	28
4.2.2 E-INK hareketli düğüm donanımı.....	30
4.2.3 Sabit düğüm donanımı	31
4.3 RF Tasarım.....	32
4.3.1 2.4 GHz yönsüz anten tasarımı	33
4.3.2 2.4 GHz yönlü anten tasarımı.....	39
4.4 Sistemin Gerçeklenmesi	41
4.5 Test Senaryosu	42
4.5.1 Statik test	43
4.5.2 Dinamik test	47
4.5.3 Güç tüketimi.....	49
4.6 Benzer Sistemler ile Karşılaştırma	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ	61

KISALTMALAR

AC	: Alternating current
ACK	: Acknowledge
A-GPS	: Assisted global positioning system
AoA	: Angle of arrival
ATT	: Attribute protocol
BLE	: Bluetooth Low Energy
CSR	: Canbridge Silicon Radio
FSPL	: Free space path loss
GAP	: Generic access profile
GATT	: Generic attribute profile
GFSK	: Gaussian frequency-shift keying
GLONASS	: Global navigation satellite system
GND	: Ground
GPS	: Global positioning system
I2C	: Inter-integrated circuit
IoT	: Internet of things
IP	: Internet protocol address
ISM	: Industrial scientific medical band
M2M	: Machine to machine
MAC	: Media access control
NFC	: Near fieldcommunication
PCB	: Printed circuit board
PIFA	: Printed inverted F antenna
PWM	: Pulse width modulation
RAM	: Random access memory
RF	: Radio frequency
RFID	: Radio frequency identification
ROM	: Read-only memory
RSSI	: Received signal strength indication
SIG	: Special interest group
SMA	: Subminiature version A
SMPS	: Switch mode power supply
SPI	: Serial peripheral interface
ToA	: Time of arrival
UART	: Universal asynchronous receiver transceiver
UUID	: Universally unique identifier
WiFi	: Wireless fidelity
3G	: Third generation

SEMBOLLER

θ	: İşaret geliş açısı
c	: Işık hızı
D	: Antenler arası mesafe
d	: Mesafe
Er_{eff}	: Efektif bağıl geçirgenlik
f	: Frekans
G_{max}	: Maksimum kazanç
L	: Uzaklık
Q	: Kalite faktörü
V_p	: Propagasyon hızı
X_s	: PIFA endüktans uzunluğu
$\Delta T^i, \Delta T^j, \Delta T^k$	: İşaret geliş süresi
λ_{eff}	: Efektif dalga boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : RFID sistem karşılaştırması.	11
Çizelge 2.2 : RFID okuyucu karşılaştırması.	12
Çizelge 2.3 : Konumlama teknolojilerinin karşılaştırılması [16].	14
Çizelge 2.4 : Bluetooth teknolojilerinin karşılaştırılması [20].	16
Çizelge 4.1 : Dielektrik sabitleri [28].	38
Çizelge 4.2 : RSSI değer tablosu.	43
Çizelge 4.3 : Dinamik test RSSI ölçümleri.	48
Çizelge 4.4 : Benzer çalışmalar.	51

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : GPS ağı [6].	2
Şekil 1.2 : A-GPS [8].	3
Şekil 1.4 : AoA.	5
Şekil 1.5 : ToA [14].	6
Şekil 1.6 : RSSI değerinin uzaklıkla değişimi [15].	7
Şekil 2.1 : GPS ile konum belirleme [17].	10
Şekil 2.2 : WiFi konumlama sistemi [18].	12
Şekil 2.3 : BLE konum sistemi [19].	13
Şekil 2.4 : Bluetooth Ekosistemi [21].	16
Şekil 3.1 : BLE ve WiFi kanalları.	18
Şekil 3.2 : GFSK modülasyon.	18
Şekil 3.3 : BLE Bağlantı Durum Geçişleri.	19
Şekil 3.4 : Tanıtım çevrimi.	19
Şekil 3.5 : BLE tarama çevrimi.	20
Şekil 3.6 : BLE nitelikleri.	21
Şekil 3.7 : Örnek servis yapısı (kalp ritmi monitörü).	21
Şekil 3.8 : İstemci kaynaklı bağlantı.	21
Şekil 3.9 : Sunucu kaynaklı bağlantı.	22
Şekil 3.10 : BLE profil tipleri.	22
Şekil 3.11 : BLE protokol katmanları.	23
Şekil 3.12 : BLE servisleri.	24
Şekil 4.1 : Örnek konumlama sistemi.	26
Şekil 4.2 : Hareketli düğüm – sabit düğüm haberleşmesi.	26
Şekil 4.3 : BLE konum servisi blokları.	28
Şekil 4.4 : CSR1010 referans tasarım.	29
Şekil 4.5 : Hareketli düğüm donanımı.	30
Şekil 4.6 : E-ink hareketli düğüm donanımı ön yüz.	31
Şekil 4.7 : E-ink hareketli düğüm donanımı arka yüz.	31
Şekil 4.8 : Sabit düğüm blokları.	32
Şekil 4.9 : Sabit düğüm donanımı.	32
Şekil 4.10 : IFA yapısı.	33
Şekil 4.11 : IFA benzetimi.	34
Şekil 4.12 : Farklı Xs değerleri için frekans bandı – dönüş kaybı.	35
Şekil 4.13 : Antenin 3 boyutlu ışıma modeli.	35
Şekil 4.14 : XY düzleminde ışıma modeli.	36
Şekil 4.15 : XZ düzleminde ışıma modeli.	36
Şekil 4.16 : YZ düzleminde ışıma modeli.	37
Şekil 4.17 : Anten ölçümü için hazırlanan PCB.	37
Şekil 4.18 : S11 smith chart gösterimi.	38
Şekil 4.19 : S11 genlik gösterimi.	39
Şekil 4.20 : Yönlü anten ışıması [30].	39
Şekil 4.21 : Tasarlanan yönlü anten.	40
Şekil 4.22 : Yönlü anten için S11 grafiği.	40
Şekil 4.23 : Yönlü anten ışıması.	41
Şekil 4.24 : Sistem bölgeleri.	42
Şekil 4.25 : Sabit düğüm konumları.	42

Şekil 4.26 : Düğüm 1 RSSI ortalaması ve standart sapma.	43
Şekil 4.27 : Düğüm 5 RSSI ortalaması ve standart sapma.	44
Şekil 4.28 : Düğüm 5 RSSI değerlerinin filtrelenmesi.	44
Şekil 4.29 : Bölge 1 için RSSI haritası.	45
Şekil 4.30 : Bölge 2 için RSSI haritası.	45
Şekil 4.31 : Bölge 3 için RSSI haritası.	46
Şekil 4.32 : Bölge 4-1 için RSSI haritası.	46
Şekil 4.33 : Bölge 4-2 için RSSI haritası.	47
Şekil 4.34 : Dinamik test senaryosu.....	47
Şekil 4.35 : Hareketli düğüm tanıtım çevrimi güç tüketimi.	49

BÖLGE TANIMLI KAPALI ALANLAR İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ BLUETOOTH KONUMLAMA SİSTEMİ

ÖZET

Konum bilgisi, günlük hayatta ve endüstriyel sistemlerde sıkça gerek duyulan, kıymetli bir bilgidir. Dünya üzerindeki konumu belirleyebilmek için yıldız haritaları ve deniz fenerleri yüzyıllar boyu kullanılmış, daha sonra yerini uydulardan faydalanarak geliştirilen GPS sistemine bırakmıştır. Günümüzde GPS teknolojisi tüm taşıtlara hatta kişisel elektronik cihazlara kadar ulaşmıştır. Bu cihazlar açık alanlarda birkaç metre hassasiyetle konumunu belirleyebilse de kapalı alanlarda kişisel ya da endüstriyel cihazların konum bilgisine ihtiyaç duyulduğunda GPS teknolojisi yeterli hassasiyete ulaşamamaktadır.

Kapalı alan konumlama özellikle kişisel cihazların kullanımının artması ve otonom hareket edebilen endüstriyel araçların çoğalmasıyla son yıllarda önemli araştırma konularından biri olmuştur. Geliştirilen farklı teknolojilerin birbirlerine üstünlükleri olduğu göz önünde bulundurulduğunda, farklı ihtiyaçlara yönelik en iyi çözümlere farklı teknolojilerle ulaşmak mümkündür. Bu nedenle farklı teknolojiler incelenmiş ve soruna yönelik en uygun çözüm önerilmiştir.

GPS, RFID/NFC, WiFi ve BLE ile çeşitli çözümler sunulmaktadır. Farklı ihtiyaçlar için farklı çözümlere yönelmek gerekebilir, bu nedenle 4 teknoloji de kapsama alanı, maliyet, hassasiyet, erişilebilirlik ve güvenlik kriterlerine göre incelenmiştir.

İncelemeler sonrasında Bluetooth Low Energy altyapısı ve RSSI ile konum tahmini tekniği kullanıma uygun bulunmuştur ve RSSI değerindeki standart sapma dikkate alınarak algoritma geliştirilmiştir. Bu tercihler ile 2 tip gezici donanım, 1 sabit donanım geliştirilmiştir. Bu donanımlar için ihtiyaca yönelik 1 yönlü, 1 yönsüz anten tasarımı yapılmıştır. Yönsüz anten için PIFA, yönlü anten için LOOP topolojileri tercih edilmiştir.

Donanım yazılımları için yeni bir BLE profili oluşturulmuş, konum bilgisi haricinde cihazın çevresel koşulları ve yerel veri tabanındaki bilgiler kullanılarak gelişmiş bir sistem oluşturulmuştur.

Ofis ortamında gerçekleştirilen sistem için sabit düğüm konumları belirlenmiş, yönlü ya da yönsüz anten tercihi yapılmıştır. Sabit düğümlerden toplanan veriler bilgisayar arayüzü ile işlenerek; hareketli düğüm konumları ve durumları periyodik kontrol edilip bölge değişimleri ve tahmini konumları incelenmiştir.

Geliştirilen sistem güç tüketimi, hassasiyet, erişilebilirlik, güvenlik ve maliyet kriterlerine göre farklı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Güç tüketimi, güvenlik, erişilebilirlik ve maliyet yönüyle güçlü; bölge tayini ve sınır algılama yapabilecek hassasiyette bir sistem geliştirilmiştir.

BLUETOOTH LOW ENERGY BASED ZONE-DEFINED INDOOR POSITIONING SYSTEM

SUMMARY

Location data is a valuable information which is often required both in daily life and industrial systems. Celestial maps and lighthouses had been used for centuries to estimate a specific location, subsequently were replaced with GPS, which is a location estimator developed via utilizing satellites. Nowadays GPS Technologies are embedded in almost all devices, even to the personal devices. These devices are capable of estimating location with the accuracy of a few meters error margin in the open fields. However, indoor area accuracy is not reliable enough when you need location estimation of the personal or industrial devices.

Indoor location estimation has been one of the significant subjects of the researches with the contribution of the rise in the use of personal devices and autonomous self-driving industrial vehicles. Taking into consideration the superiority of the developed systems from each other, it is possible to generate the best need-based results via various technologies. Thus several technologies have been observed and the most convenient case-oriented result is submitted.

Several solutions are provided by GPS, RFID/NFC, WiFi and Bluetooth LE. It may offer different solutions for varied needs. Thus, these 4 technologies have been evaluated according to coverage, cost, sensitivity, accessibility and security criteria.

After analyzing, Bluetooth Low Energy infrastructure and location estimation technique via RSSI were found suitable for use, and an algorithm have been developed considering standard deviation of the RSSI value. By these preferences, 2 types of mobile hardware and 1 type of fixed hardware have been developed. 1 directional and 1 omni-directional need-oriented antenna have been designed. PIFA topology for omni-directional antenna, and LOOP technology for directional antenna were preferred.

In this study, Cambridge Silicon Radio CSR1010 is used for all BLE hardware blocks. It has a wide input voltage range from 1.8V up to 3.6V, and 900nA sleep mode current 16mA maximum communication current. With these features, it is suitable for use with a battery. It also has 12 digital inputs and outputs, 10-bit ADC, 4 PWM module, UART, I2C and SPI, 64KB of ROM and 64KB RAM with a built-in processor. It has also has good RF features: 7dbm output power and -92.5dbm reception sensitivity, 50Ω RF antenna connection with built-in balun.

Mobile node design has a 33mm*50mm*20.3mm container, a CR2032 battery could fit into the container.

Mobile E-ink node has low power BLE and E-ink technology together. With this combination, light-weight and very low power design could be performed for personal ID tag.

Fixed node has an BLE and Ethernet interface, and also optional 3G interface. It gathers data from mobile nodes via BLE and sends data to central software via Ethernet. Communication with mobile nodes and central software are managed by micro controller unit STM32F101RCT6. This device is not suitable for battery powered usage because of the large signalling traffic. Therefore, fixed nodes also

contains AC/DC converter. According to usage purpose and locations of the device, directional or omni-directional antenna could be used for BLE communication.

Omni-directional antenna has a center frequency of 2.45 GHz, providing the required 7% band width and 10dB return loss.

Directional loop antenna has 2.45 GHz center frequency with 7% band width, 13dB return loss, 5.8dB gain and 120° orientation angle.

For this study, a unique BLE profile has been developed. Including location information, a system has been created by using environmental informations and local databases of the devices.

In similar studies in this area, ideal condition in an ideal environment have been chosen for distance measurement in meter units. For closer results to ideal environment, maximum RSSI values of the gathered information is used. In this study, instead of maximum of RSSI values, the mean value and standard deviation is taken into account in the implemented system.

RSSI value is affected by environment and moving object. Thus, distance measurement via RSSI value is not a robust solution. In this study, RSSI values are filtered with an algorithm that uses mean value and standard deviation of gathered RSSI values. Instead of calculating distance between fixed node and mobile node, location information of mobile node is determined with zones in the region. In addition to the location information, an advance system have been developed via using environmental conditions and information in the local database of nodes.

Fixed node locations have been determined for the system which was performed in the office environment and either directional or omni-directional antennas have been preferred. The data generated from fixed nodes had been processed with computer interface; by controlling mobile node locations and conditions periodically, zone variance and estimated locations had been analyzed.

The developed system was compared to the other systems according to power consumption, coverage, cost, sensitivity, accessibility and security a. Consequently, a strong system in the aspects of power consumption, security, accessibility and cost which is capable of sensitively performing zone assignment and border detection has been developed.

The system performed in an office environment, the positions of fixed nodes determined. Two directional antennas and three omni-directional antennas are used for five fixed nodes. Collected periodical data from mobile nodes are processed by fixed nodes and location changes, entries to restricted areas and environmetal changes are reported to the central software by fixed nodes.

The system is suitable for improvement and could be used for various purposes in various fields.

BLE technology was developed to meet the needs of low-power and do not require high data transfer applications. Has expanded rapidly since 2010. Low-power and low-data rate applications are increasing rapidly with personal devices, machine to machine communication (M2M), Internet of Things (IoT) applications with new ideas to reach all electronic devices.

Location-based services are also needed for in-door applications. Navigation for indoor locations with a large area, caring in the field of life of patients, following the

daily activities of athletes, inventory safety for high cost devices in hospitals and laboratories, monitoring the status of autonomous devices in the production line, examining the product of the process steps, knowing last position cases and boxes in logistics network, estimating working hours of stuff, preventing the entry of visitors to the forbidden zones, studying of consumer behavior in stores and shopping centers could be applications with BLE for location-base services.

1. GİRİŞ

Konum bilgisi, günlük hayatta ve endüstriyel sistemlerde sıkça gerek duyulan, kıymetli bir bilgidir [1]. Konum bilgisini elde etmek için çok çeşitli methodlar geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Dünya üzerindeki konumu belirleyebilmek için yıldız haritaları ve deniz fenerleri yüzyıllar boyu kullanılmış, daha sonra yerini uydulardan faydalı olarak geliştirilen GPS sistemine bırakmıştır. Günümüzde GPS teknolojisi tüm taşıtlara hatta kişisel elektronik cihazlara kadar ulaşmıştır. Bu cihazlar açık alanlarda birkaç metre hassasiyetle konumunu belirleyebilmektedir. Kapalı alanlarda kişisel ya da endüstriyel cihazların konum bilgisine ihtiyaç duyulduğunda GPS teknolojisi yeterli hassasiyete ulaşamamaktadır.

Kapalı alan konumlama özellikle kişisel cihazların kullanımının artması ve otonom hareket edebilen endüstriyel araçların çoğalmasıyla son yıllarda önemli araştırma konularından biri olmuştur. Geliştirilen farklı teknolojilerin birbirlerine üstünlükleri olduğu göz önünde bulundurulduğunda, farklı ihtiyaçlara yönelik en iyi çözümlere farklı teknolojilerle ulaşmak mümkündür. Bu nedenle farklı teknolojiler incelenmiş ve soruna yönelik en uygun çözüm önerilmiştir.

Kapalı alan konum belirleme, nesnelerin kontrolü, risk azaltma, sistem işleyişini iyileştirme gibi sebeplerle tercih edilir. Toplanan konum bilgilerinin işlenişi ve arayüzler ile aktarılması daha kullanışlı ve düzgün işleyen sistemler oluşturur.

GPS, RFID/NFC, WiFi ve BLE ile çeşitli çözümler sunulmaktadır. Farklı ihtiyaçlar için farklı çözümlere yönelmek gerekebilir [2], bu nedenle 4 teknoloji de kapsama alanı, maliyet, hassasiyet, erişilebilirlik ve güvenlik kriterlerine göre incelenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Kapalı alanlardaki kişilerin ve taşınabilirlerin, uzun pil ömürlü ve Bluetooth Low Energy tabanlı hareketli düğümleri kullanarak konum belirleme, alan dışına çıkma, alan içine girme gibi temel konum belirleme fonksiyonlarını raporlamak

hedeflenmektedir. Temel fonksiyonlara ilave olarak çift taraflı haberleşmeyi destekleyen BLE hareketli düğümler üzerindeki yerel veri tabanı ve sensörler ile kullanılabilir ve güncellenebilir verileri işleyerek akıllı bir sistem geliştirmek ve periyodik işlemlerle sistemi sürekli kontrol altında tutmak hedeflenmektedir.

BLE yapısı ile izlenebilirliği ve güvenliği artırma, daha uygun maliyetli sistem tasarımı ve bilgisayar, telefon gibi mobil cihazları da ağa katarak erişilebilirliği arttırmak amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Kapalı alan konumlama sistemi, insanların ve nesnelerin bina içindeki yerlerini akustik dalgalar [3], radyo dalgaları [4] [5] ve/veya magnetik alan kullanarak tespit etmeyi amaçlar. Standartlaşmış bir sistem yapısı bulunmasa da kapalı alan konumlandırma için bir çok farklı çözüm bulunmaktadır.

GPS ve GLONASS gibi dış ortam konumlama sistemlerinin bina içi konumlama için etkisiz oluşu nedeniyle, bina içinde konumu bilinen düğümlerden faydalanılmaktadır. Bu düğümler ile hareketli düğümlerin konumu izlenebilmekte ve ortam ile ilgili parametreler toplanabilmektedir.



Şekil 1.1 : GPS ağı [6].

Kapalı alan konumlamanın GPS ve GLONASS sistemlerinden en büyük farkı, hareketli düğümün kendi konumunu bilmesinin yeterli olmaması ve merkezi sistemin de hareketli düğüm konumunu bilmesi gerektiğidir. Diğer bir fark ise, X ve Y

koordinatları kapalı alan konumlama için yeterli değildir. Birden çok katlı bir bina için kat bilgisi de gerekmektedir.

Farklı altyapıların bir arada kullanıldığı [7] konumlama sistemleri de mevcuttur. Dış ortam konumlama için A-GPS en bilinen örnektir. Kapalı alan konumlama için de magnetik alan, radyo dalgaları ve sensör dataları bir arada kullanılabilir.



Şekil 1.2 : A-GPS [8].

GPS ve GLONASS sistemlerinin bina içinde etkisini yitirmesinin en büyük sebeplerinden biri, bina içinde yansımaların ve çoklu-yol etkisinin artmasıdır. Bina içi sistemlerde de aynı etki görülebileceği için yapılabilecek hesaplamalar ve yardımcı sistemler ile hassasiyet artırılabilir.

1.2.1 Radyo çözümleri

Radyo teknolojisi büyük bir bölümü konumlama için kullanılabilir. Halihazırda bina içi kullanımda olan WiFi ve Bluetooth teknolojileri, bina içi konumlama için öncelik kazanmıştır [9].

1.2.1.1 WiFi tabanlı konumlama

Konumu bilinen WiFi bağlantı noktalarının RSS bilgisi kullanılmaktadır. Sistem GPS benzeri konum tahmini yaparken, IP ya da MAC adresi hareketli düğüm kimliği bilgisi olarak kullanılır.

Sistemin hassasiyeti, sabit düğüm sayısı ile orantılıdır.

1.2.1.2 Bluetooth tabanlı konumlama

Bluetooth, yaklaşık konum bilgisi üzerine kurgulanmıştır. Hareketli düğümün nokta konumunun tespiti yerine belirli bir yarıçap içerisinde olduğunu belirler. Bluetooth Low Energy ve iBeacon [10] teknolojileri bu çözüm üzerine odaklanmıştır. Bina içinde hareketli düğümün bulunduğu ortamın bilinmesi yeterliyse bu çözüm tercih edilebilir.

1.2.2 Diğer çözümler

1.2.2.1 Magnetik konumlama

Magnetik alan sensörleri bulunan hareketli düğümler metre hassasiyetinde kendi konumunu takip edebilir [11]. Bina içinde sensörü etkileyecek maddelerin olması ve toplanan konum değişim bilgisinin merkezi sisteme iletilmesi gerekmesi bu altyapının tek başına kullanılamamasına neden olur.

1.2.2.2 İvmesel ölçümler

Hareketli düğümün ilk konumunu bilmesi durumunda farksal değişikliklerin takibi için ivme ölçer sensörler kullanılabilir [12]. Konum, ilk konum hesaba katılarak her adımda tekrar hesaplanır. Toplanan konum değişim bilgisinin merkezi sisteme iletilmesi gerekmesi bu altyapının tek başına kullanılamamasına neden olur.

1.2.2.3 Kontrol noktası kavramı

Etiketlenmiş nesnelerin kontrol noktasından geçmesi ile konumunun belirlenmesini amaçlar. Noktasal konum bilgisi yerine Alana giriş ya da çıkış bilgisi ile belirlenir. Hareketli düğümün sinyal gücü değeri ya da diğer düğümlerle olan ilişkisine dair bilgi içermez.



Şekil 1.3 : RFID kontrol noktası [13].

En bilinen örneği RFID'dir [5]. Kontrol noktasının kapsama alanı bu yöntemde önemlidir.

1.2.2.4 Ağ kavramı

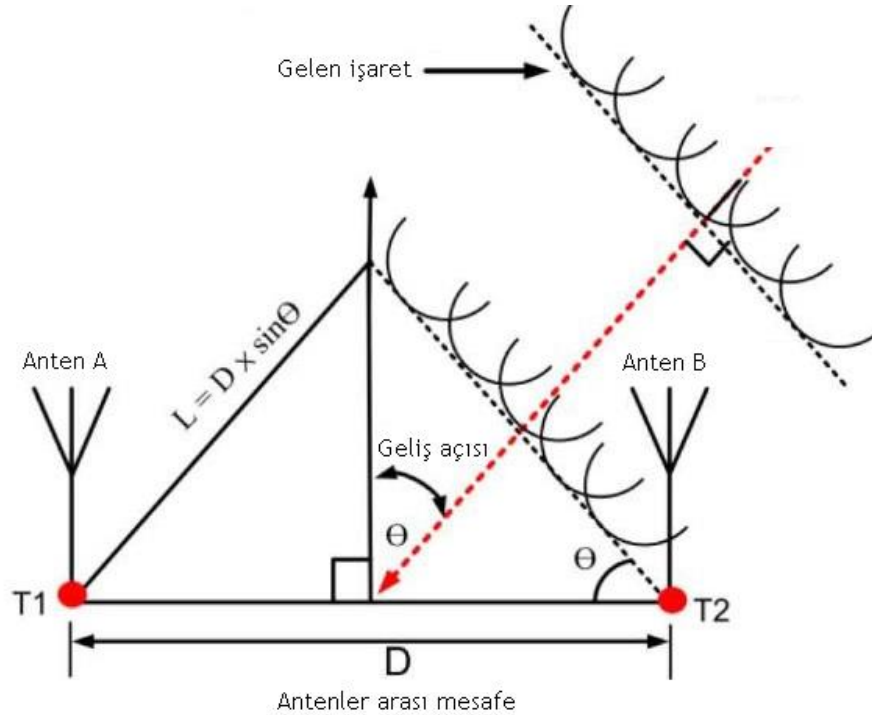
Aynı ağda bulunan, birden çok düşük kapsama alanlı sabit düğüm bulunan sistemdir. Hareketli düğüm aynı anda birden fazla sabit düğümün kapsama alanındadır ve konum tahmini merkez düğümlerin bilgilerinin işlenmesiyle yapılır.

1.2.2.5 Geniş kapsama alan kavramı

Geniş kapsama alanlı sabit düğüm ve konumunu takip eden hareketli düğüm bir arada kullanılır. Hareketli düğüm sensörler ile kendi konumunu takip eder ve sabit düğüme iletir. Tek bir sabit düğüm ya da bölümleri kapsayan sabit düğümler ile bu sistem gerçekleştirilebilir.

1.2.2.6 İşaret geliş açısı

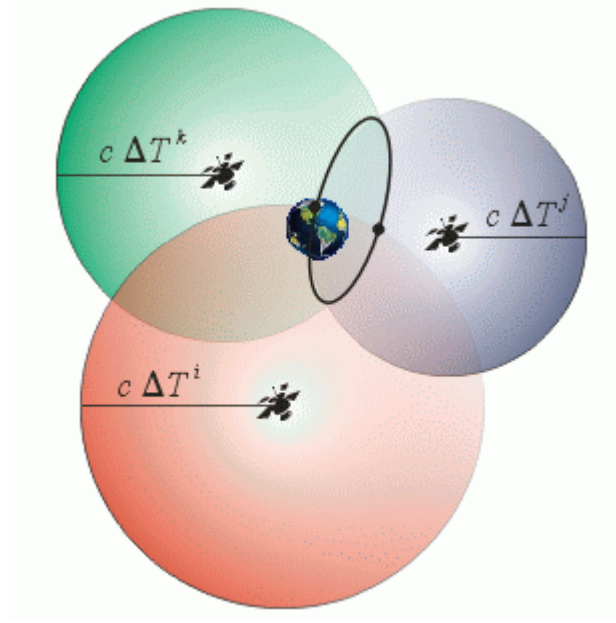
AoA, alıcıya işaretin hangi açıyla geldiğini belirtir. Genellikle, işaretin anten dizilerindeki antenlere geliş zaman farkını kullanarak belirlenir.



Şekil 1.4 : AoA [14].

1.2.2.7 İşaret geliş süresi

ToA, işaretin vericiden alıcıya ulaşma süresidir. Konum belirleme için konumu bilinen birden çok verici gereklidir, GPS de bu altyapıyı kullanmaktadır. Yansımalara ve çoklu-yol etkisine karşı bağışıklığı düşüktür.



Şekil 1.5 : ToA [15].

1.2.2.8 İşaret gücü

RSSI, alıcıya ulaşan işaret gücü ile ilişkilidir. “Free space path loss” formülü ile vericinin alıcıya uzaklığını belirlemeyi amaçlar. Bina içi kırılma, yansıma, çoklu-yol etkisi ve ideal olmayan ortam nedeniyle hata oranı artar. Hata oranı hareketli nesneler ile sürekli değişiklik gösterir. İdeal durumda:

$$\text{Çıkış gücü} - \text{RSSI} = \text{FSPL}(\text{dB}) \quad (1.1)$$

$$\text{FSPL}(\text{dB}) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 27.55 \quad (1.2)$$

d: Uzaklık (m)

f: Frekans (MHz)’tır.

Frekans değeri 2400MHz’dir. Bu durumda denklem FSPL ile mesafe ilişkisine dönüşür.

$$\text{FSPL} = 20 \log_{10}(d) + 67.60 - 27.55 \quad (1.3)$$

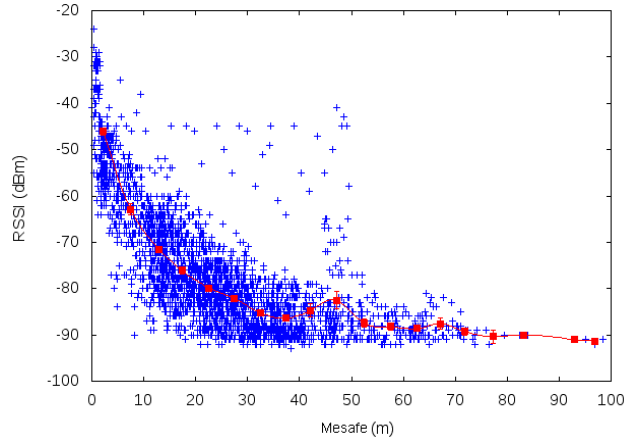
$$\text{FSPL} = 20 \log_{10}(d) + 40.05 \quad (1.4)$$

$$\log_{10}(d) = \frac{FSPL - 40.05}{20} \quad (1.5)$$

$$d = 10^{\frac{FSPL - 40.05}{20}} \quad (1.6)$$

Olarak hesaplanır.

Verici antenden alıcı antene ulaşan işaretteki güç kaybı, ideal durumda sadece FSPL'dir. Bu hesaba dahil edilemeyen başka kayıplar da yaşanacaktır. RSSI-mesafe ilişkisini gösteren RSSI değerinin uzaklıkla değişimi [16].’nde gösterilmiştir.



Şekil 1.6 : RSSI değerinin uzaklıkla değişimi [16].

1.2.3 Hesaplama yöntemleri

1.2.3.1 Empirik yöntem

Birden çok bilinen konumu kullanarak hareketli düğümün yerini tayin etme yöntemidir. En yakın düğümler yöntemi ile tahmini konum belirlenir. Bina içi yapısına ve hareketli nesnelere karşı hassasiyeti yüksektir.

1.2.3.2 Matematiksel modelleme

İşaret gücü, geliş açısı ve geliş süresi gibi parametreler işlenerek konumu belirleme yöntemidir. Üçgenleme en bilinen yöntemdir.

1.2.4 Kullanım alanları

Konum tabanlı mobil uygulamalar için uygun bir çözümdür. Müzelerde konum belirleme, hastane içi cihaz takibi, depo giriş-çıkış kayıtları, alışveriş merkezleri, kampüsler, havaalanları gibi büyük kapalı alana sahip ve çok sayıda insanın ya da nesnenin bulunduğu ortamlarda benzer çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3 Hipotez

Konum bilgisi teknolojileri, fiziksel dünya ile ham veriyi ilişkilendirebilmek için referans noktalar seçer. İlk konumlama sistemlerinde yıldız konumları referans alınmış ve pusula ile dünya üzerindeki konum hesaplanmıştır. Ekvator ve Greenwich meridyenine olan açılar dünya üzerindeki konumu belirlemek için kullanılmaktadır. Kapalı alan konumlama için geliştirilen sistemde sabit düğümler referans noktalar olarak kabul edilip, referans noktaya olan uzaklık bilgisi konum belirlemek için kullanılmıştır.

Düşük güç tüketimli BLE teknolojisi kullanılarak geliştirilen elektronik hareketli düğümler ve toplayıcı sabit düğümler için geliştirilen BLE servisi ile konum bilgileri, yerel veri tabanı ve sensör verileri toplanıp akıllı merkezi sistemde işlenerek hareketli düğüm ve çevreye yönelik bilgiler elde edilir.

Oluşturulan BLE servisi ile istenilmeyen cihazların ağa katılmasına; yazma, okuma veya dinleme yapmasına yönelik önlem alınarak sistem güvenliği artırılmıştır.

Sistemin donanımsal yapısını geliştirmek için hareketli düğümlerde yönsüz, sabit düğümlerde yönlü veya yönsüz antenler tercih edilmiştir. Bu yapı ile daha kesin konum bilgileri elde edilmiştir.

2. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA TEKNOLOJİLERİ

Kapalı alan konum belirleme, nesnelerin kontrolü, risk azaltma, sistem işleyişini iyileştirme gibi sebeplerle tercih edilir. Toplanan konum bilgilerinin işlenişi ve arayüzler ile aktarılması daha kullanışlı ve düzgün işleyen sistemler oluşturur.

GPS, RFID/NFC, WiFi ve BLE ile çeşitli çözümler sunulmaktadır. Farklı ihtiyaçlar için farklı çözümlere yönelmek gerekebilir, bu nedenle 4 teknoloji de incelenecektir [2].

2.1 Karşılaştırma Kriterleri

İnceleme için belirlenen parametreler

- Kapsama alanı
- Maliyet
- Hassasiyet
- Erişilebilirlik
- Güvenlik

Olacaktır. Her teknolojinin artıları ve eksileri bu parametreler kullanılarak belirlenecektir.

2.1.1 Kapsama alanı

Düğümler arası işaretin maksimum değeri için kullanılan terimdir. Düğüm ayarlarına, çıkış gücü tercihlerine ve çevreye bağlıdır. Dış ortamda çok daha uzun mesafelere ulaşabilen WiFi ve Bluetooth gibi teknolojiler kapalı alanlarda yansıma, kırılma gibi etkilerle açıktır. Bu nedenlerle kapsama alanı optimum değerlere ulaşamayacaktır.

2.1.2 Maliyet

Cihaz maliyetleri dışında; kurulum, işletme maliyeti ve sistem sürdürülebilirliği de maliyet olarak değerlendirilecektir.

2.1.3 Hassasiyet

Belirlenen kapsama alanı içinde hareketli düğümlerin konum belirleme hassasiyeti incelenecektir. Hassasiyetin belirlenmesinde kapsama alanı, hesaplama yöntemleri ve düğüm özellikleri de belirleyici olacaktır.

2.1.4 Erişilebilirlik

Kullanıcının sisteme ulaşım kolaylığı incelenecektir. Teknolojiler arası bilgi çevrimi, el terminalleri gibi fazladan cihazların kullanımı bu parametre altında incelenecektir.

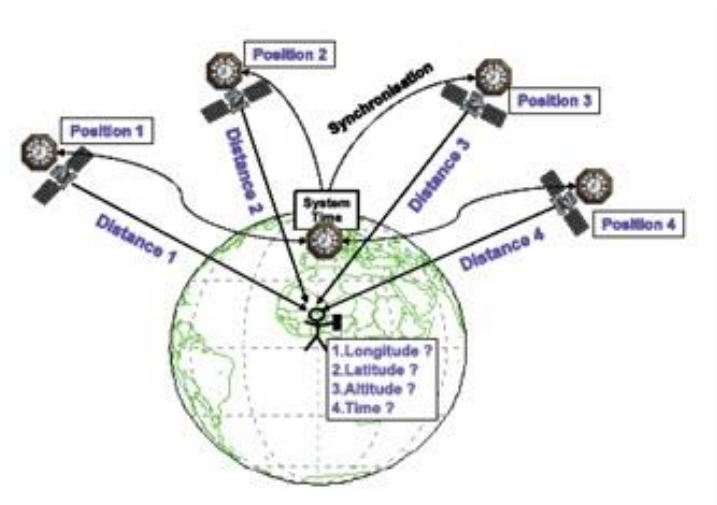
2.1.5 Güvenlik

Sisteme yetkisiz kişilerin erişimi, izinsiz düğümler ve sisteme yanlış veri gönderilebilmesi bu parametre altında incelenecektir.

2.2 GPS

GPS son yüzyılın en önemli buluşlarından biridir. İlk kullanım amacı olan askeri cihazlar dışında kişisel akıllı cihazların büyük çoğunluğu bu teknolojiyi desteklemektedir [16].

Dünya etrafındaki 24 uydunun en az dördünden konum, durum ve zaman bilgilerini içeren mesajların alıcı tarafından toplanmasıyla konumunu belirlemesini sağlayan sistemdir. En az dört uydudan alınan bilgilerle oluşturulan kürelerin kesişim noktası alıcı konumunu belirler.



Şekil 2.1 : GPS ile konum belirleme [18].

Tüm dünya bu sistemin kapsama alanının içindedir. Dış ortam konum belirleme için ideal olan bu sistem kapalı alanlarda yetersiz kalmaktadır.

Hava durumu gibi değişkenler nedeniyle 3.5 metreye kadar ortalama hassasiyet değerine ulaşabilen bu teknoloji bina içinde kırılmalara ve yansımalara maruz kalmakta; çok katlı binalarda yükseklik hesabının zorlaşmasıyla kat tahmininin zorlaşmasına neden olmaktadır.

Maliyet incelemesi yaptığımızda, GPS entegrasyonu maliyet olarak uygun bir çözümdür. Bina içi kullanımda farklı çözümlerle desteklenerek hassasiyetin artırılması ve bilgilerin merkezi sisteme iletilmesi gereği maliyeti arttırmaktadır.

2.3 RFID/NFC

RFID ve çift yönlü iletişimi destekleyen gelişmiş bir versiyonu olan NFC incelendiğinde, genel olarak etiketlenmiş nesnelerin kontrol noktalarından geçişini denetleyen bir sistemdir [16].

RFID, aktif ya da pasif etiketlerin kontrol noktalarından okuyucular tarafından okunması ilkesine dayanır. Pasif etiketler okuyucudan alınan RF işaret gücüyle okuyucuya cevap verir. Aktif etiketler ise pil ile çalışır, daha uzun mesafeli haberleşmeye olanak sağlar. Pasif etiketler için de üç farklı frekans bandı bulunmaktadır. 4 seçenek kendi arasında karşılaştırılırsa:

Çizelge 2.1 : RFID sistem karşılaştırması.

	LF	HF	UHF	UHF (Aktif)
Frekans Bandı	30-300kHz	3-30MHz	0.3-3GHz	0.3-3GHz
Kapsama Alanı	10cm	1m	10m	100m
Etiket Maliyeti	1\$	1\$	0.1\$	25\$
Kullanım Alanı	Geçiş kontrolü	Ödeme sistemleri	Envanter yönetimi	Ulaşım sistemleri

NFC ise çok yakın mesafe, çift yönlü, yüksek hızlı veri iletişimi için geliştirilmiştir. Kapsama alanının yaklaşık 10cm olması nedeniyle konumlama için kullanıma uygun değildir.

2.3.1 RFID okuyucular

Etiketler ve etiket bilgilerini işleyen sistem arası köprüdür. Etiketler gibi okuyucular da farklılık gösterir.

Çizelge 2.2 : RFID okuyucu karşılaştırması.

	El Terminali	Sabit Okuyucu	Sabit Okuyucu (aktif)
Çalışma Prensipleri	Pasif etiketlerin el terminali ile yakın mesafeden okunması	Kontrol noktasındaki okuyucunun geçiş yapan etiketleri okuması	Kapsama alanındaki aktif etiketleri okuması
Kullanım Alanı	Lojistik	Geçiş sistemleri	Alan belirleme
Maliyet	3000\$	15000\$	200\$

Birçok donanım seçeneği sunmasına karşın, sistemin mobil cihazlara ya da bilgisayarlara erişimi kısıtlıdır, ekstra donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

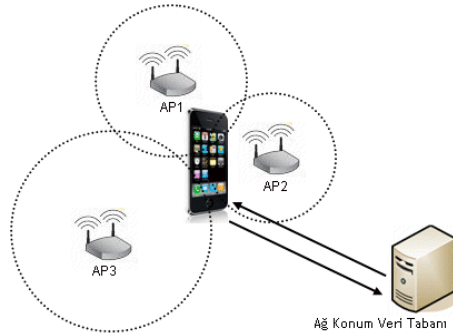
Etiketlerin sürekli yayın yapabilmesi ve okuyucuların sürekli okuma durumunda olması güvenlik açıklarına neden olabilir. Kopyalanmış etiketler ve okuyucu frekans bandına saldırılması olası güvenlik açıklarıdır.

Kapalı alan konumlama için kullanılan bu teknoloji, olgunlaşmış yapısı ve farklı donanım tipleriyle istenen çözümleri sağlamaya uygundur. Maliyet yüksekliği ve erişilebilirlik kısıtlarıyla birlikte incelenerek sistemin uygunluğu değerlendirilmelidir.

2.4 WiFi

WiFi tabanlı kapalı alan konumlandırma için kullanılmaktadır. Bu sistem halihazırda bulunan kablosuz internet altyapısını kullanmasıyla avantaj sağladığı gibi, hareketli düğümlere internet bağlantısı da sağlamaktadır. İnternet bağlantısı gereken hareketli düğümler için katma değer sağlayacak bir çözümdür [16].

Hareketli düğüm aynı anda tek sabit düğüme bağlanabilir ve bağı kopartıp farklı sabit düğüme bağlanmak kullanıcı açısından uygun olmayacaktır. Bu sebeple sistem kısıtlanmaktadır.



Şekil 2.2 : WiFi konumlama sistemi [19].

Hali hazırda kurulu WiFi ağı ile tüm cihazlara erişilebilir fakat daha keskin sonuçlar için sabit düğüm sayısını arttırmak gerekebilir. Bu durumda sistem maliyeti artacaktır.

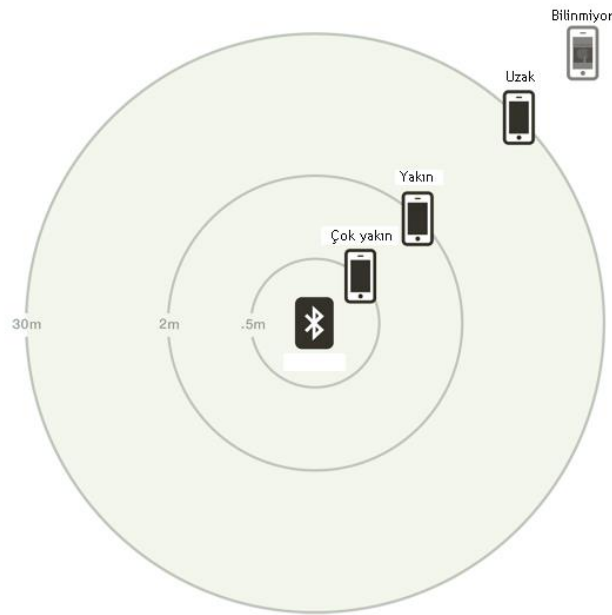
Sistemdeki hareketli düğüm sayısı düşünüldüğünde, IP adresi yetersizliği ve ağ trafiğinin artmasından dolayı oluşacak yavaşlama göz önünde bulundurulmalıdır. Ağ güvenliği ve ağdaki diğer cihazlara erişilebilirlik ise güvenlik açısından incelenmelidir.

2.5 Bluetooth

Kapalı alan konumlamada en yeni yöntem Bluetooth Low Energy'dir [16]. Esnek yapısı, taşınabilirlik ve kolay kurulum göz önünde bulundurulduğunda daha önce geliştirilen sistemlerin eksikliklerini tamamladığı söylenebilir.

Bluetooth Low Energy, Bluetooth Classic ile karşılaştırıldığında protokol yapısında ve güç modlarındaki değişiklikler ile düşük güç tüketimli ve uzun pil ömürlü sistemlere olanak sağlamaktadır.

Akıllı cihazlara, bilgisayarlara, akıllı ev sistemlerine ve çeşitli sensörlere direkt erişim sağlayabilen bir ağ yapısı sunmaktadır. Android 4.3 ve iOS7 sonrası akıllı cihaz sürümleri bu protokolü desteklemektedir. RSSI ile yaklaşık konum hesaplaması yapılır.



Şekil 2.3 : BLE konum sistemi [20].

Pil ömrü düşünüldüğünde, aynı zaman zarfında WiFi'ın harcadığı gücün %2-3 kadarını harcamaktadır. Böylece yıl mertebesinde pil ömrüne sahiptir.

Hareketli ve sabit düğümler yaklaşık aynı donanım yapısına sahiptir. Donanım maliyeti düşünüldüğünde makul değerlerle karşılaşılmaktadır.

BLE konumlama, noktasal konum yerine yaklaşık konum kullanır. Yani sabit düğümün kapsama alanındaki hareketli düğümler için bir yarıçap içinde oldukları belirtilir. Bu yarıçap birkaç metreden 50 metreye kadar çıkartılabileceği gibi, birden çok sabit düğüm bilgisi kullanılarak kesişen küreler yöntemiyle daha hassas ölçüm de sağlayabilir.

Cihaz maliyetleri RFID ve WiFi'a göre daha uygundur. Bu sistemde maliyet daha çok akıllı cihazların entegrasyonu ve arayüzler olacaktır. Bu maliyetler de gereksinimlere göre değişecektir.

Yeni bir çözüm olmasına karşın yaygınlaşmaya başlamıştır. Düşük maliyeti, pil ömrünün uzunluğu ve yüksek erişilebilirliği bunun en temel sebepleridir.

Çizelge 2.3 : Konumlama teknolojilerinin karşılaştırılması [16].

	BLE	GPS	WiFi	RFID
Çalışma Prensibi	Bluetooth low energy hareketli düğüm mesajı alıcı tarafından alınır. Sistem kurallarına göre bilgiler işlenir.	Uydulardan alınan mesajlarla hareketli düğüm kendi konumunu belirler.	Birden çok WiFi bağlantı noktası RSS bilgisi ile hareketli düğümün konumunu belirler.	Aktif ya da pasif etiketler mesajı okuyucuya gönderir, sistem kurallarına göre bilgiler işlenir.
Kapsama Alanı	1 - 50 metre	Dünya	20 - 50 metre	1cm - 100m
Erişilebilirlik	4	4	3	2
Hassasiyet	4	1	3	5
Güvenlik	3	3	2	4
Maliyet	4	5	3	2
En İyi Olduğu Alanlar	Kapalı alan konumlama, konum tabanlı bilgi mesajları, çift yönlü haberleşme	Dış ortam konumlama, tarım, askeri sistemler	Büyük dataların transfer edilmesi gereken hareketli düğümler	Stok takibi, kontrol noktası bazlı konum takibi

Farklı ihtiyaçlar için farklı çözümlerin daha iyi sonuçlar verebileceği açıktır. Başta yeni bir teknoloji olması, uygun maliyeti, esnekliği ve erişilebilirliği göz önünde bulundurularak sistem tasarımı için BLE tercih edilmiştir.

2.6 Bluetooth Classic – Bluetooth Low Energy Karşılaştırması

Bluetooth Low Energy (Smart), Bluetooth Classic teknolojisiyle karşılaştırıldığında farklı konularda bir birine üstünlük sağlar [21]. BLE, Bluetooth Classic yerini almak için değil, farklı uygulama alanlarını da kapsamak için geliştirilmiştir.

Bluetooth Classic, sürekli data akışı olan uygulamalar için geliştirilmiştir. Bluetooth kulaklıklar bu uygulamanın en iyi örneğidir. BLE ise düşük güç tüketimli sistemler için geliştirilmiştir. Düşük güç tüketimli; küçük ve periyodik data paketlerine sahip sensör düğümleri, medikal ürünler, fitness ürünleri gibi uygulama alanları için çözüm oluşturmuştur.

Yeni protokol ile sürekli data akışı yerine, hızlı bağlantı – küçük data paketi – uyku moduna geri dönüş yapısıyla standart bir pille birkaç yıllık çalışma ömrüne sahip olmaktadır.

Classic protokolün frekans zıplama, kimlik doğrulama ve şifreleme özellikleri bu protokolde de kullanılmıştır.

Azaltılan paket boyutu nedeniyle data transfer hızı klasik protokole göre düşüktür. Küçük dataların transferi için yeterli paket boyutu sağlamakla birlikte, büyük dataların transferinde yavaş kalmaktadır.

İki Bluetooth cihazın birbirine bağlanabilmesi için aynı servisin tanımlı olması gerekmektedir. Classic ve BLE için tanımlı servisler de farklılık göstermektedir. Heartrate monitor gibi servisler sadece BLE için tanımlıyken, Headset gibi servisler sadece Classic için tanımlıdır.

İki protokolü de destekleyen Bluetooth Smart Ready cihazlar da vardır. Bu cihazların g tüketimi Classic ile benzerdir, düşük güçlü uygulamalar için uygun değildir.



Şekil 2.4 : Bluetooth Ekosistemi [22].

Çizelge 2.4 : Bluetooth teknolojilerinin karşılaştırılması [21].

	Bluetooth Classic	Bluetooth Low Energy
Data Paketi Boyutu	2Mbps	100kpbs
Protokol Güvenliği	Güçlü	Güçlü
Kapsama	1km'e kadar	250m'e kadar
Büyük Ağ Yapısı	Zayıf	Güçlü
Bağlantı Kurma Hızı	Zayıf	Güçlü
Düşük Güç Tüketimi	Zayıf	Güçlü
Maliyet	Zayıf	Güçlü

BLE cihazların sürekli data transferi yerine, uzun süre uyku – periyodik data gönderme işlemleri nedeniyle merkez düğüm zamanda çoğullama yaparak çevre düğüm sayısını arttırabilmektedir. Çevre cihazların tanıtım mesajları çeşitli parametreler içerebilir, böylece bağlantı kurulmasına dahi gerek olmadan iletilmek istenen data merkez düğüme ulaştırılabilir.

Classic ve BLE farklı protokoller olsa da aynı donanım altyapısını ve ISM bandını kullanmaktadır. İki protokolü de destekleyen Bluetooth Smart Ready cihazlar da bulunmaktadır. Telefonlar ve bilgisayarlar gibi cihazlar her iki protokolü desteklese de güç tüketimi Classic gibidir.

Uygulama alanına göre Bluetooth Classic, Bluetooth Smart Ready ya da Bluetooth Low Energy farklı özellikleri göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır.

3. BLE PROTOKOL YAPISI

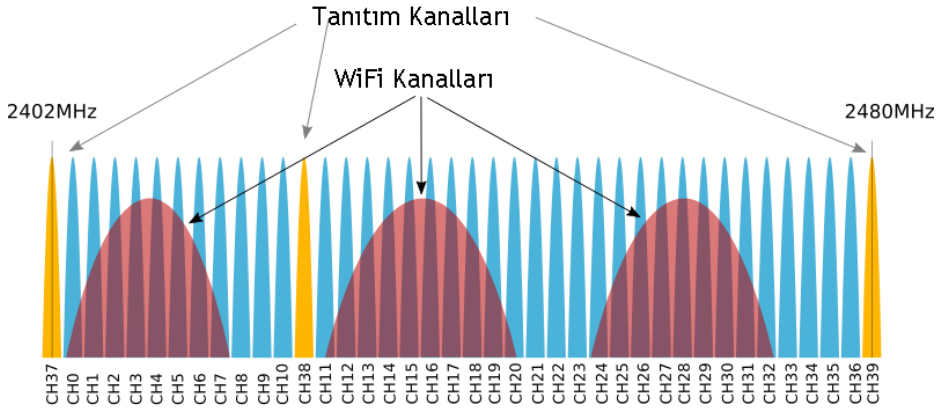
BLE daha verimli alıcı-verici yapısı, yeni protokol yapısı, yeni profil mimarisi ve enerji verimliliği üzerine odaklanmasıyla Bluetooth Classic'ten ayrılmaktadır. Bluetooth Classic yerini alan bir protokol değil, farklı ihtiyaçlar için çözüm sunmak amacıyla geliştirilmiştir [23].

BLE protokol yapısında bağımlı birimler veri tabanı gibi davranır, ana birimler veri tabanına erişip okuma-yazma yapabilir. Genel olarak ana birimin okuma-yazma talepleri üzerinden haberleşilse de bağımlı birim ana birime değişiklik durumlarında uyarılar oluşturabilir. Daha hızlı bildirimler oluşturabilmek için tanıtım mesajları içerisinde belirlenen parametreler gösterilebilir, böylece bağlantı kurulmadan da bilgi aktarımı sağlanabilir.

Bluetooth Classic, bağlantılar üzerine kurulu bir protokoldür. Bağlantı kurulur, veri akışı olmasa bile koparılmaz. Alıcı-verici bağlantı boyunca aktif kullanımdadır. Bağlantının kurulma süresi saniye mertebesinde. BLE protokolünde bağlantı kurabilmek için 1.3ms yeterlidir, paket iletdikten sonra bağlantı koparılır ve uyku moduna dönülebilir. Alıcı-verici veri akışı oldukça aktif edildiği için daha verimli çalışması mümkündür. Bu yapısıyla büyük boyutlu veri iletimi için uygun olmasa da web servisleri ve cihazlar arası iletişim (M2M/IoT) teknolojileri için tercih sebebidir.

BLE, ISM 2.4GHz bandında çalışır, modülasyon türü GFSK'dır. 2402 – 2480MHz bandını 40 kanala bölmüştür, 3 kanal tanıtım mesajlarına ayrılmıştır.

37, 38 ve 39. kanallar tanıtım kanallarıdır. Bu üç kanaldan 37. bandın en düşük frekanslı kanalı, 39. en yüksek frekanslı kanalıdır. 3 kanal da aynı bandı kullanan WiFi kanalları arasındaki boş frekanslardadır. Böylece kanallar arası etkileşimin ve gürültünün en az olacağı kanallar, tanıtım kanalları olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1 : BLE ve WiFi kanalları.

GFSK modülasyonu yapısı gereği, 1 ve 0 farklı frekanslar ile ifade edilir. 0 ve 1 kanalların merkez frekanslarından sırasıyla 185kHz yüksek ve düşüktür [24].



Şekil 3.2 : GFSK modülasyon [24].

Radyo yapısının bir diğer özelliği de frekans atlama tekniğini kullanmasıdır. Bir sonraki frekans belirli değildir. Kanalların uygunluğuna göre anlık karar verilir, kanal değişikliği mesajıyla sağlanır.

3.1 Bağlantı Durumları

- Bekleme (Standby)
- Tanıtım (Advertising)
- Tarama (Scanning)
- Başlatma (Initiating)
- Bağlantı (Connection)'dır.

Bekleme: Data paketi alma ve gönderme aktif değildir.

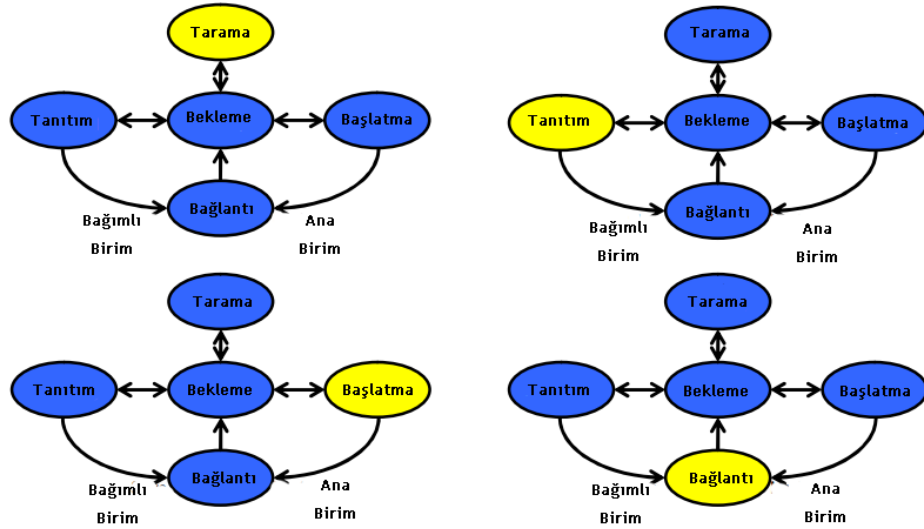
Tanıtım: Tanıtım kanallarından tanıtım mesajları gönderilir.

Tarama: Tanıtım kanalındaki tanıtım mesajları alınır.

Başlatma: bağlantı kurulma aşamasıdır.

Bağlantı: Ana düğüm ya da bağımlı düğüm modlarında iletişimi kurulur.

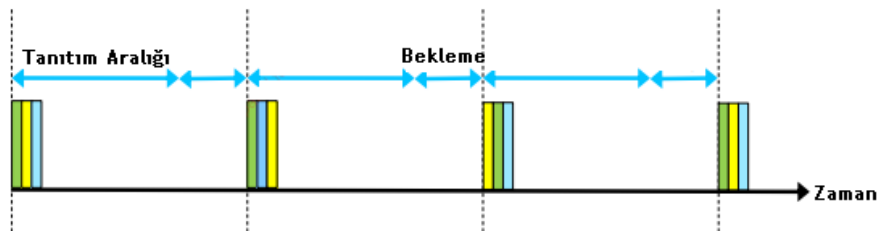
Veri iletimi için bağlantı kurulması gerekmeden tanıtım mesajlarının içeriğinde de bilgi aktarılabilir. Her bağlantı türünden bekleme moduna geçilebilir, bekleme modundan cihazın ana ya da bağımlı rolüne göre başlatma ya da tanıtım modundan bağlantı moduna geçilebilir.



Şekil 3.3 : BLE Bağlantı Durum Geçişleri.

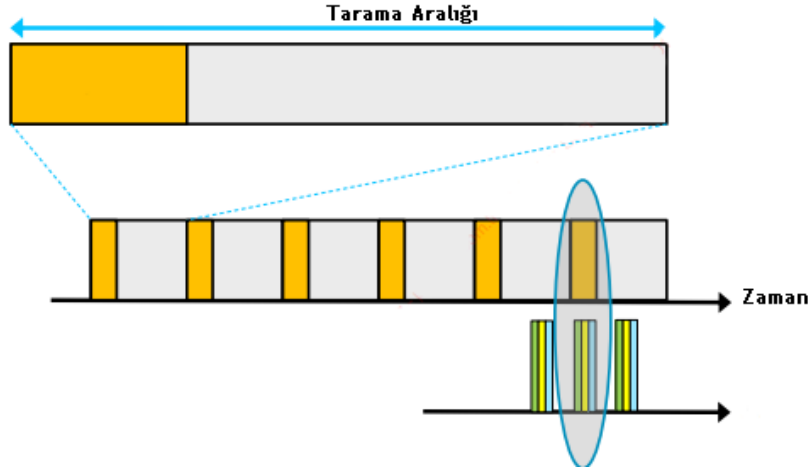
3.1.1 Bağlantı kurulum aşamaları

Bağımlı düğüm, bağlantıya hazır olduğunda sırasıyla 37. 38. ve 39. kanallardan tanıtım mesajları gönderir. İşlem 20ms-10.24s zaman aralığında değiştirilebilir periyotla tekrar edilir. Bağlantı bulunamadığı durumlarda protokol, tanıtım mesajlarının periyodikliğini 10ms gecikmeli mesaj atarak bozar. Böylece tanıtım ve tarama modundaki cihazların aynı periyotlu ve farklı zamanlarda aktif olması nedeniyle oluşabilecek eşleşmeme durumuna önlem alınmış olur.



Şekil 3.4 : Tanıtım çevrimi.

Ana düğüm için tarama periyodik olarak üç taanıtım kanalı için de yapılır. Ana düğümün tarama anı ile bağımlı düğümün tanıtım anı çakıştığında bağlantı kurulabilir.



Şekil 3.5 : BLE tarama çevrimi.

3.2 BLE Protokol Bileşenleri

3.2.1 ATT

Tüm BLE profilleri data aktarım için ATT profilini kullanır. ATT istemcinin sunucuyu keşfetmesini ve bağlanmasını tanımlayan protokoldür. Sunucu ve istemci modları, bağlantı kurma modlarına bağlı değildir. Bağlantıyı başlatan sunucu ya da sunucu/istemci olabilir.

3.2.2 GATT

Tüm BLE profillerinin temelini GATT oluşturur, ATT sunucu-istemci yapısı GATT dahilindedir. GATT sunucu verisi karakteristikler ile servislere ayrılır. Servisleri keşfetme ve servisleri bağlantıyı belirleyen protokoldür.

Tüm profillerin aynı temeli kullanmasıyla, her profilin aynı paket formatını kullanması sağlanmıştır. Böylece protokol basitliği sağlanmıştır.

GATT veri tabanı, mantıksal olarak servislere, servisler karakteristiklere ayrılır. Servisler ve karakteristikler UUID ile belirtilir. Belirticiler ise karakteristiklerin açıklaması görevindedir.

Veri tabanı içeriği, nitelik kodu (Handle) ve nitelik (Attribute) halinde tabloda tutulur.

Nitelik Kodu	
0x0001	Nitelik
0x0002	Nitelik
...	
0xFFFE	Nitelik
0xFFFF	Nitelik

Şekil 3.6 : BLE nitelikleri.

Her nitelik nitelik kodu, nitelik tipi (UUID), izinler (Permissions) ve değerinden (Value) oluşur.

Kalp Ritmi Servisi (HRS) için servis yapısı Örnek servis yapısı (kalp ritmi monitörü).’nde verilmiştir.

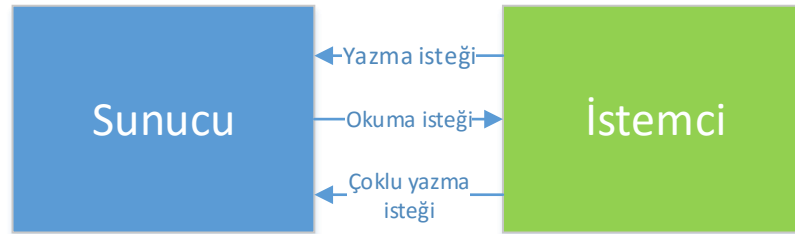
Servis altında servis kısaltması “Kalp Ritmi Monitörü (HRM)”, kalp ritmi değeri ve servis açıklaması bulunmaktadır [25].

	Nitelik Kodu	UUID	İzinler	Değer
Servis	0x001	Servis	Okuma	HRS
Karakteristik	0x002	CHAR	Okuma	HRM
	0x003	HRM	Okuma/Bildirim	80 bpm
Belirtici	0x004	DESC	Okuma	Bilgi

Şekil 3.7 : Örnek servis yapısı (kalp ritmi monitörü).

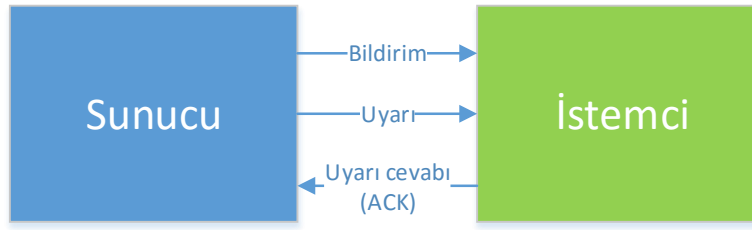
Bağlantı istemci tarafından kurulursa:

Yazma isteği ve çoklu yazma isteği yapabilir, sunucudan istemciye okuması istenen nitelikler bildirilebilir.



Şekil 3.8 : İstemci kaynaklı bağlantı.

Sunucu tarafından kurulan bağlantıda bildirim (Notification) ve uyarılar (Indication) gönderilebilir. Uyarılar için istemci bilgi (ACK) gönderir.



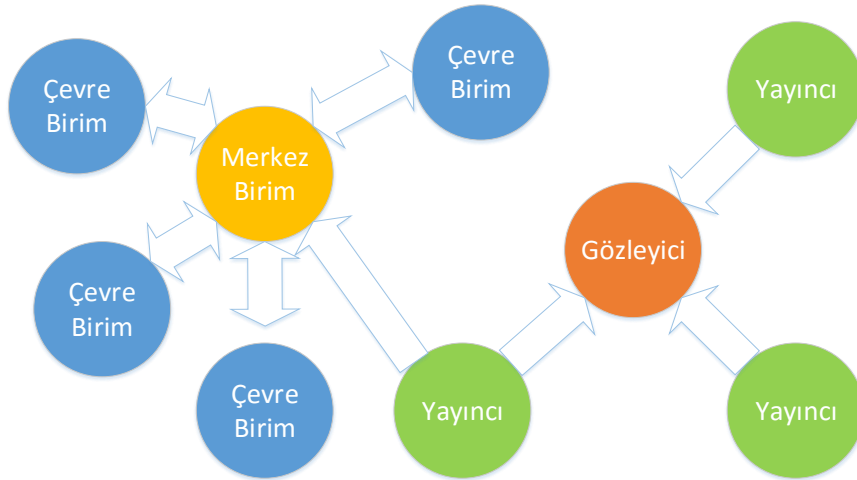
Şekil 3.9 : Sunucu kaynaklı bağlantı.

3.2.3 GAP

GATT data alışverişini tanımlamakta, GAP ise bağlantı prosedürünü belirlemektedir. Bağlantı kurma ve güvenlik GAP profili dahilindedir. Tüm BLE profilleri GATT ve GAP profillerini kullanır.

Bağlantı prosedürleri cihaz türlerine göre değişiklik gösterir. Tek yönlü ya da çift yönlü iletişim kuran cihazlar için farklı prosedürler tanımlanmıştır.

Yayıncı (Broadcaster), Gözleyici (Observer), Çevre Birimi (Peripheral) Ve Merkez Birim (Central) profil tiplerini tanımlar. GATT altında tanımlı sunucu ve istemci tanımlarından bağımsızdır.



Şekil 3.10 : BLE profil tipleri.

Yayıncı: Sadece veri gönderen uygulamalar için geliştirilmiştir.

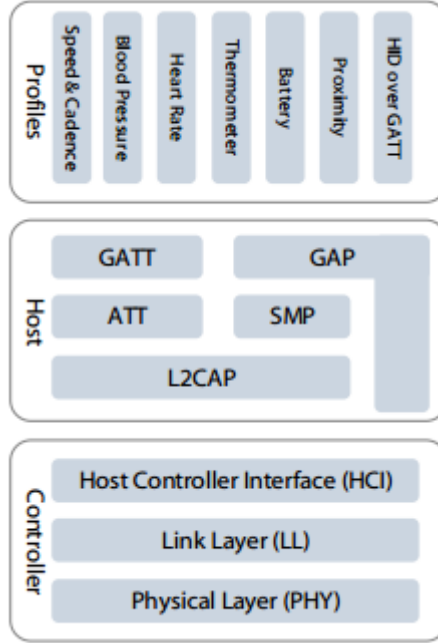
Gözleyici: Sadece veri alan uygulamalar için geliştirilmiştir.

Çevre birimi: Çift yönlü haberleşmeyi destekleyen uç birimler için geliştirilmiştir.

Merkez birim: Çift yönlü haberleşmeyi destekleyen bilgi toplayıcıları için geliştirilmiştir.

3.3 Uygulama Katmanı

BLE uygulamalarının oluşturulduğu üst seviyedir. Bu katmanda birden çok uygulama bulunabilir.



Şekil 3.11 : BLE protokol katmanları.

Bluetooth SIG tarafında standart haline getirilmiş servisler ve profiller bluetooth.org'da “Adopted Specifications” başlığı altında bulunabilir.

Uygulama gereksinimleri GATT, uygulama güvenliği ve bağlantı prosedürleri GAP tarafından belirlenir.

3.3.1 Profil

Katmanlar için gerekli fonksiyonları ve özellikleri, katmanlar arası iletişimi; bağlantı, tarama ve tanıma parametrelerini belirler. Bu parametreler, tarama süresi, tanıtım süresi, bağlantı güvenliği gibi parametrelerdir.

3.3.2 Servis

Karakteristik kümelerini, ilişkilerini ve formatlarını belirler.

Günlük hayatta kullanılmakta olan bir çok profil bulunmaktadır. Klavye ve fare gibi arayüz cihazları, kumandalar, sağlık ve spor cihazları örnek verilebilir.



Şekil 3.12 : BLE servisleri.

3.3.2.1 BLE özel servisler

Bluetooth SIG, GATT tabanlı birçok profil, servis ve karakteristik tanımlamıştır. GATT tabanı üzerine uygulama katmanında yapılacak geliştirmelerle özel servisler de oluşturulabilir. Tez kapsamında istemci ve sunucu modları için servis oluşturulmuştur, “0

BLE Konum Servisi” başlığı altında anlatılmıştır.

4. KAPALI ALAN KONUMLAMA SİSTEMİ

Sistem; konum takibi yapılacak hareketli düğümler, sabit düğümler ve sistem arayüzü olarak üç ana yapıdan oluşmaktadır.

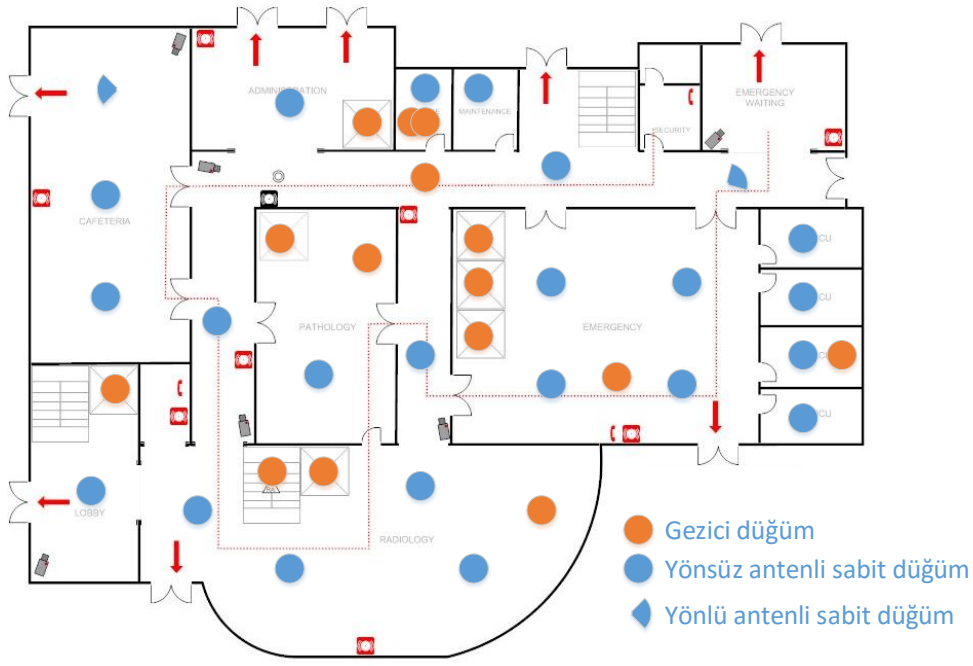
Pil ile çalışan, düşük güç tüketimli BLE hareketli düğümler tasarlanmıştır. Cihaz ID'si haricinde izinli konumlar, izinli olmadığı konumlar, seri numarası, kullanıcı gibi ek bilgileri de taşınabilmektedir.

Hareketli düğüm pil ömrünü daha verimli kullanabilmek için, sürekli aktif çalışmaktansa belirlenen süre boyunca uyku modunda kalıp periyodik olarak aktif moda geçer. Bu yöntemle 5 yıla kadar pil ömrüne sahiptir. Hareketli düğüme eklenen hareket sensörüyle uyku ve aktif modlar arası geçişler daha verimli bir yapıyla yönetilebilir, böylece konum değişikliği algılanarak sabit düğüme iletilebilir.

Kişi yaka kartı olarak tasarlanan E-ink ekranlı hareketli düğümden, standart hareketli düğüme ek olarak kişisel bilgiler, yasak bölgede olduğu bilgisi, pil durumu gibi bilgiler de gösterilebilir.

Sabit düğümler, kapalı alanlarda ve sınırlarda hareketli düğüm bilgilerini toplayacak donanımlardır. Alan büyüklüğüne göre sabit düğümlerinin sayısı birden fazla olabilir. Sabit düğümler AC şebekeden beslenir, BLE bloğu gezici düğümler ile aynı yapıdadır, farklı olarak düğümün konumuna göre yönlü ya da yönsüz anten seçimi yapılmıştır.

Hareketli düğümlere verilen izinleri analiz edip kapsama alanına giren ya da kapsama alanından çıkan hareketli düğümler için alarm oluşturabilir. Yönlü ve yönsüz antenlere sahip sabit düğümlerin kapsama alanındaki hareketli düğüm bilgileri bir arada değerlendirilerek tahmini konum belirlenebilir. Konum bilgisi hassasiyeti, veri toplama düğümlerinin sayısı ve sıklığı ile doğru orantılıdır. Alan ve sınır tanımları yapılırken yönlü ve yönsüz anten kullanımı ile bölgeler özelleştirilebilir.



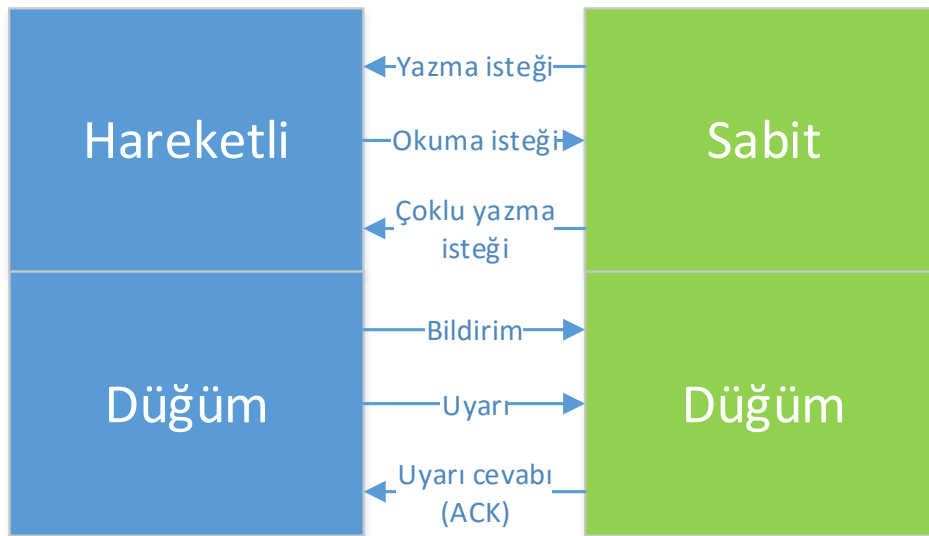
Şekil 4.1 : Örnek konumlama sistemi.

Anlık bilgiler ya da durum geçmişi merkez yazılım ile görüntülenebilir, hareketli düğüme ait bilgiler bu arayüzden düzenlenebilir; pil seviyesi, sıcaklık gibi sensör bilgilerinin kontrolü bu arayüz üzerinden kontrol edilebilir.

4.1 BLE Konum Servisi

4.1.1 Hareketli düğüm yazılımı

Oluşturulan özel servis ile periyodik tanıtım mesajları ile sabit düğümlere erişir.



Şekil 4.2 : Hareketli düğüm – sabit düğüm haberleşmesi.

Batarya seviyesini uyarı olarak, sabit düğüm tarafından istenmesi halinde sıcaklık bilgisini ve yerel veri tabanındaki bilgileri bildirim olarak paylaşır. Sabit düğüm tarafından yerel veri tabanı içerği değiştirilebilir.

4.1.2 Sabit düğüm yazılımı

Merkez yazılımla hareketli düğümler arası köprü görevindedir. Hareketli düğümlerin yerel veri tabanına veri yazabilir, okuma yapabilir. BLE üzerinden UART arayüzü ile aldığı konum bilgilerini işleyerek Ethernet arayüzü ile ağ üzerinden merkez yazılımın bulunduğu bilgisayara aktarır.

RSSI değerlerinden alınan son on örneği kullanır, standart sapma değerinden belirlenen eşik dışında kalan ölçümü ortalama dışında bırakır.

Standart sapma, değerin ortalama değere farkının karesinin alınmasıyla hesaplanır. Böylece hata değerinin pozitif ya da negatif olmasının önemi ortadan kaldırılarak farklı işaretli hataların birbirini sıfırlama ihtimali ortadan kaldırılmış olur.

Standart sapma:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x')^2} \quad (4.1)$$

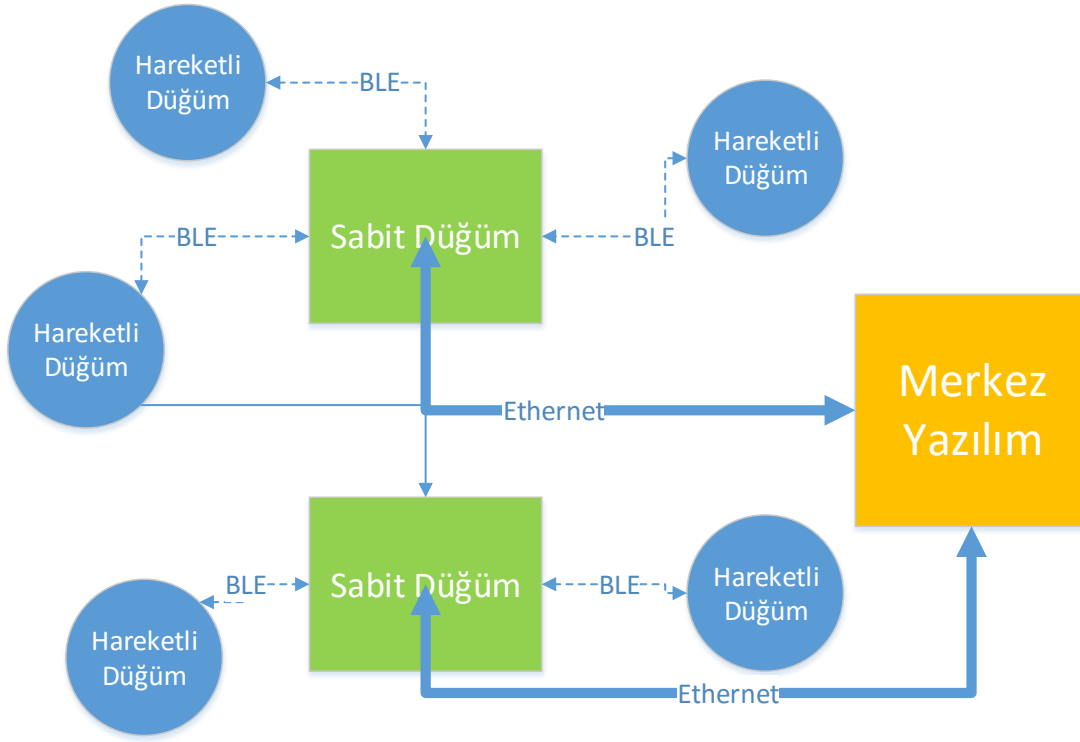
İle hesaplanır.

Böylece anlık değişimleri filtreleyerek ölçüm stabilizasyonunu sağlar. RSSI işlemleri sabit düğüm üzerinde yapılır, Sabit düğüm ile ilişkisi kesilen ve yeni keşfettiği hareketli düğümleri merkez yazılıma uyarı olarak bildirilir.

4.1.3 Merkez yazılım

Sistemin koordinasyonunu sağlayan yazılımdır. Sabit düğümlerden toplanan bilgilerin işlenmesi ve kullanıcıya aktarılmasını sağlar.

Hareketli düğümün izinli ve izinsiz bölgeleri bu arayüz ile belirlenir. Hareketli düğüm konum bilgilerini bölgelere göre kategorize ederek kullanıcıya sunar. Bölge değişiklikli yapan cihazları vurgular, bildirim ve uyarıları listeler. Hareketli düğüm yerel veri tabanından sabit düğümler aracılığıyla okuma ve yazma yapabilir.



     4.3 : BLE konum servisi blokları.

4.2 Donanım Tasarımı

4.2.1 Hareketli düğüm donanımı

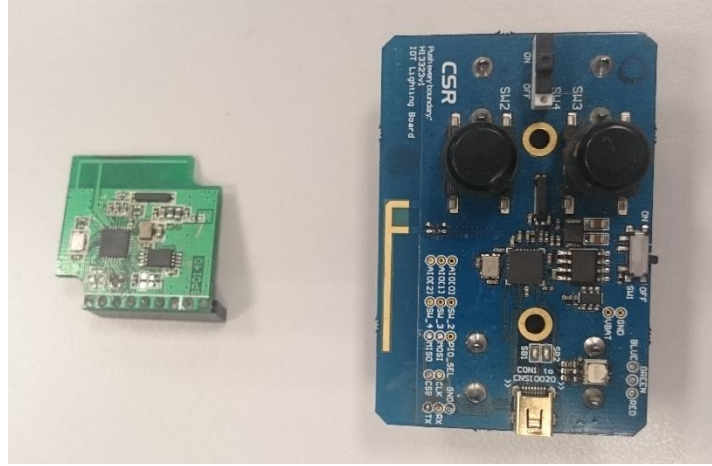
Kapalı alanlarda cihazların belirlenen alanlarda bulunmasının kontrolü, alan dışına çıkması ve yasak alanlara girmesinin istenmediği durumlarda kullanılması amaçlanmaktadır.

Blok, temel olarak CSR1010 BLE entegresi ve  evre komponentlerinden oluşmaktadır [26].

CSR1010, Bluetooth Low Energy teknolojisini desteklemektedir. 7.5dBm çıkış gücüne ve 92.5dBm alı  hassasiyetine sahiptir.

CSR1010 1.8 – 3.6V gerilim aralığında çalışabilir. Düşük t k tim modunda 900nA, data gönderirken 16mA maksimum akım değerine sahiptir. 12 dijital giriş-çıkış, 3 10-bit ADC, 4 PWM modülü, UART, I2C ve SPI içerir. Dahili işlemci, 64KB ROM’a ve 64KB RAM’e sahiptir, SPI üzerinden programlanabilir. Batarya seviyesi ve sıcaklık değerini raporlayabilir.

Dahili balunu ile 50 Ω RF çıkışı vardır. Anten bağlantısı için 50 Ω mikro şerit hat ile bağlanması yeterlidir.



Şekil 4.4 : CSR1010 referans tasarımı.

CSR referans tasarımı taslak kabul edilmiştir ve ölçüm alınması gerekebilecek düğümlere test noktaları eklenmiştir.

Sabit düğümlerde bulunan BLE besleme gerilimi 3.3V regülatör ile, Hareketli düğümlerde besleme gerilimi 3V pil ile sağlanacaktır.

CSR1010 dahili SMPS'i ile 1.35V iç gerilimini kendi üretir. SMPS'in ihtiyaç duyduğu endüktans ve kapasiteler çevre komponent olarak eklenmiştir. Ayrıca SMPS'in sebep olacağı gürültü de LC filtre ile süzölmüştür. Hold-up kapasiteleri referans tasarıma göre seçilmiş ve yerleştirilmiştir.

CSR1010 2.4GHz haberleşmesi için 16MHz'lik, düşük güç modunda çalışırken kullanacağı 32.768KHz'lik kristallere ihtiyaç duymaktadır. 16MHz kristal toleransından dolayı RF çıkış frekansında oluşacak sapmalar, dahili ince ayar devresiyle düzeltilerek RF çıkış frekansı doğruluğu sağlanır. 16MHz kristalin XTAL_IN kapasitesi ince ayar yapılabilmesi için XTAL_OUT kapasitesinden daha düşük değerli seçilmiştir. 32.768Khz'lik kristal de 16MHz kristal referans alınarak doğrulanabilir.

Gerekli depolama alanı için 512KB harici EEPROM, CSR1010 ile I2C ile haberleşmektedir. EEPROM'un I2C adresi 000 seçilmiştir. Besleme gerilimi CSR1010 PIO[2] pini üzerinden verilmektedir. Böylece EEPROM kullanılmadığı durumlarda kapatılabilecektir.

PCB'nin üst ve alt katmanı topraklanmıştır. Topraklanan alan 2.4GHz antenin bir parçası gibi davranması nedeniyle anten performansı için önemlidir [28].

PCB tasarımı kutu boyutlarına uygun tasarlanmıştır. 1adet CR2032 pil ile kullanılacaktır. Kutu boyutları 35mmx50mmx20.3mm'dir.



Şekil 4.5 : Hareketli düğüm donanımı.

4.2.2 E-INK hareketli düğüm donanımı

Kapalı alanlarda kişilerin belirlenen alanlarda bulunmasının kontrolü, alan dışına çıkması ve yasak alanlara girmesinin istenmediği durumlarda kullanılması amaçlanmaktadır. E-Ink ekran sayesinde kimlik bilgisi gibi ayrıntılar elektronik yaka kartı üzerinde görüntülenebilir olacaktır.

CSR1010 SPI arayüzü ile Pervasive Displays EM027BS013 ürünü beraber kullanılmıştır [27]. E-ink, sık yenilenmesi gerekmeyen uygulamalarda klasik LCD ekranlarla karşılaştırıldığında çok büyük tasarruf sağlamaktadır. E-ink yapısı sadece yenilenme sırasında enerji harcar, sabit görüntü anında enerji harcamaz. Bu yapıyı “E-book Reader” örneklerinde görmek mümkündür.

E-ink yapısı bekleme modunda güç tüketmediği gibi, Bluetooth 4 yapısının da uyku modlarını kullanarak pil ömrünün uzunluğunu sağlamaktadır. İki teknolojiyi bir arada kullanarak düşük güç tüketimli bir donanım geliştirilmiştir.

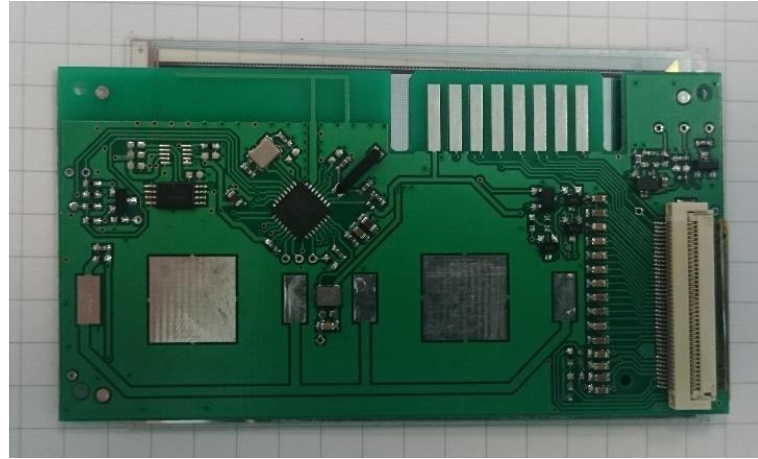
Ekranın kontrolü için gerekli olan giriş çıkış bağlantıları yapılmıştır. Ekranın gücünü tamamen açıp kapatabilmek için bir devre daha eklenmiştir. Bu devre ile ekran beslemesi tamamen kesilebildiği için kaçak akımlar da önlenmiş olacaktır. CSR1010

programlaması da SPI hattı üzerinden yapılacağı için ekranın tamamen kapatılabilmesi, oluşabilecek parazitleri önlemek için de gereklidir.

PCB tasarımında tüm komponentler tek yüzde toplanmış, diğer yüz e-ink ekran için destek olarak kullanılmıştır. İki adet CR2032 pil ile kullanılacaktır.



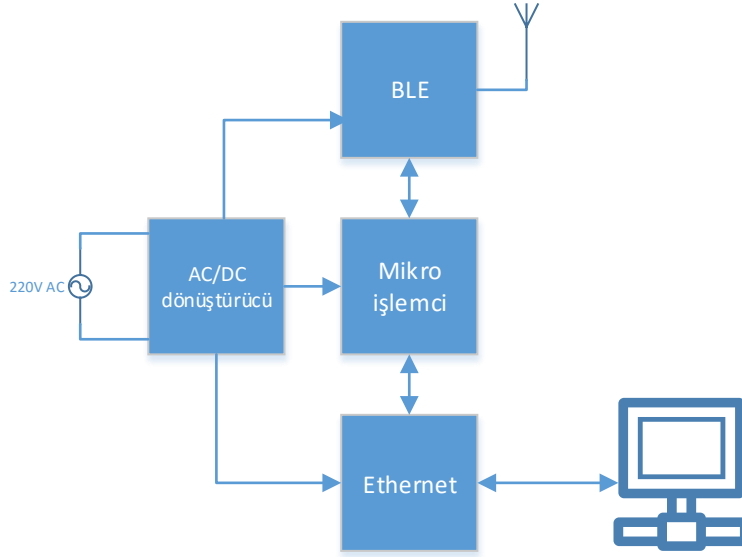
Şekil 4.6 : E-ink hareketli düğüm donanımı ön yüz.



Şekil 4.7 : E-ink hareketli düğüm donanımı arka yüz.

4.2.3 Sabit düğüm donanımı

Sabit düğümler 220V AC şebeke ile çalışabilir olarak tasarlanmıştır. Bu donanımın kontrolünü STM32F101RCT6 sağlamaktadır. Hareketli düğümlerle haberleşmek için BLE, merkez yazılım ile haberleşmek için Ethernet arayüzü kullanılacaktır. Sistem istenilirse 3G desteği de sunabilmektedir ancak bu donanımda bu blok kullanılmamıştır.



Şekil 4.8 : Sabit düğüm blokları.



Şekil 4.9 : Sabit düğüm donanımı.

Cihaz boyutları 102.3x126.3x51.2mm'dir.

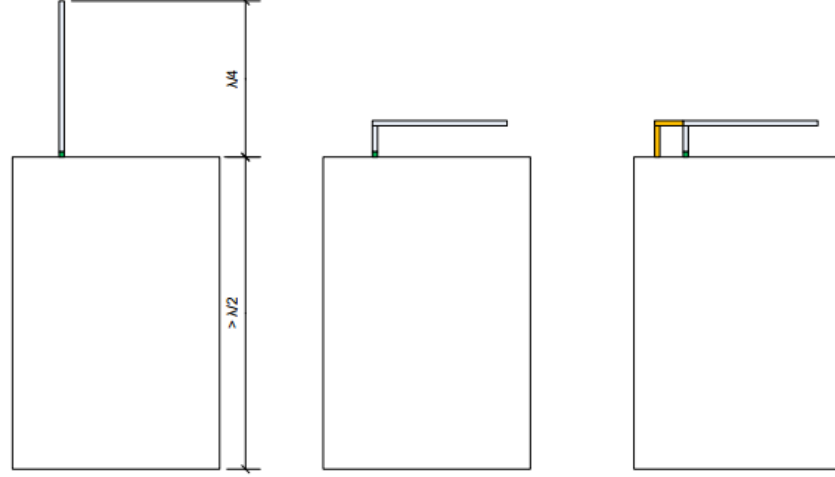
4.3 RF Tasarım

Sistemde kullanılmak üzere yönlü ve yönsüz olmak üzere iki adet 2.4GHz anten tasarlanmıştır.

Hareketli düğümlerde yönsüz anten, Sabit düğümlerde kullanılacağı konuma göre yönlü ya da yönsüz anten tercih edilmiştir.

4.3.1 2.4 GHz yönsüz anten tasarımı

Anten yapısı olarak “Inverted F” seçilmiştir. PCB üzerine çizilen bu anten, baluna ve empedans uyum komponentlerine ihtiyaç duymadığı için maliyet önemli uygulamalarda tercih edilmesi uygundur [28].



Şekil 4.10 : IFA yapısı.

Inverted F anten yapısında çeyrek dalga boylu anten hattının ucu açık devre, köşesi endüktans üzerinden devrenin toprağına bağlıdır. Temel olarak monopol anten yapısı gibi görünse de toprak alanına olan bağlantısı ile yayınımlı dipol anten gibidir. Bu nedenle antenin toprakla bağlantısı olduğu bölgede yarım dalga uzunluğunda toprak alan gereklidir. Toprağına bağlı uç, 2.40GHz- 2.48GHz frekans aralığında rezonansa girecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece RF güç toprağına değil RF antene aktarılır.

Anten PCB'nin üst katmanında yer alır, antenin bulunduğu bölgede alt katmanda toprak alan bulunmamaktadır. Güç ve kristal topraklamaları alt katmandaki toprağına bağlanarak RF hattın bağlı olduğu toprağına dolaylı olarak bağlanmıştır.

Tasarlanan anten için 2.45GHz merkez frekans, %7 band genişliği ve 10dB dönüş kaybı hedeflenmiştir.

PCB malzemesi olarak FR4 seçilmiştir. Elektromagnetik ışıma FR4 üzerinde hareket edeceği için, FR4'ün dielektrik sabiti ve 2.4GHz'deki efektif değeri önemlidir.

Hız faktörü:

$$V_f = \frac{1}{\sqrt{E_{r_eff}}} \quad (4.2)$$

Propagasyon hızı:

$$V_p = c \cdot V_f \quad (4.3)$$

Dalga boyu:

$$\lambda = \frac{V_p}{f} \quad (4.4)$$

Er_eff: efektif bağıl geçirgenlik

c: ışık hızı (m/s)

Vp: propagasyon hızı (m/s)

f: frekans (Hz)

Er_eff=2.05 kabulu ile denklemler ve parametreler kullanılarak 2.45GHz için efektif dalga boyu hesaplandığında:

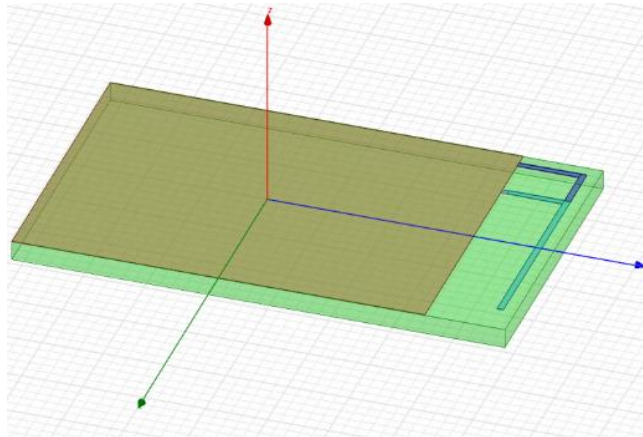
$$\lambda_{eff} = \frac{c}{f \cdot \sqrt{E_{r_{eff}}}} = \frac{300 \times 10^6}{2.45 \times 10^9 \times \sqrt{2.05}} = 85mm \quad (4.5)$$

$$\frac{\lambda_{eff}}{4} = 21.25mm \quad (4.6)$$

olarak bulunur.

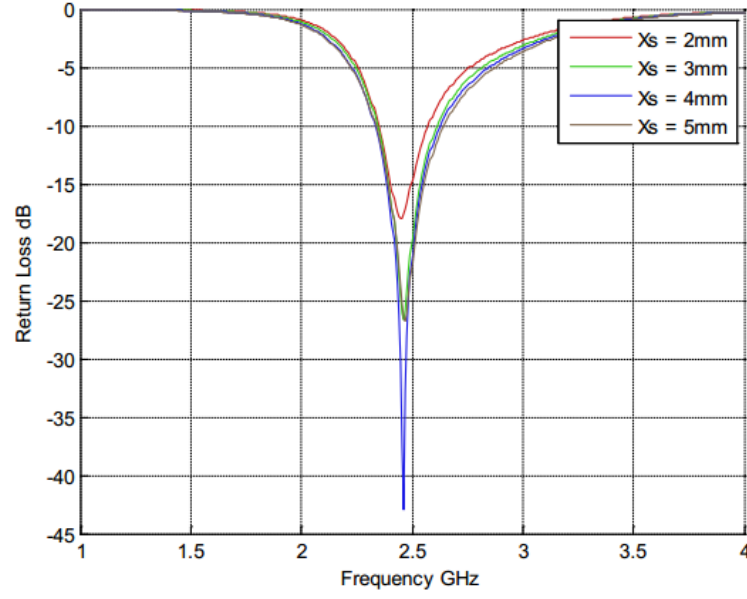
Anten hattı üst katmandaki toprak alan ile paraleldir. Aradaki mesafe azaltıldığında Q artar, band genişliği azalır. Bu parametre antenin bulunduğu ortamla da değişir. Bu parametre için band genişliğinin yeterli olduğu optimum değer seçilmelidir. Anlatılacak benzetimler sonucu bu parametre 5mm seçilmiştir.

Toprağa olan bağlantının uzunluğu, toprağa olan endüktans değerini belirleyecektir. Anten hattının kapasitif etkisiyle rezonans için bu değer benzetimle hesaplanmıştır.



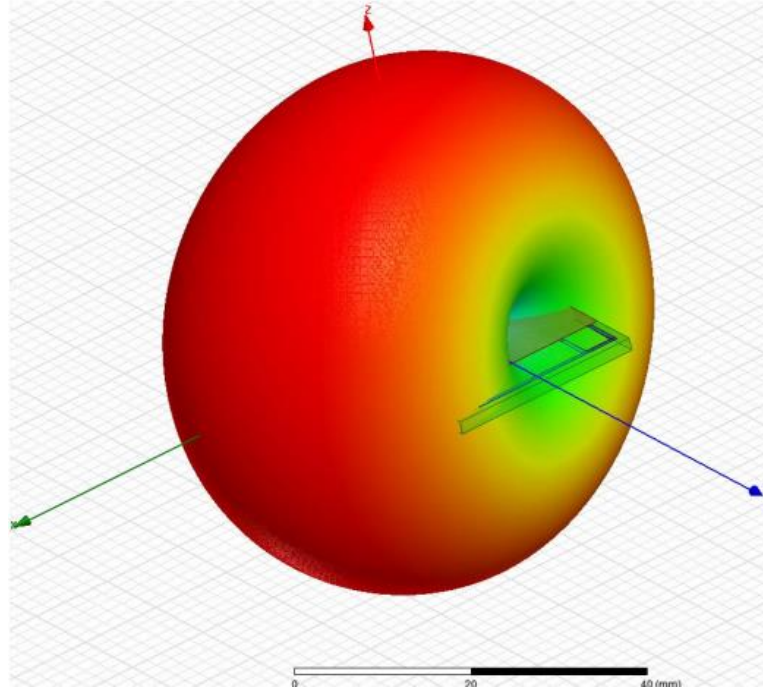
Şekil 4.11 : IFA benzetimi.

Anten hattının toprağa uzaklığı 5mm'dir. Endüktansın toplam uzunluğu $5+X_s$ mm olarak hesaplandığında benzetim sonuçları aşağıdaki gibidir.

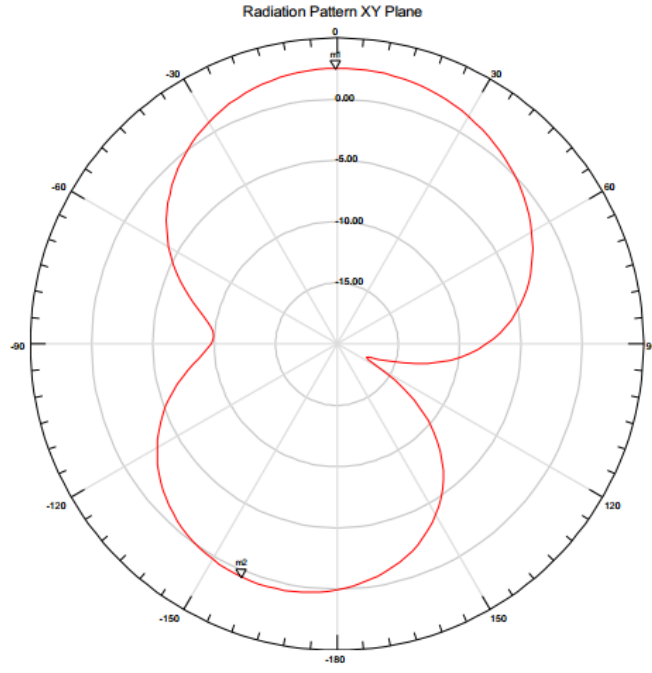


Şekil 4.12 : Farklı X_s değerleri için frekans bandı – dönüş kaybı.

$X_s=4\text{mm}$ seçilmiştir. Belirtilen değerler için yayınının 3 boyutlu ve 2 boyutlu izdüşüm gösterimleri aşağıdaki gibidir.

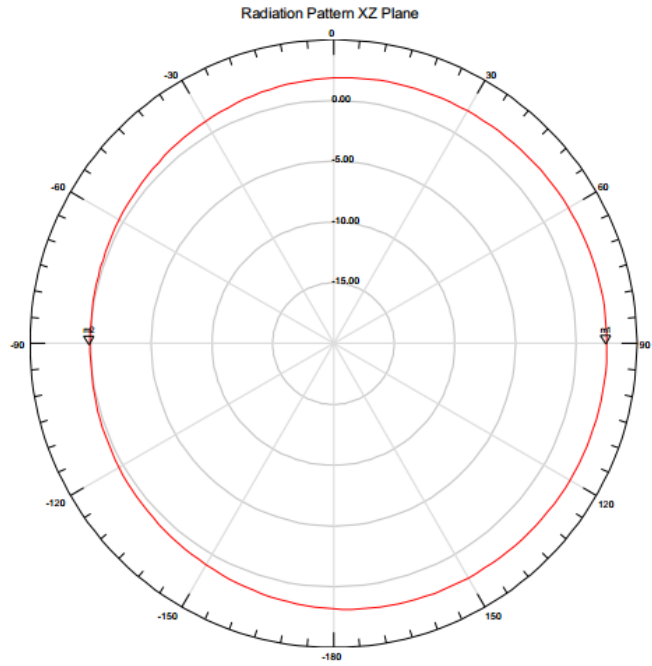


Şekil 4.13 : Antenin 3 boyutlu ışıma modeli.

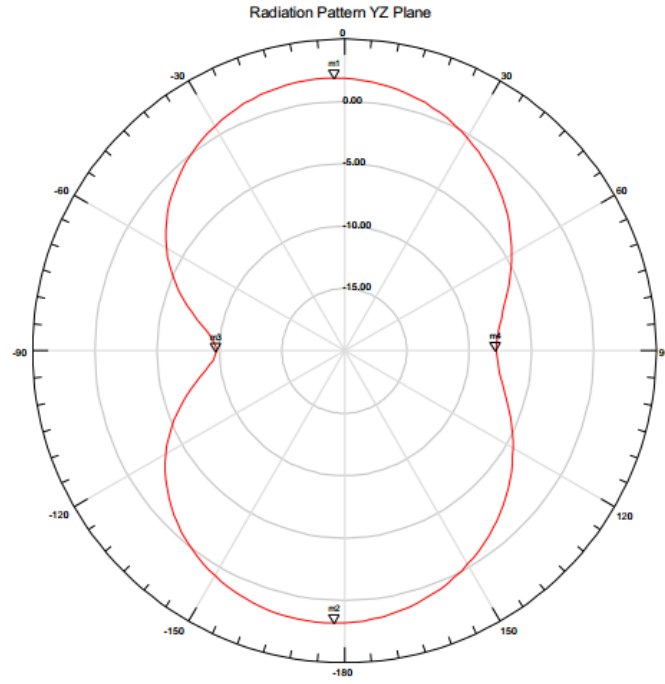


Şekil 4.14 : XY düzleminde ışıma modeli.

XZ düzleminde oldukça eşit dağılımlı, diğer düzlemlerde ise farklı açılar için birbirine yakın değerlerde ışıma yapmaktadır.

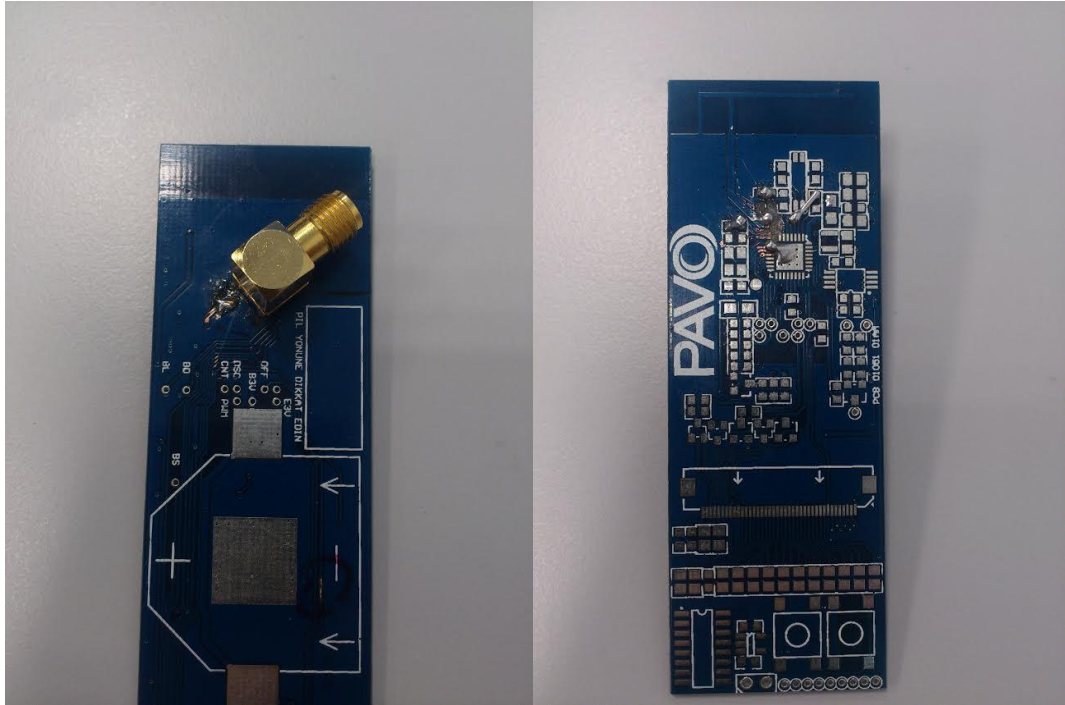


Şekil 4.15 : XZ düzleminde ışıma modeli.



Şekil 4.16 : YZ düzleminde ışıma modeli.

Benzetimler sonucu elde edilen değerlerle tasarlanan PCB üzerindeki 50 Ω mikro şerit hat üzerine SMA konnektör takılarak ölçümler yapılmıştır. PCB üzerinde yapılan müdahale ölçüm sonuçlarını çalışır duruma göre kısmen kötüleştirecektir.



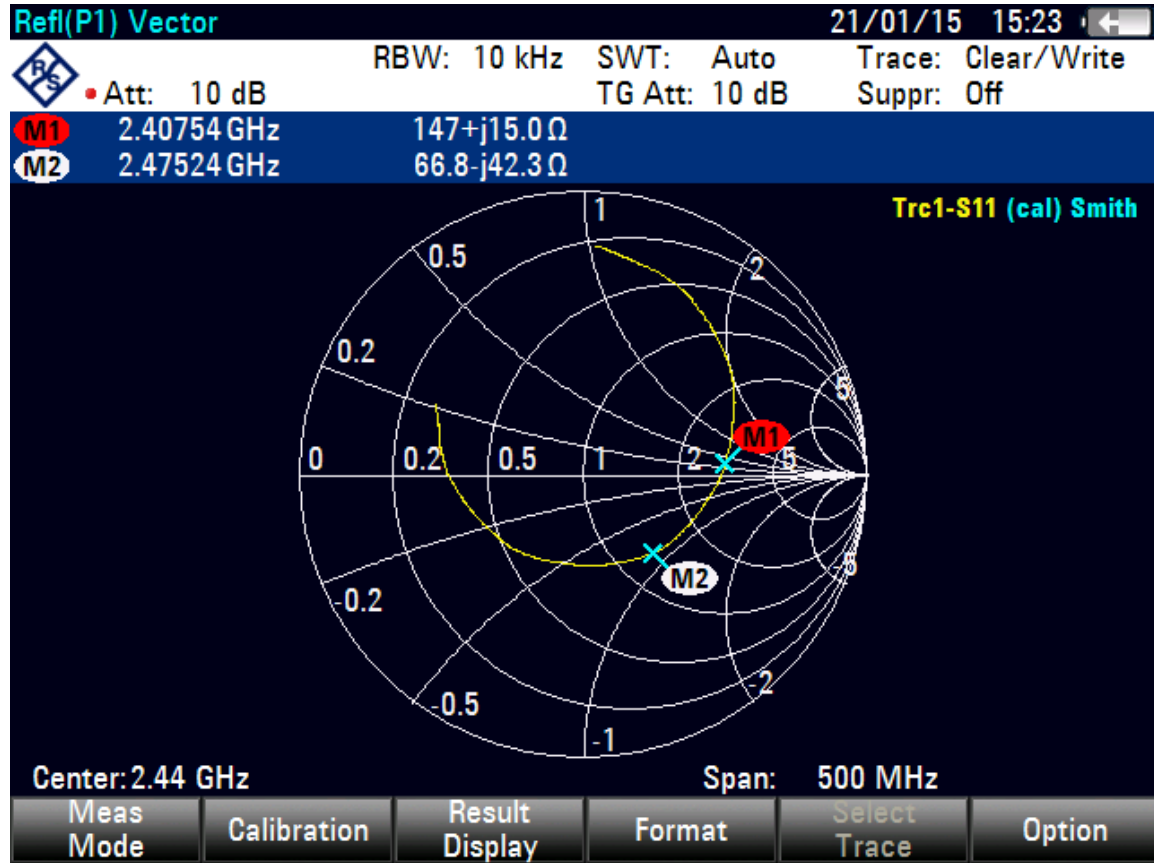
Şekil 4.17 : Anten ölçümü için hazırlanan PCB.

Yapılan ölçüm sonuçlarına ait S11 smith chart, S11 genlik, duran dalga oranı ve yansıma katsayısı grafikleri aşağıdadır.

FR4 (Glass Epoxy), RF tasarım için kaybı yüksek olsa da PCB üzerinde genel amaçlı komponentlerin de bulunması ve düşük maliyet göz önünde bulundurulduğunda tercih edilebilir. Ölçüm sonuçları FR4 ile tasarım kriterlerini sağladığı için FR4 ile devam edilecektir.

Çizelge 4.1 : Dielektrik sabitleri [29].

Dielektrik malzeme	FR4	Rogers 4350	Rogers 4003	Taconic TLX-8	Arlon TC350
Dielektrik sabiti	4.2	3.48	3.38	2.55	3.5



Şekil 4.18 : S11 smith chart gösterimi.

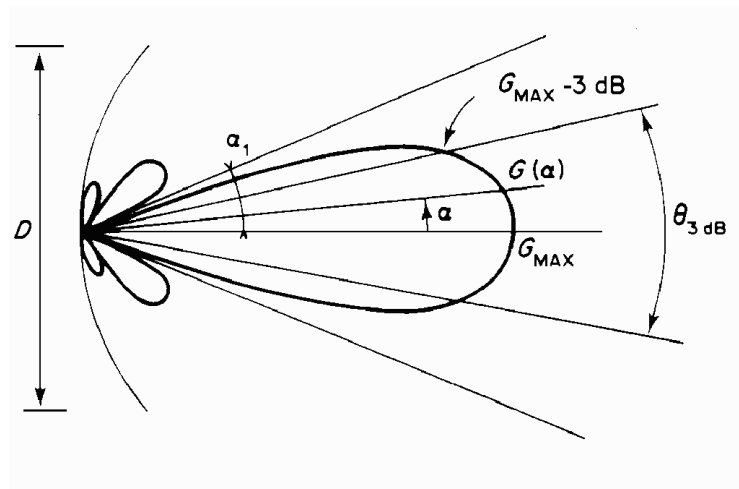


Şekil 4.19 : S11 genlik gösterimi.

4.3.2 2.4 GHz yönlü anten tasarımı

Yönlü anten için “Loop Antenna” topolojisi baz alınmıştır. 2.44GHz merkez frekanslı, tek rezonans frekansına sahip ve 80MHz band genişliği ile 2400-2480MHz bandını kapsamaktadır [30].

Loop anten, yapısı gereği iki zıt yöne yayınım yapar. Tam dalga boyu loop antenin tek yönlü olması için ikinci bir PCB ile yönlendirme yapılmıştır. $-z$ yönünde azaltılan sinyal gücü, yansıma ile $+z$ yönünde kuvvetlendirme sağlamıştır. Anten ve yansıtıcı arasındaki sabit mesafe hava boşluğu ile hesaplanmıştır.

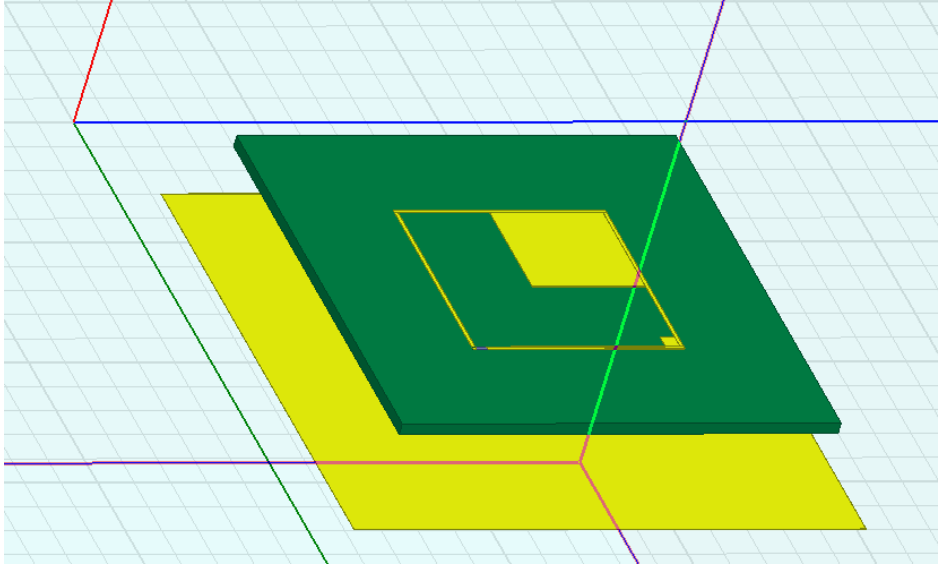


Şekil 4.20 : Yönlü anten ışıması [31].

Tasarımda PCB altlığı olarak 1.6mm FR4 tercih edilmiştir. Yaygın kullanımı ve uygun maliyeti tercih sebebi olmuştur.

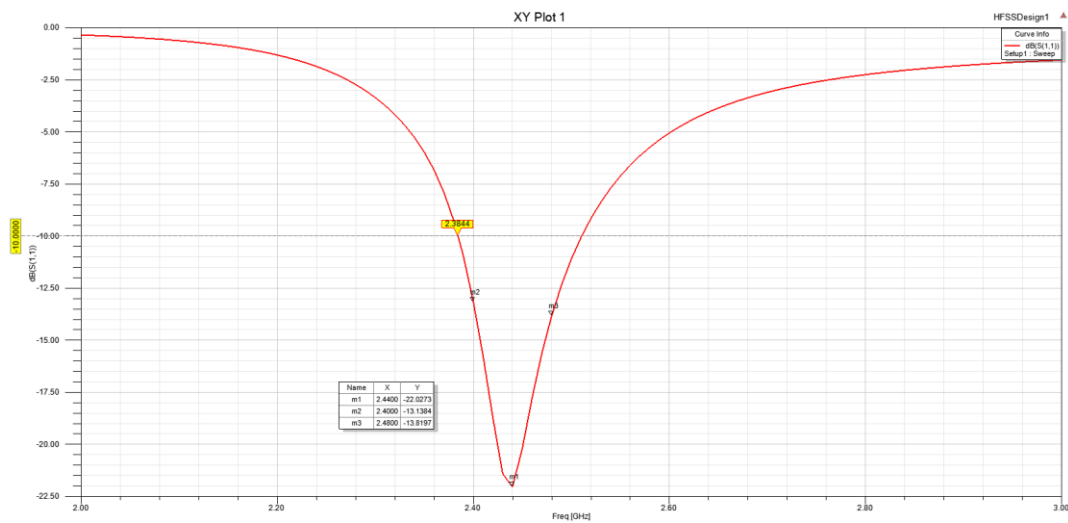
Anten PCB'si 60mmx60mm, loop anten 29mmx29mm 0.5mm yol kalınlığı ile, 15.5mmx15.5mm ve 2mmx2mm iki adet ince ayar bloğundan oluşur.

Yansıtıcı 70mmx70mm topraklanmış metaldir. İki PCB arası hava boşluğu 11mm olarak seçilmiştir. Bu mesafe standart sıra pin ve karşılığının toplam yüksekliğidir.



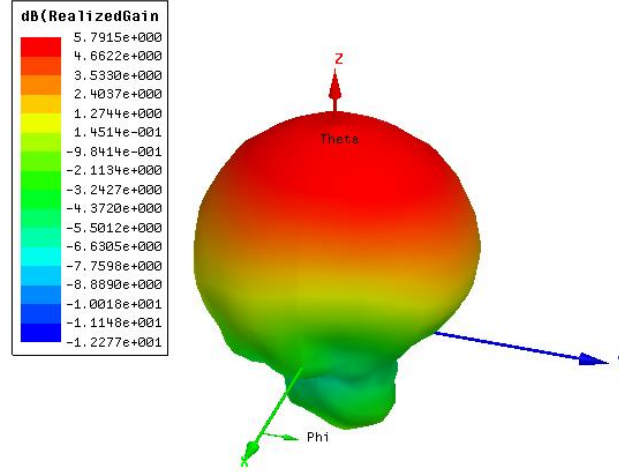
Şekil 4.21 : Tasarlanan yönlü anten.

S11 değerleri band aralığında -13dB'den daha düşüktür, bu oran antene iletilen gücün %95'inin kullanıldığını gösterir.



Şekil 4.22 : Yönlü anten için S11 grafiği.

Anten yönlendirmesi büyük oranda sağlanmıştır. PCB boyutlarının küçüklüğü en öncelikli kriter olarak düşünüldüğünde, anten yönlendirme oranı için en iyi değerlere ulaşılması hedeflenmiştir.



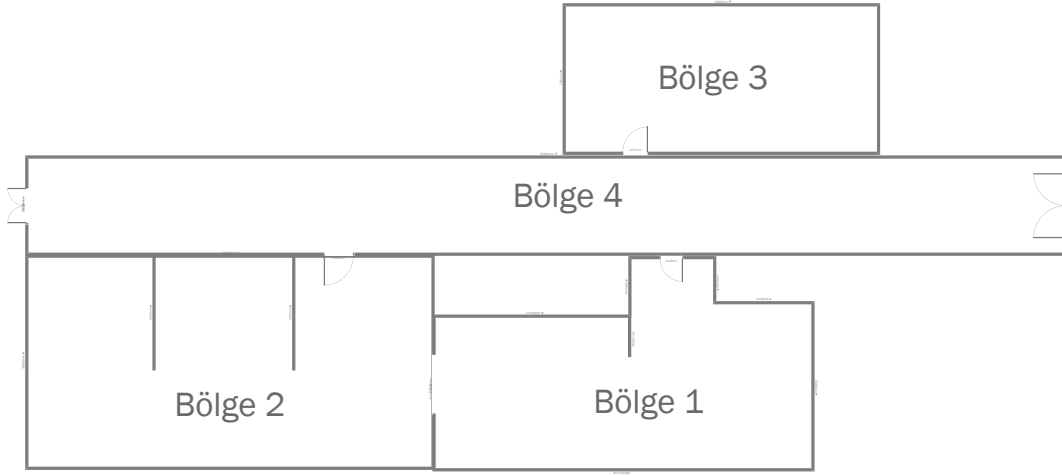
Şekil 4.23 : Yönlü anten ışıması.

Yönlendirilmiş antenin +z ekseninde ulaştığı maksimum kazanç değeri 5.8dB'ye ulaşmaktadır. Diğer yönlerde kazanç yaklaşık olarak -3dB'dir. Anten kazancı için istenilen yönlendirme sağlanmıştır.

4.4 Sistemin Gerçeklenmesi

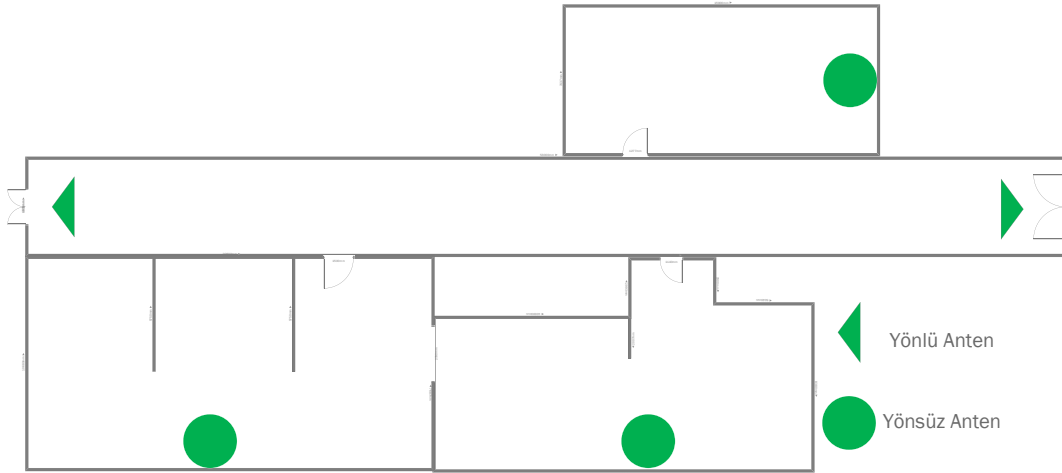
Sistem gerçekleştirilmesi ofis ortamında yapılmıştır. Ofiste ve hareketli düğüm yakınlarında çok sayıda elektronik cihaz ve insan bulunması hata oranını arttıracaktır. Cihazların ve insanların hareketli oluşu sistemin hata oranında değişken olmasına neden olacaktır. Gerçeklemedeki öncelik cihazın konum bilgisini metre hassasiyetinde almak yerine bulunduğu ortamı belirlemek, ortam değişikliğini raporlamak ve ortam bilgisini periyodik olarak kontrol etmektir.

Sistem, ofis içindeki öncelikli 4 bölge için tanımlanmıştır. Bölge 1 ve Bölge 2 ofis içinde tasarım bölümünü, Bölge 3 giriş kapısı ve yangın çıkışının bulunduğu koridoru, Bölge 4 ise üretim bölümünü temsil etmektedir.



Şekil 4.24 : Sistem bölgeleri.

Sabit düğüm konumları tüm alanı kapsayacak ve sınır geçişlerini algılayacak şekilde, yönlü veya yönsüz anten tercihiyle bölgelere uygun seçilmiştir. Kapsama alanını sağlamak ve aynı bölgedeki iki sabit düğüm bilgisini kullanarak, alan içindeki tahmini konumu belirlemek de mümkündür.



Şekil 4.25 : Sabit düğüm konumları.

Sabit düğümler yerleştirildikten sonra, hareketli düğümler bölge sınırlarına ve bölge içlerine yerleştirilerek örnekleme yapılmış; sabit düğüm konumları iyileştirilmiştir.

4.5 Test Senaryosu

Statik ve dinamik konumlu hareketli düğümlerle iki test yapılmıştır. Bu testlerle sistemin periyodik kontrolleri, konum saptaması ve konum değişikliklerini algılaması denenmiştir.

4.5.1 Statik test

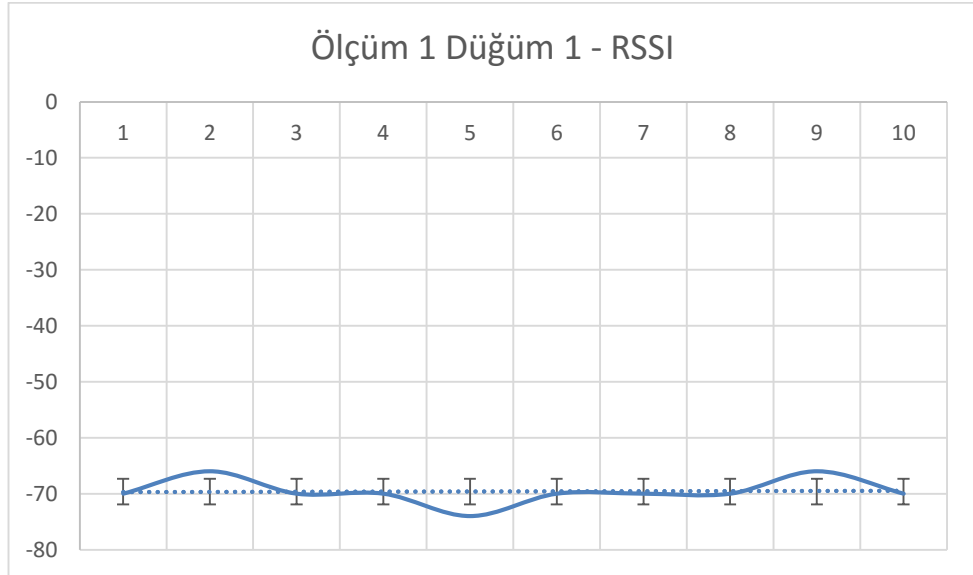
Hareketli düğümler için sabit konumlar belirlenerek bölge tanımlamaları ve birden fazla sabit düğüm kapsama alanındaki düğümler için konum bilgisi oluşturulmuştur.

Bölge 1'e yerleştirilen hareketli düğümlerin son 10 RSSI değeri alınarak standart sapması hesaplanmıştır. Böylece standart sapmanın dışında kalan değerler hesaplama dışı bırakılarak anlık gürültü ve geçici rejimlerin etkisini azaltılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2 : RSSI değer tablosu.

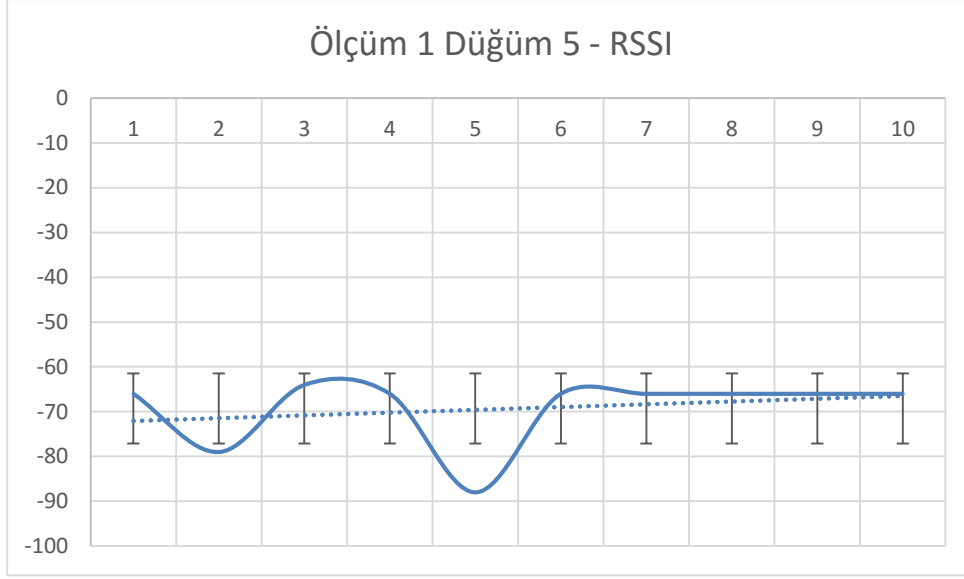
Düğüm no	örnek 1	örnek 2	örnek 3	örnek 4	örnek 5	örnek 6	örnek 7	örnek 8	örnek 9	örnek 10	Ortalama	Varyans	Standart sapma
1	-70	-66	-70	-70	-74	-70	-70	-70	-66	-70	-69,6	5,1	2,27
2	-66	-70	-66	-70	-70	-71	-70	-79	-74	-74	-71	15,1	3,88
3	-74	-70	-74	-70	-70	-79	-70	-79	-74	-64	-72,4	20,9	4,57
4	-66	-74	-74	-75	-74	-66	-79	-70	-74	-79	-73,1	20,7	4,55
5	-66	-79	-64	-66	-88	-66	-66	-66	-66	-66	-69,3	60,9	7,80
6	-70	-61	-70	-61	-66	-61	-66	-61	-58	-59	-63,3	19,1	4,37
7	-59	-59	-59	-61	-59	-61	-59	-61	-66	-61	-60,5	4,7	2,10
8	-74	-66	-64	-74	-61	-58	-66	-66	-66	-70	-66,5	26,0	5,10

Ölçüm değerleri stabil olan düğüm 1 için RSSI değerleri Şekil 4.26 : 43'da verilmiştir.



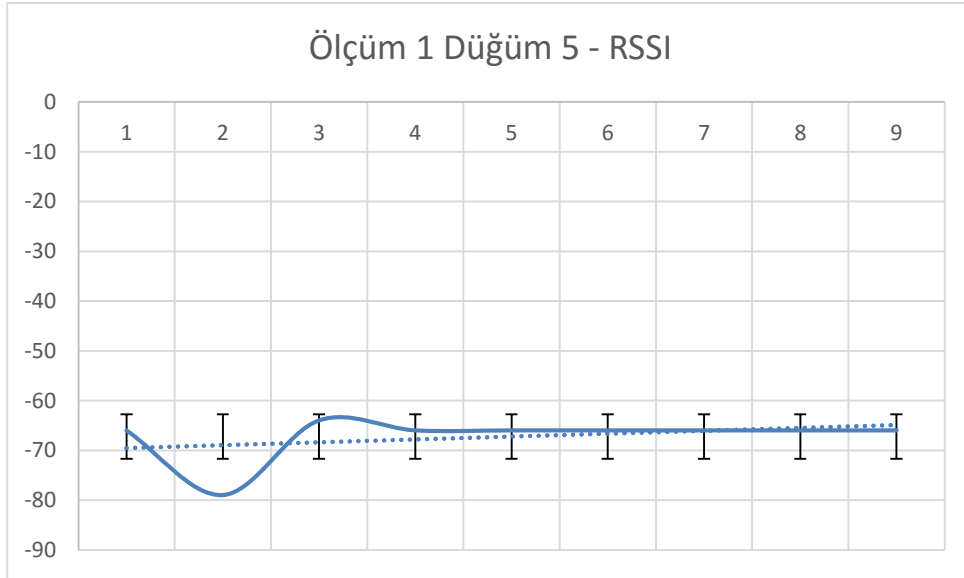
Şekil 4.26 : Düğüm 1 RSSI ortalaması ve standart sapma.

Ölçüm değerlerinde anlık sapmalar olan düğüm 5 RSSI değerleri Şekil 4.27 : 'de verilmiştir.



Şekil 4.27 : Düzüm 5 RSSI ortalaması ve standart sapma.

Bu düğüm için 5. ölçüm değeri ortalama dışında tutularak tekrar hesaplandığında sonuçlar Şekil 4.28 :’da verilmiştir.

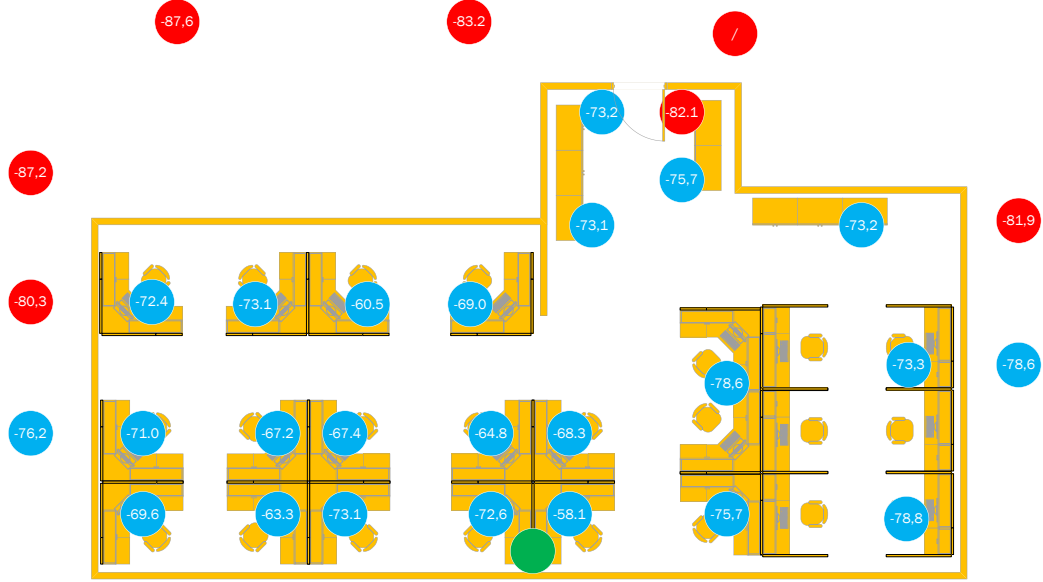


Şekil 4.28 : Düzüm 5 RSSI değerlerinin filtrelenmesi.

Filtrelenmiş sonuçlar yanlış alarmların önlenmesini ve bölgeler arası geçiş algılama için stabil sonuçlar elde etmek için kullanılmıştır. Bu işlem standart sapmanın 5 ve üzerinde olduğu durumlarda kullanılmıştır.

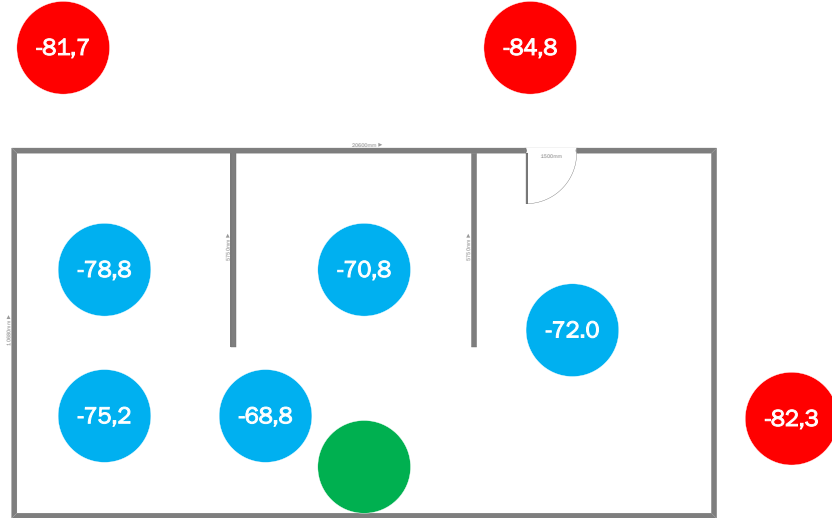
Bölge 1 için RSSI değeri eşiği -80 olarak belirlenmiştir. Tek sabit düğümle tüm bölge kapsanmıştır. Belirlenen eşik değerine göre kapsama alanı içinde kabul edilen

düğüm mavi, kapsama alanı dışında kabul edilen düğümler kırmızı ile gösterilmiştir.



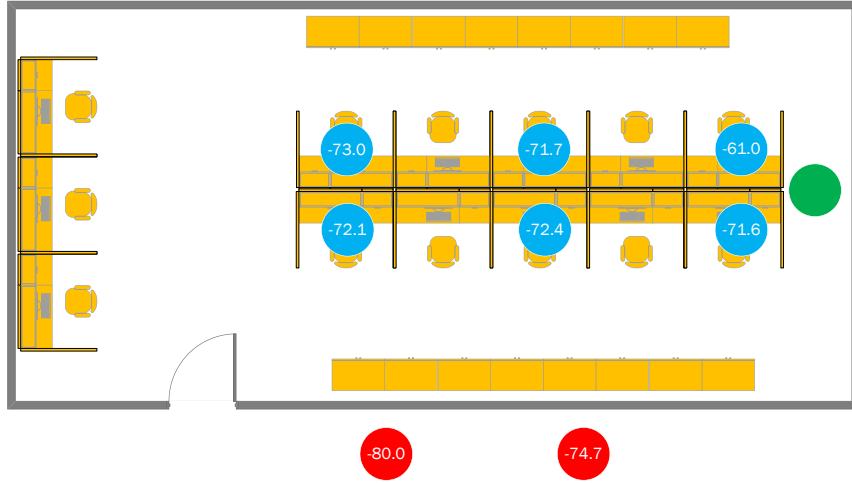
Şekil 4.29 : Bölge 1 için RSSI haritası.

Bölge 2 için de aynı kriterlerle ölçümler yapılmış ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır.



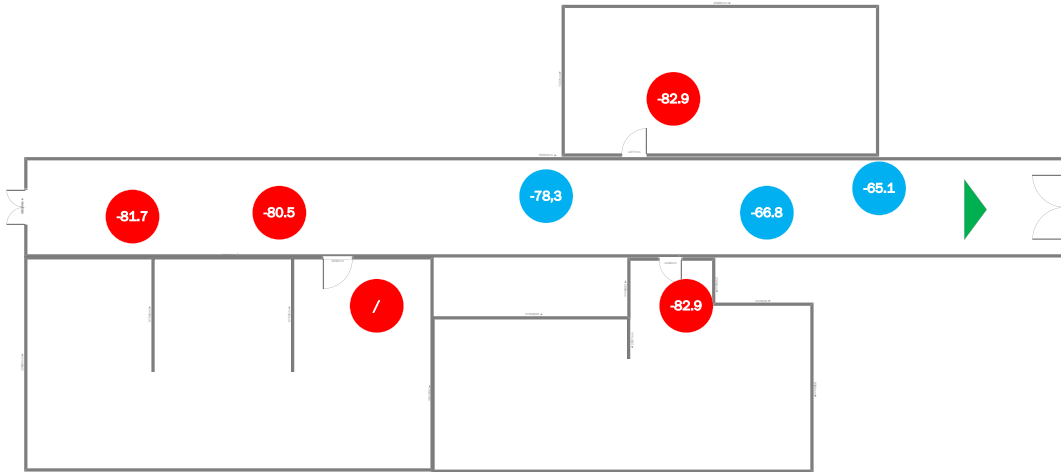
Şekil 4.30 : Bölge 2 için RSSI haritası.

Bölge 3 diğer bölgelere göre küçük ve diğer bölgelerden farklı olarak cam bölme ile Bölge 4'ten ayrılmıştır. Bu nedenle RSSI eşik değeri ölçümleri değerlendirilerek daha yüksek işaret gücünde alan dışı tanımlanması gerekmektedir. Bu eşik değeri -74 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.31 : Bölge 3 için RSSI haritası.

Bölge 4, iki adet yönlü antenli sabit düğüm içermektedir. -80 olarak belirlenen RSSI eşik değeri için alınan sabit düğüm verileri iki ayrı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.32 : Bölge 4-1 için RSSI haritası.

Bölgenin tamamı kapsama alanında ve diğer bölge sınırlarındaki tüm düğümler kapsama alanı dışında olarak ifade edilebilmiştir.

Test sırasında 6 anda örnekleme yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Dinamik test RSSI ölçümleri.

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5	Örnek 6
Düğüm 1	-	-75.6	-70.3	-87.2	-	-
Düğüm 2	-	-	-83.4	-73.6	-86.3	-
Düğüm 3	-75.4	-84.3	-	-	-	-72.4
Düğüm 4-1	-65.8	-82.5	-	-	-81.4	-83.7
Düğüm 4-2	-84.1	-	-	-88.6	-76.7	-

Çizelge incelendiğinde hareketli düğümün her an birden fazla sabit düğüm tarafında keşfedilebilir olduğu görülmektedir. Birden fazla sabit düğümün aynı hareketli düğümden aynı anda aldığı işaret gücü incelendiğinde hareketli düğümün hangi bölgede olduğu tayini kolaylıkla yapılabilir.

Örnek 1 incelendiğinde Düğüm 3 için -74, Düğüm 4-1 ve Düğüm 4-2 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 4-1’de olduğu görülmektedir.

Örnek 2 incelendiğinde Düğüm 3 için -74, Düğüm 1 ve Düğüm 4-1 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 1’de olduğu görülmektedir.

Örnek 3 incelendiğinde Düğüm 1 ve Düğüm 2 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 1’de olduğu görülmektedir.

Örnek 4 incelendiğinde Düğüm 1, Düğüm 2 ve Düğüm 4-2 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 2’de olduğu görülmektedir.

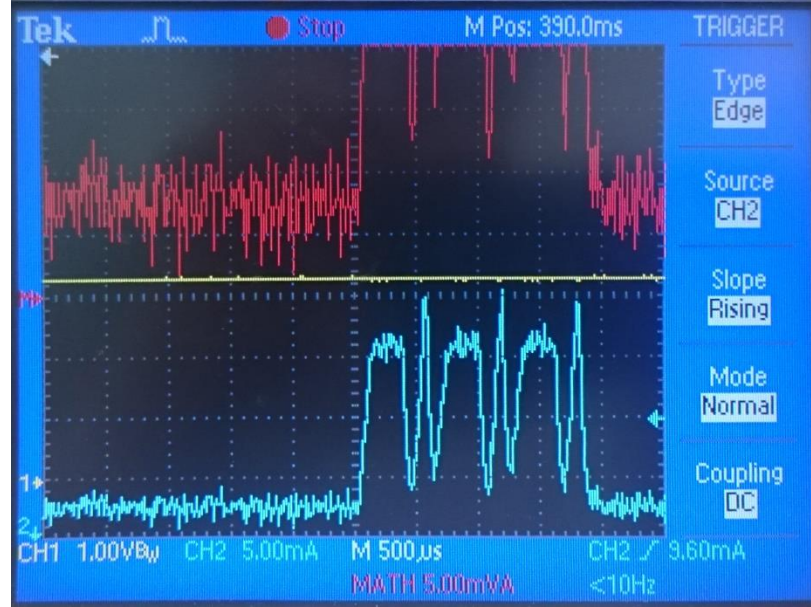
Örnek 5 incelendiğinde Düğüm 2, Düğüm 4-1 ve Düğüm 4-2 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 4-2’de olduğu görülmektedir.

Örnek 6 incelendiğinde Düğüm 3 için -74, Düğüm 4-1 için -80 RSSI eşikleri değerlendirildiğinde hareketli düğümün Bölge 3’te olduğu görülmektedir.

Hareketli düğümün bölgeler arası geçişi sırasında merkez yazılım tarafından konumu doğru tahmin edilmiştir.

4.5.3 Güç tüketimi

Hareketli düğümlerin güç tüketimi pil ömrü için önemli bir kriterdir. 4dBm çıkış gücü için tanıtım anındaki gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.35 : Hareketli düğüm tanıtım çevrimi güç tüketimi.

Ölçümde görülen 3 periyodik işaret, 3 ayrı tanıtım kanalından gönderilen tanıtım mesajı ve mesaja cevap beklenirken maksimum alıcı gücünü göstermektedir. Ölçümler Tektronix TPS2024B ile yapılmıştır.

Kullanılan CR2032 pil 240mAh toplam enerjiye sahiptir [32].

5uA uyku modu akımı; 2ms süreli, ortalama 8mA tanıtım çevrimi akımı ile 30 saniyelik periyotla 1 dakikadaki güç tüketimi:

$$0.005 \times (60 \times 1000 - 2 \times 2) + 8 \times 2 \times 2 = 331.98 \text{mA} \times \text{ms} \quad (4.7)$$

$$331.98 \text{mA} \times \text{ms} = 9.22 \times 10^{-5} \text{mAh} \quad (4.8)$$

Bir günde:

$$9.22 \times 10^{-5} \times 60 \times 24 = 132 \times 10^{-3} \text{mAh} \quad (4.9)$$

Pil ömrü:

$$\frac{240}{132 \times 10^{-3}} = 1818 \text{ gün} \quad (4.10)$$

Bu hesaplama ile 30 saniye aralıkla tanıtım yapacak düğüm için pil ömrü yaklaşık 5 yıl olmaktadır.

4.6 Benzer Sistemler ile Karşılaştırma

“BLE Localization using RSSI Measurements and iRingLA“ başlıklı 2015 yılında yayınlanan çalışmada, üç sabit düğümden toplanan 100'er adetlik RSSI verisinin ortalaması ve en büyük on değerinin ortalaması alınarak iki farklı yarıçap belirlenmiştir [33]. Üçgenleme yöntemindeki kullanılan çemberlerin yerine, ortalamalarla belirlenen iki yarıçap ile çizilen dairelerin arasında kalan parça, konum tahmini için kullanılmıştır. Ölçüm 3 sabit düğümlle 4m*4m'lik ideal alanda yapılmıştır, en uzak mesafe olarak 3.5m belirlenmiş ve 0.4m hassasiyetle ölçüm yapılabilmiştir. Yüksek ölçüm verisi ihtiyacı nedeniyle pil ömrü dikkate alınmamıştır.

“Analysis of Positioning Accuracy corresponding to the number of BLE beacons in Indoor Positioning System” başlıklı 2015 yılında yayınlanan çalışmada ise 2 farklı üreticiden 4 BLE ve 2 WiFi düğüm kullanılmıştır [34]. Sabit düğüm olarak İki farklı telefonla ölçüm alınmıştır. 1 metreden 13 metreye kadar ikişer metre aralıklarla alınan ölçümlerde alıcılar ve vericiler arasında görüşü kapatacak hiçbir engel bulunmamaktadır. 6 düğümden alınan sonuçlarla geliştirilen algoritma ile 100 adede kadar düğümün olması durumu simüle edilmiş ve hata oranının azalacağı; böylece ölçüm hassasiyetinin arttırılabileceği gösterilmiştir. Güç tüketimiyle ilgili bir çalışma yapılmamıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışma gerçeklemeye yöneliktir. Bu nedenle ideal olmayan ortam için yüksek erişilebilirliğe sahip, güvenli, düşük maliyetli ve uzun pil ömürlü sistem için çalışma yapılmıştır. 5 adet sabit düğümlle yaklaşık 800m² alan kapsanmış; metre cinsinden ölçümler yerine uygun konumlara yerleştirilmiş sabit düğümler ve anten seçimiyle bölge tanımlamaları tercih edilmiş ve hassasiyet bölge sınır geçişleri için tanımlanmıştır.

iRingLA algoritması ideal ortamda mümkün olduğunca ideale yakın ölçüm alabilmek için 10 maksimum değerle işlem yaparken, tez kapsamında yapılan çalışmada idealden uzak ortam için standart sapma değeri kullanılarak ortalama filtrelenmiştir.

Çizelge 4.4 : Benzer çalışmalar.

	Kapsama Alanı	Maliyet – Kapsama Alanı Oranı	Hassasiyet	Pil Ömrü	Erişilebilirlik	Güvenlik
Tez	800m ²	Düşük	Bölge Tanımları	5 yıl	WEB arayüzü	Yüksek
Çalışma 1	16m ²	Yüksek	0.4m	Belirtilmemiş	iOS	Standart
Çalışma 2	13m	Yüksek	4m	Belirtilmemiş	Android	Standart

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Konum bilgisi, günlük hayatta ve endüstriyel sistemlerde sıkça gerek duyulan, kıymetli bir bilgidir. Günlük hayatta kullanılan kişisel cihazlar ve endüstriyel sistemlerdeki gelişmelerle birlikte kapalı alanlarda da bu bilgiye ihtiyaç artmıştır. Dünya üzerindeki konumu belirleyebilmek için kullanılan GPS, kapalı alanlarda yeterli hassasiyete ulaşamamaktadır. Bu nedenle farklı teknolojilerle bu sorunu çözmeye yönelik sistemler geliştirilmektedir.

GPS, RFID/NFC, WiFi ve BLE ile çeşitli kapalı alan konumlama çözümleri sunulmaktadır. Çalışma isterlerine en uygun çözümü bulmak için 4 teknoloji de kapsama alanı, maliyet, hassasiyet, erişilebilirlik ve güvenlik kriterlerine göre incelenmiştir.

İncelemeler sonrasında Bluetooth Low Energy altyapısı ve RSSI ile konum tahmini tekniği kullanıma uygun bulunmuş ve RSSI değerindeki standart sapma dikkate alınarak algoritma geliştirilmiştir. Bu tercihler ile 2 tip hareketli donanım, 1 sabit donanım geliştirilmiştir. Bu donanımlar için ihtiyaca yönelik 1 yönlü, 1 yönsüz anten tasarımı yapılmıştır. Yönsüz anten için PIFA, yönlü anten için LOOP topolojileri tercih edilmiştir.

Geliştirilen tüm donanımlarda BLE altyapısı için Cambridge Silicon Radio CSR1010 BLE tümdevresi kullanılmıştır. Hareketli düğümler tanıtım mesajları haricinde uyku modundadır. CSR1010 1.8 – 3.6V gerilim aralığında çalışabilir, düşük tüketim modunda 900nA, maksimumda 16mA besleme akımına ihtiyaç duyar. Bu özellikleri ile pil ile kullanıma uygundur. 12 dijital giriş-çıkış, 3 10-bit ADC, 4 PWM modülü, UART, I2C ve SPI içerir. Dahili işlemcide 64KB ROM ve 64KB RAM bulunur. 7dBm çıkış gücüne ve -92.5dBm alışı hassasiyetine sahiptir. Dahili balunu ile 50Ω RF çıkışı vardır. Anten bağlantısı için 50Ω mikro şerit hat ile bağlanması yeterlidir.

Hareketli düğümler 35mmx50mmx20.3mm plastik kutu boyutlarına uygun, CR2032 pil ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

E-ink hareketli düğüm donanımında CSR1010 ile Pervasive Displays EM027BS013 kullanılmıştır. E-ink teknolojisi sadece görüntü yenileme durumunda maksimum 6mA besleme akımı gerektiği için düşük güç tüketimli bu sistemde kullanıma uygundur. Pil ömrü ekran değişiklik sıklığına göre değişiklik gösterir. 45mmx84mmx9mm boyutlara sahiptir.

Sabit düğümlerde CSR1010 ile UART arayüzü üzerinden haberleşen STM32F101RCT6, sabit düğüm için merkezi işlemci olarak kullanılmıştır. Ethernet arayüzü için Wiznet W5200 SPI-Ethernet dönüştürücü tümdevre tercih edilmiştir. Sabit düğümler devamlı tarama modundadır ve pil ile kullanım ömrü kısadır. Bu nedenle sabit düğümler AC/DC dönüştürücü içermektedir. Kullanım noktasında kapalı alan yerleşimine ve alan şekline göre anten seçimi yönlü ya da yönsüz olarak yapılmıştır.

Yönsüz anten tasarımı 2.45 GHz merkez frekans, %7 band genişliği ve 10dB dönüş kaybı ile tasarım için gerekli band genişliğini ve dönüş kaybını sağlamaktadır.

Tasarlanan yönlü anten, çalışma bandında -13dBm dönüş kaybı ile iletilen gücün %95'ini elektromagnetik işarete çevirmektedir. 5.8dB maksimum kazanç ve 2.8dB güç için yaklaşık 120° anten yönlendirmesine sahiptir.

Donanım yazılımları için yeni bir BLE profili geliştirilmiş, konum bilgisi haricinde cihazın çevresel koşulları ve yerel veri tabanındaki bilgiler kullanılarak gelişmiş bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem ile gezici düğümler için batarya seviyesi, sıcaklık, yasak bölgeye giriş gibi alarmlar da oluşturulabilmektedir.

Benzer çalışmalarda ideal ortamlarda, ideal duruma daha yakın sonuçlar için RSSI değerlerinin maksimumlarıyla işlemler yapılırken, gerçekleşen sistemde ortalama değer ve standart sapma dikkate alınmıştır. RSSI değerinin ortama ve hareketli cisimlere göre sapma değerleri yüksek olduğu için metre hassasiyetinde ölçüm yapmanın ideal ortam dışında mümkün olmadığı incelenen araştırmalar ve yapılan ölçümlerle görülmüş ve kapalı alan içinde bölgeler oluşturularak bölge tayini yöntemine gidilmiştir.

Sabit düğümlerde toplanan hareketli düğüm RSSI değerleri, son on örnek ortalaması alınarak değerlendirilmiş, ortalama hesabı haricinde standart sapma değeri de göz önünde bulundurularak anlık değişiklikler ve geçici rejimler ortalama dışında bırakılarak daha kararlı hale getirilmiştir. Sabit düğümde yapılan hesaplamalar

sonucunda bölgeye dahil olma ya da bölgeden çıkma durumları merkez yazılıma uyarı olarak iletilmiştir. Hesaplamanın aşırı işlem gücü gerektirmemesi ve sabit düğümde yapılarak merkez yazılım işlem yoğunluğu oluşturulmaması sistemin tepki süresini kısaltmaktadır.

Ofis ortamında gerçekleştirilen sistem için sabit düğüm konumları belirlenmiş, iki yönlü ve üç yönsüz antenle sabit düğüm yerleşimi yapılmıştır. Sabit düğümlerden toplanan veriler işlenerek, hareketli düğüm konumları ve durumları periyodik kontrol edilip bölge değişimleri ve tahmini konumları incelenmiştir. Hareketli düğümlerin belirlenen bölge tanımlarına göre konumları 800m²'lik alan içerisinde başarılı olarak bulunmuştur.

Tez kapsamında yapılan çalışma ile güç tüketimi, hassasiyet, erişilebilirlik, güvenlik ve maliyet kriterlerine göre farklı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Güç tüketimi, güvenlik, erişilebilirlik ve maliyet yönüyle güçlü; bölge tayini ve sınır algılama yapabilecek hassasiyette bir sistem geliştirilmiştir.

Sistem geliştirmelere açıktır. Farklı alanlarda farklı amaçlarla da kullanıma uygundur. Çalışmanın devamı olarak, kapsama alanları kesişen daha çok sabit düğümle daha hassas alan taraması yapabilen ve bu düğümlerle merkez arasındaki ethernet arayüzüne ihtiyaç duyulmadan tüm düğümler BLE üzerinden haberleşebileceği bir sistem kurulması mümkündür.

BLE teknolojisi düşük güç tüketimli ve yüksek veri transferi gerektirmeyen uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilmiştir. Resmi olarak duyurulduğu 2010 tarihinden beri hızla yaygınlaşmıştır. Düşük güçlü ve yüksek veri hızları ihtiyaç duymayan bu uygulamalar, gün geçtikçe artan kişisel cihazlar, makineler arası iletişim (M2M), nesnelerin interneti (IoT) gibi yeni kavramlarla tüm elektronik cihazlara ulaşmayı hedeflemektedir.

Konum tabanlı servislere kapalı alanlarda da ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük alana sahip kapalı alanlarda navigasyon, hastaların yaşam alanı içerisinde gözlemlenmesi, sporcuların günlük aktivitelerinin takibi; hastane, laboratuvar gibi yüksek maliyetli cihazların bulunduğu konumlarda envanter güvenliği, üretim bantlarında otonom cihazların durumlarının bilinmesi ve ürünün proses adımlarının incelenmesi, lojistik ağı içerisinde durum ve son konum görüntülenmesi, çalışma alanı içerisinde personel çalışma saatlerinin incelenmesi, ziyaretçi sayısının çok olduğu konumlarda

ziyaretçilerin yasak bölgelere girişinin önlenmesi, mağaza ve alışveriş merkezlerinde müşteri davranışlarının incelenmesi ve kişisel indirimler sunulması gibi insanın ve endüstriyel cihazların bulunduğu alanlarda kullanıma uygundur [35].

KAYNAKLAR

- [1] **Goswami, S.** (2013). Indoor Location Technologies. Retrieved from <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4614-1377-6>
- [2] **Furey, E., Curran, K. & Kevitt, P.** (2012). HABITS: A Bayesian Filter Approach to Indoor Tracking and Location. *International Journal of Bio-Inspired Computation (IJBIC)* Vol. 4, No. 2, pp: 79-88
- [3] **Schweinzer, H., Kania, k G.** (2010). Ultrasonic device localization and its potential for wireless sensor network security. *Control Engineering Practice* 18(8):852-62.
- [4] **Chang, N., Rashidzade, h R., Ahmadi, M.** (2010). Robust indoor positioning using differential Wi-Fi access points. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 56(3):1860-7.
- [5] **Reza, AW., Geok, TK.** (2009). Investigation of indoor location sensing via RFID reader network utilizing grid covering algorithm. *Wireless Personal Communications* 49(1):67-80.
- [6] **What is GPS?** (t.y.). Retrieved November 22, 2015, from <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>
- [7] **Bejuri, W., Mohamad, M., Sapri, M. & Rosly, M.** (2012). Performance Evaluation of Mobile U-Navigation based on GPS/WLAN Hybridization. *Journal of Convergence Information Technology(JCIT)*, Vol. 7, No. 12, pp. 235-246
- [8] **Maximov, V. Tabarovsky, O.** (2013). Survey of Accuracy Improvement Approaches for Tightly Coupled ToA/IMU Personal Indoor Navigation System. *Proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Montbeliard, France.*
- [9] **Chen, Y., Kobayashi, H.** (2002). "Signal strength based indoor geolocation" *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '02)*, vol. 1, pp. 436–439, New York, NY, USA.
- [10] **Edwards, J.** (2014) Apple Is Launching A Vast Project To Map The Inside Of Every Large Building It Can. Retrieved November 22, 2015. *Business Insider.*
- [11] **Indoors Streetfight Moves To Map the Last Three Feet.** (2014). Retrieved November 22, 2015. <http://www.geospatialworld.net/uploads/magazine/Geospatial-World-August-2014.pdf>
- [12] **Foxlin, E.** (2005). "Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.25, no. 6, pp. 38-46
- [13] **Timo.** (2006). RFID, logistics and material flow. Retrieved November 22, 2015, from <http://www.nearfield.org/2006/06/rfid-logistics-and-material-flow>
- [14] **Chang Y.** (2014). Simulation and Implementation of an Integrated TDOA/AOA Monitoring System for Preventing Broadcast Interference. Retrieved November 22, 2015 from *Journal of Applied Research and Technology* vol.12
- [15] **Comsa, C. R.** (2011). Source Localization Using Time Difference Of Arrival Within A Sparse Representation Framework. *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International Conference on.*

- [15] **Dell Diamond.** (2011). Retrieved November 22, 2015 ,from http://pharos.ece.utexas.edu/wiki/index.php/Mission_13_-_February_7,_2011_-_Dell_Diamond
- [16] **Carne P.** (2015). Indoor location technologies compared. Retrieved November 22, 2015 from <http://blog.lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/>
- [17] **Galileo will boost economy and make life of citizens easier.** (2011). Retrieved November 22, 2015, from [ttp://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-776_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-776_en.htm)
- [18] **WPS.** (2013). Retrieved November 22, 2015, from <http://rungs.nazzang.cc/blog/302>
- [19] **Thompson, D.** (2013). Introduction to iBeacon: Taking Bluetooth LE for a Test Drive. Retrieved November 22, 2015, from <http://beekn.net/2013/11/ibeacon-example-taking-bluetooth-le-for-a-test-drive/>
- [20] **Nilsson, R., Saltzstein, B.** (2012). Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth: Choose the Best Wireless Technology For Your Application. Retrieved November 22, 2015, from <http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/bluetooth-low-energy-vs-classic-bluetooth-choose-best-wireless-technology-your-application>
- [21] **Bowers, N.** (2014) The three flavours of Bluetooth. Retrieved November 22, 2015, from <http://www.aislelabs.com/wp-content/uploads/2014/06/ble-graphic2.png>
- [22] **Introduction to Bluetooth Smart** (2015) Retrieved November 22, 2015, from <https://www.csrsupport.com/download/49793/CS-327738-RP-2-Training%20and%20Tutorials%20-%20Introduction%20to%20Bluetooth%20Smart.pdf>
- [23] **Decuir, J.** (2010) Bluetooth 4.0: Low Energy Retrieved November 22, 2015, from <http://chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf>
- [24] **Creating Bluetooth® Low Energy Applications Using nRF51822.** (2014). Retrieved November 2, 2015, from https://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download_resource/24020/5/83217318
- [25] **CSR1010 Datasheet.** (2015). Retrieved November 22, 2015, from <https://www.csrsupport.com/download/39359/CSR1010%20Data%20Sheet%20CS-231985-DS.pdf>
- [26] **TI CC430 RF AdapTag Kit Schematic & Gerber.** (2015). Retrieved November 22, 2015, from <http://www.pervasivedisplays.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=16103327>
- [27] **An Introduction to Antennas and Propagation Part 4.** (2015) Retrieved November 22, 2015, from <http://www.csr.com/introduction-antennas-and-propagation-part-4>
- [28] **Microwave/RF PCB & Ceramic PCB & Rogers PCB.** (t.y.). Retrieved November 22, 2015, from atechcircuit.com/products/microwave-rf-pcb
- [29] **Su., W.** (2013) Printed Loop Antenna Integrated Into A Compact, Outdoor Wlan Access Point With Dual-Polarized Radiation. *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 19, 25–35, 2011

- [30] **Antenna Beamwidth and Sidelobe Performance.** (t.y.) Retrieved November 22, 2015, from http://happy.emu.id.au/lab/rep/rep/9510/txtspace/9510_010.htm
- [31] **CR2032 Datasheet.** (t.y.). Retrieved November 22, 2015, from <http://data.energizer.com/PDFs/cr2032.pdf>
- [32] **Val, T., Nasri, N., Brulin, D..** (2015). BLE Localization using RSSI Measurements and iRingLA. *Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference*
- [33] **Kim, J., Jeon J., Cho Y.** (2015) Analysis of Positioning Accuracy corresponding to the number of BLE beacons in Indoor Positioning System. *Advanced Communication Technology (ICACT), 2015 17th International Conference*
- [34] **Werner, M.** (2014) Indoor Location-Based Services Prerequisites and Foundations. Retrieved November 22, 2015, from <http://www.springer.com/us/book/9783319106984>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa Güteryüz
Doğum Tarihi ve Yeri : Kasım 1989 - Üsküdar
E-posta : guleryuzmustafa@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2012 yılından itibaren PAVO Tasarım’da mobil haberleşme cihazları üzerine çalışmaktadır.