

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BLUETOOTH BEACON TEMELLİ KAPALI ALAN
MOBİL KONUM TESPİT VE ANALİZ SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Mehmet Nazif MASMANACI**

**Danışman
Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2018
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BLUETOOTH BEACON TEMELLİ KAPALI ALAN
MOBİL KONUM TESPİT VE ANALİZ SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Mehmet Nazif MASMANACI**

**Danışman
Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK**

**Temmuz 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Mehmet Nazif MASMANACI

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Bluetooth beacon temelli kapalı alan mobil konum tespit ve analiz sistemi geliştirilmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi 'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



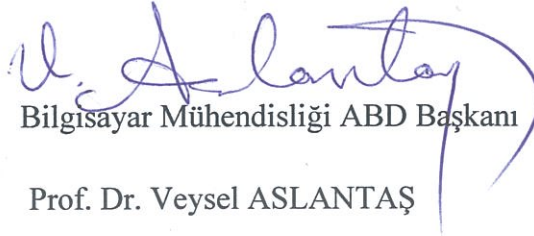
Tezi Hazırlayan

Mehmet Nazif MASMANACI



Danışman

Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK



Bilgisayar Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ASLANTAŞ

Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK danışmanlığında **Mehmet Nazif MASMANACI** tarafından hazırlanan “**Bluetooth Beacon Temelli Kapalı Alan Mobil Konum Tespit ve Analiz Sistemi Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12 / 07 / 2018

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK

Üye : Doç. Dr. Orhan ER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret TOPRAK


.....

.....

.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 31/07/2018 tarih ve 2018/33-12. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

31 / 07 / 2018



Prof. Dr. Mehmet AKKURT
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi olan tez danışmanım sayın Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK 'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana teknik destek olup, donanımsal teçhizatları temin eden sayın Şakir BAYRAM 'a teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Nazif MASMANACI

Kayseri, Temmuz 2018

BLUETOOTH BEACON TEMELLİ KAPALI ALAN MOBİL KONUM TESPİT VE ANALİZ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet Nazif MASMANACI

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2018

Danışman: Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK

ÖZET

Açık alanlar için geliştirilen konumlandırma sistemleri, kara, hava ve deniz navigasyon sistemleri, turizm ve ormancılık gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Lakin kapalı alanlarda, bina, duvar ve dış yüzeylerinin sebep olduğu sinyal zayıflamasından dolayı global konumlandırma sistemi (GPS) kullanımı etkisiz kaldığından, konum bulma sistemlerinde farklı kablosuz haberleşme teknolojilerden faydalanılmaktadır. Kapalı alanda konum tespit çalışmaları, ibeacon teknolojisinin mobil cihazlarda standartlaştırılmasından sonra daha da ilgi görmüştür. Bu alanda birçok algoritma oluşturulmuştur ve neredeyse her algoritmanın ihtiyaçlara uygun olarak problem çözme yeteneği vardır. GPS gibi açık alanlarda oldukça başarılı olabilen küresel konumlandırma sistemleri, uydu görüş açısı eksikliği veya düşük baz istasyonu çekim kalitesi nedenleriyle iç mekanlarda aynı şekilde yeterlilik gösterememektedirler. Sonuç olarak kapalı alanlarda en az masraf ile en hassas konumlandırma performansına ulaşabilmek için birçok metot geliştirilmektedir. Bu tez çalışmasında, mobil cihazların yerlerinin tespitine yönelik olarak bir kapalı alan konumlandırma algoritması geliştirilmiştir. Ana hedef, geliştirilen algoritmanın doğruluk kapasitesinin yükseltilmesi ve her durum uygun olacak şekilde yeniden yapılandırılmasıdır. Bunların yanı sıra istenen doğruluk miktarının ayarlanabilmesi, internetin olmadığı alanlarda da çalışabilmesi, düşük maliyet ve kolay hesaplanabilmesi özellikleri de göz önüne alınarak bir metot geliştirilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen metot bluetooth 4.0 teknolojisine sahip beaconlarla çalışmaktadır ve mobil cihazlardan alınan sinyal gücü göstergesi (Receive Signal Strength Indicator - RSSI) değerleri okuyup yorumlaması temeline oturtulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Trilateration, Tulip, Cramer rao ve Ağırlaştırılmış ortalama metotlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kapalı alanda konum bulma; RSSI; konum bulma algoritmaları; NBİNA algoritması.

DEVELOPMENT OF CLOSED AREA MOBILE LOCATION DETECTION AND ANALYSIS SYSTEM DEVELOPMENT BASED ON BLUETOOTH BEACONS

Mehmet Nazif MASMANACI

Erciyes University , Graduate School of Natural and Applied
Sciences Department of Computer Engineering
Master Thesis, July 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Celal ÖZTÜRK

ABSTRACT

Positioning systems developed for open spaces are used in many areas such as land, air and sea navigation systems, tourism and forestry. However, different wireless communication technologies are utilized in the location detection systems since the use of GPS is ineffective because of the weakness of the signal caused by walls and exterior surfaces in indoor areas. Closed-field locator work has become even more popular after iBeacon technology has been standardized on mobile devices. Many algorithms are built in this area and almost every algorithm has the ability to solve the problem by being suitable for needs. Global positioning systems which can be quite successful in open areas such as GPS are not able to show the same qualities indoors because of lack of satellite view angle or low base station shooting quality. In the result, many methods have been developed to achieve the most precise positioning performance with the lowest cost in enclosed spaces. In this thesis study, a closed area positioning algorithm for detecting the location of mobile devices has been developed. Main aim to increase developed algorithm's accuracy capacity and to reconfigure by fitting every condition. In addition to this, a method has been developed in order to adjust the amount of required accuracy, to work in areas where the internet is not available, low cost and easy calculation features. The developed method is based on reading and interpreting the Receive Signal Strength Indicator (RSSI) values of bluetooth 4.0 beacons and mobile devices. The obtained result was compared with Trilateration, Tulip, Cramer rao and Weighted average method.

Keywords: Indoor location finding; RSSI; location finding algorithms; NBINA algorithm.

İÇİNDEKİLER

BLUETOOTH BEACON TEMELLİ KAPALI ALAN MOBİL KONUM TESPİT VE ANALİZ SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMA VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Kapsamı.....	2
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Beacon ve Özellikleri.....	3
2.2. Lokasyon Bulma Hakkında.....	7
2.3. Alıcı–Verici Düğüm Sinyal Etkileşimi.....	11
2.3.1. Yakınlık Algılama.....	12
2.3.2. Üçgenleme.....	12
2.3.2.1. Açık Tabanlı Yöntem (Angle of Arrival).....	13
2.3.2.2. Geliş Zamanı Yöntemi (TOA ve TDOA).....	13
2.3.2.3. Alınan Sinyalin Gücü Yöntemi (RSS).....	14

2.3.3. Mekan Analizi Yöntemi.....	14
İLGİLİ ALANDAKİ YAKLAŞIMLAR.....	15
3.1. Uzaklık Hesaplanması	16
3.2. Başlıca Lokasyon Yaklaşımları.....	18
3.2.1. Hücre Tabanlı Yaklaşım.....	18
3.2.2. Ofis içi kullanılan düşük maliyetli pozisyon bulma yöntemi.....	20
3.2.3. Trilateration Yöntemi.....	20
3.2.4. Yinelemeli Trilateration Yöntemi.....	22
3.2.5. Tulip Yöntemi.....	24
3.2.6. Cramer Rao Yöntemi.....	25
3.2.7. Ortalama Yöntemi.....	26
3.2.8. Ağırlaştırılmış Ortalama Yöntemi.....	27
3.2.9. Parmak izi Tabanlı Konumlandırma Sistemleri.....	28
3.3. Geliştirilen Algoritma(NBINA Yöntemi).....	30
DENEYSEL SONUÇLAR.....	35
4.1. Dikdörtgensel Alanda Algoritma analizi.....	35
4.2. Koridorda Algoritma analizi.....	41
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	48
EKLER.....	52
Ek 1. Uygulama Arayüzleri	52
Ek 2. Web Sitesi Arayüzleri	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
GPS	Global Konumlama Sistemi / Global Positioning System
IPS	Kapalı alan Konumlandırma Sistemi / Indoor Positioning System
Wi-Fi	Kablosuz Bağlantı Alanı / Wireless Fidelity
RFID	Radyo Frekansı ile Tanımlama / Radio-Frequency Identification
LOS	Görüş Hattı / Line of Sight
UUID	Evrensel Fark Tanıtıcısı / Universally Unique Identifier
BLE	Düşük Enerjili Bluetooth / Bluetooth Low Energy
RSSI	Alınan İşaretin Şiddet Göstergesi / Received Signal Strength Indicator
RSS	Gelen İşaret Gücü / Received Signal Strength
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağı / Wireless Local Area Network
IoT	Nesnelerin interneti / Internet of Things
AOA	Açı tabanlı yöntem / Angle of Arrival
TOA	Geliş zamanı yöntemi / Time of Arrival
CDF	Birikimli olasılık fonksiyonu / Cumulative Distribution Function

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Lokalizasyon tekniklerinin sınıflandırılması.....	15
Tablo 2. Alınan sinyaller ve Trilateration, Tulip ve Cramer rao konum hesaplamaları.....	37
Tablo 3. Alınan sinyaller ve Weight Average Algoritması konum hesaplamaları.....	38
Tablo 4. Alınan sinyaller ve NBINA algoritması konum hesaplamaları.....	39
Tablo 5. Algoritmaların hesaplanan ortalama koordinatları ve hata miktarları.....	40
Tablo 6. Alınan sinyaller ve Trilateration, Tulip ve Cramer Rao konum hesaplamaları.....	42
Tablo 7. Alınan sinyaller ve Weight Average Algoritması konum hesaplamaları.....	43
Tablo 8. Alınan sinyaller ve NBINA algoritması konum hesaplamaları.....	44
Tablo 9. Algoritmaların hesaplanan ortalama koordinatları ve hata miktarları.....	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Uygulama içinde kullanılan CP0251 beaconlar.....	6
Şekil 2. Konum algılama tabanlı sınıflandırma.....	12
Şekil 3. Lokalizasyon bulma tekniği.....	17
Şekil 4. Hücre tabanlı konum bulma tekniği örneği.....	19
Şekil 5. Düşük maliyetli lokalizasyon bulma tekniği.....	20
Şekil 6. Trilaterasyon yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği.....	21
Şekil 7. Tulip yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği.....	24
Şekil 8. Parmak izi yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği.....	29
Şekil 9. Örnek bir çalışma alanı.....	31
Şekil 10. Çalışma alanının gride ayrılmış hali.....	32
Şekil 11. Eni 450 cm ve boyu 430 cm olan odaya yerleştirilmiş 4 adet beacon ve bu odadan alınmış 4 farklı konum gösterilmiştir.....	35
Şekil 12. Eni 1.80 mt ve boyu 13.2 mt olan odaya yerleştirilmiş 4 adet beacon ve bu koridordan alınmış 4 farklı konum gösterilmiştir.....	41

BÖLÜM I

GİRİŞ

Gerçek zamanlı konum bulma sistemleri, hareket halindeki bir düğümün kablosuz ağ içindeki sabit düğümler sayesinde, bulunduğu konumun tespit edilmesi amacıyla kullanılan teknolojileri ve pozisyonlandırma yöntemlerini içermektedir. Bu sistemlerde tespit edilecek konum için sabit düğümlere iletilmiş olduğu bilgiler veya sabit düğümlerden alınan bilgiler kullanılmaktadır.

Global konumlama sistemi (GPS), bluetooth, ultrasonik, wi-fi, radyo frekansı ile tanımlama (RFID), kamera gibi teknolojiler, hem açık alanlar hem de kapalı mekânlarda bulunan nesnelerin konumlandırılmalarında sıkça kullanılmaktadır. Maliyet, çekim mesafesi, çevresel koşullar, işletme kolaylığı gibi her teknolojinin diğerlerine göre avantajlı veya dezavantajlı olduğu noktalar mevcuttur. Bu çalışmada, kapalı alanlara göre uygun yayın mesafesine sahip, taşınırılığı kolay, düşük maliyeti ve yüksek performansı ile tercih edilen bluetooth 4.0 (Bluetooth Low Energy - BLE) teknolojisi ile konumlandırma incelenmiştir.

GPS olarak adlandırılan küresel konumlandırma sistemi, dış ortamlarda yüksek doğrulukta ve gerçek zamanlı yer tespiti sağlamada oldukça etkili olabilirken, uydu ile doğrudan görüş hattının (LOS) bulunmadığı durumlarda aynı sonuçları sağlayamamaktadır. GPS uydularından alınan sinyaller kapalı mekanlarda, duvar ve dış yüzeylerinin sebep olduğu sinyal zayıflamasından dolayı GPS teknolojisinin kullanımı etkisiz kalmaktadır. Bu yüzden konum bulma sistemlerinde beacon gibi farklı kablosuz haberleşme teknolojilerden faydalanılmaktadır. İç mekân pozisyon sistemleri (IPS) de

denilen kablosuz teknoloji temelli konum bulma sistemleri geliştirmek veya farklı yaklaşımlarla yeni yontemler bulma girişimi devam etmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Bu alışmada RSSI değerleri filtrelemeden ziyade kullanılan algoritmalarından daha optimize çalışabilecek yeni bir yaklaşım geliştirme amaçlanmıştır. Bunun için birden fazla konumlandırma tekniği incelenerek, performans, maliyet, istenen doğruluk miktarının ayarlanabildiği, internetin olmadığı alanlarda da çalışabilen ve yeniden yapılandırılabilen bir yaklaşım ortaya çıkarma amaçlanmıştır.

Bu tezde yalnızca düğüm noktalarından yayılan güç değerleri işlendiği için sadece standart BLE protokolleri değil, aynı zamanda iç mekân konumlandırılmasında kullanılabilen diğer kablosuz teknolojilere de uyarlanabilecek bir algoritma oluşturulması hedeflenmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bluetooth beacon ile kapalı alan konumlandırma algoritması daha iyi anlaşılabilmesi için bölüm 2 'de bluetooth beacon hakkında bilgiler verilmiştir. Kapalı alan için kullanılabilen konumlandırmalar hakkında genel bilgiler ve kullanılan yontemlerin ayrıntılı bilgileri bölüm 3 'de verilmiştir. Aynı zamanda bölüm 3 'de geliştirilen yeni yaklaşım detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 4 'de geliştirilen kapalı alan konumlandırma yonteminin başarım düzeyi diğer algoritmalarla kıyası yapılmıştır. Son bölümde de sonuç ve öneriler kısmı ile çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

2.1. Beacon ve Özellikleri

Beacon, kişiselleştirilmiş deneyimler sunan küçük bluetooth radyo vericilerine verilen genel isimdir. Beacon, nesnelerin interneti (internet of things) kavramının yaygın bir hal alması ile akıllı ve içerik duyarlı hale getirilmiştir. Beacon, tek yönlü sinyal gönderebilen, veri işleme yeteneği olmayan, gönderdiği veri paketi ile mobil cihazlarda o beaconun tanımlı olduğu uygulamaları tetikleyebilen, fiziksel çevre ile etkin iletişim sağlayan sensörlü cihazlardır. Beacon bir deniz fenerine benzetilirse; deniz feneri aralıklarla başkalarının görebileceği bir şekilde tek bir sinyal yollar. Beacon ise görülebilir sinyal yaymak yerine, düzenli olarak yaklaşık olarak saniyenin onda biri aralıklarla heksadesimal sayılardan oluşmuş radyo sinyalleri yayımlar.

Bluetooth donanımına sahip olan bir aygıt, beacon alanına birkez girdikten sonra beaconu görebilir. Beaconlar, küçük ve basit cihazlardır. Bu cihazların içi açılıp incelendiğinde, birden fazla ana kart veya kablo karmaşasından ziyade; genellikle CPU, radyo verici ve bataryadan ibaret olduğu görülür. Beaconlarda genelde CR2477 türevi olan lithium-ion piller kullanılmaktadır. Beaconlar farklı renkte ya da şekillerde olabilirler; ivme ölçer, sıcaklık sensörü veya özel ek bileşenler bulundurabilirler. Yine de tüm beaconların ortak özelliği broadcast şeklinde sinyal yayınlamaktır. Beaconlar havaya geliş güzel bir şekilde mesajlar göndermemektedir. Her bir etkileşime girecekleri cihaz için özel bir bağlantı kullanırlar. Beacon donanımı nispeten basittir ancak eylemleri tetikleme biçimi biraz karmaşıklaşabilir.

Ibeacon teknolojisinin IOS7 ile birlikte hayata geçmesiyle bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Ibeacon teknolojisinin temelinde bluetooth 4.0 (BLE, Bluetooth Low Energy yani Bluetooth Düşük Enerji) teknolojisi yatmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı beacon, yayın yapılması istenen bölgelere yerleştirilen bir donanımdan oluşmaktadır. Bu donanımın belirli bir kimlik (UUID) ile yayın yapmasını sağlayıp, geliştirilen uygulamanın da aynı kimlikli donanımdan gelen sinyallerle ilgili olduğunu belirtmek yeterlidir. Daha sonrasında mobil cihaz, ilgili olduğu belirtilen beacon sinyallerini yakaladığında, bu geliştirilen uygulama sayesinde iletişime geçebilmektedir. Mobil cihaz, yakaladığı beacon sinyalleri içerisinde majör, minör gibi o beacon ile ilgili spesifik özelliklerin yanında, aldığı sinyalin RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) değerini de algılayabilmektedir. Algılanan RSSI değerleri ise konum tespiti yapılmasına imkan sağlamaktadır.

Ibeacon donanımsal bir ürün değil, kullanılan bir teknolojidir. Apple tarafından geliştirilen bu protokol ile bluetooth beaconlar, IOS 7 işletim sistemi ile başlayarak apple cihazlar ile iletişime geçebilmekte ve bu beaconlar uygulamaları tetikleyebilmektedir. Bu noktada ibeacon teknolojisinin sadece ios işletim sahibine sahip cihazlarda çalışmaktadır fikrine kapılmamak gerekir. Beaconlar, ibeacon standartları ve bu standartlara uygun çalışan SDK 'lar (Software Development Kit) sayesinde ios cihazlar ve diğer cihazlar da algılanabilir bir hal almıştır. Fazla bir fark olmamakla birlikte bluetooth beaconlar, android cihazlardaki uygulamaları da tetikleyebilmektedirler. Lakin ibeacon teknolojisi, android ve ios uyumlu olmasına rağmen sadece ios için orijinal bir özelliktir. Ayrıca bu SDK 'lar sayesinde bu sinyallerin RSSI değeri hesaplanabilmektedir. Bu RSSI değerleri sayesinde alıcı cihaz ile o sinyali gönderen beacon arasındaki mesafe tahmin edilebilmektedir.

Bluetooth 4.0, orijinal bluetooth teknolojisinin 2010 yılında kullanıma sunulmuş güç tüketim verimliliği yüksek versiyonudur. BLE 'nin düşük enerji ihtiyacı, aylarca, küçük madeni para pillerle sağlanabildiğinden, bu teknoloji beaconlar için hayati öneme sahiptir. BLE teknolojisi, bu tür cihazların daha küçük enerjilerle daha uzun süre dayanmasını sağlar ve IoT 'nin önemli bir parçasıdır.

Fuar, sergi salonu, depo yönetimi, mağaza etkileşimi gibi konuların birçoğunda beacon teknolojisi kullanılabilir. Beacon teknolojisinin bu şekilde kullanılabilmesi için iki şart vardır; beaconun telefonla etkileşebilmesi için telefonda bluetooth özelliğinin açık olması ve beaconun telefonda bulunan bir uygulamayı tetiklemesi gerekmektedir.

GPS güçlü bir yöntem olsa da iki noktada ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bunlardan biri yüksek enerji tüketimine neden olmasıdır. GPS kullanıldığında mobil cihazın pili oldukça hızlı tükenmektedir. Diğer sorun ise kapalı alanda hata oranı oldukça karmaşık sonuçlara neden olmaktadır. Bu yüzden beaconlar sayesinde çok az pil tüketimi ve yüksek netlik ile sonuç alınabilmektedir. Örnek olarak depoya yaklaşıldığında kapı açılması isteniyorsa, GPS ile daha alana girmeden kapı açılabilir, oysa beacon ile 5 metre yaklaşıldığında kapıyı açtırması daha sağlıklı sonuç verecektir.

Beacon, saniyede on kere kimlik numarasını yayabilmektedir (ayarlarına bağlı olarak daha da arttırılabilir). Yakındaki bluetooth donanımına sahip bir cihaz, bu sinyali alır. Özel bir uygulama sayesinde o sinyali tanıdığına, bu cihazı bulutta (cloud) depolanan bir eylem veya içerik parçasına bağlar ve kullanıcının görüntülenmesini sağlar. Böylece bu alanda geliştirilen uygulama istenildiği gibi düzenlenerek, sinyaller karşısında nasıl tepki vereceği ayarlanabilir. Günümüzde yaygın olan beaconlar Apple şirketinin 2013 yılında iBeaconu duyurması ile ortaya çıkmıştır. 2015 yılında Google Eddystone ile pazara giriş yapmıştır. O zamanlardan beri pazara neredeyse bu iki ürün grubu yön vermektedir.

Teknik olarak incelenirse beacon bir veri paketi ve bir ID yayınlar. Bu veri grubu, UUID, majör ve minörden oluşmaktadır. UUID, majör ve minör parametreleri iBeaconun tanımlayıcısıdır ve beaconlar tarafından sürekli iletilen advertising paketlerinin temel bileşenini oluşturmaktadır.

UUID, evrensel benzersiz tanıtıcının (Universally Unique Identifier) temsilidir. UUID yapısı, 32 heksadesimal basamaktan oluşan, tire ile ayrılmış 5 gruptan oluşmaktadır ve her cihazda benzersiz bir değerdir. Tire ile ayrılmış olan UUID yapısının ilk bölümü 8 karakter, ikinci bölümü 4 karakter, üçüncü bölümü 4 karakter, dördüncü bölümü 4 karakter ve son bölüm olan beşinci bölüm ise 12 karakterden oluşmaktadır. Majör ve minör değerler, beaconların yalnız UUID değerini kullanmak yerine daha doğru bir şekilde tanımlamak için atanan numaralardır. Majör ve minör, 0 ile 65535 arasında unsigned tam sayı değerleridir. Ibeacon standardı, majör ve minör değerlerin atanmasını gerektirir [40].

Beacon'ı GPS ve baz istasyonu gibi bölge izleme tekniklerinden ayıran en önemli özellik, hassas ölçüm değerleri ve doğruluğudur (accuracy). Kapalı alanlarda da kullanıldığı için beacon bu alanlarda konum tespiti için iyi bir alternatiftir.



Şekil 1. Uygulama içinde kullanılan CP0251D beaconlar

Tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulamada, kullanılan beaconlar 20 metre mesafeden yayın yapabilen, su geçirmez ve android işletim sisteminde çalışabilen SDK'ı ile istenildiği gibi RSSI, majör ve minör değerleri değiştirilebilen, CP0251D modeli şekil 1'de görülen beaconlardır.

2.2. Lokasyon Bulma Hakkında

İç mekân pozisyon sistemleri (IPS) de denilen kablosuz teknoloji temelli konum tespiti yapan sistemlerde, lokasyon bilgilerinin farklı şekillerde ifade edilmesi gerekebilir. Bu bölümde anlatılacak olan ana lokasyon tipleri :

- Fiziksel Lokasyon
- Sembolik Lokasyon
- Absolute (Mutlak) Lokasyon
- Relative Lokasyon

Fiziksel lokasyon 2-D / 3-D harita üzerinde belirlenen bir noktanın koordinatlar halinde ifade edilmesidir. Yaygın olarak kullanılan koordinat sistemleri derece/dakika/saniye (DMS), derece ondalık dakika, evrensel enlemesine mercator (UTM). Sembolik lokasyon doğal bir dil şeklinde ifade edilmesidir. Örnek verilecek olursa ofiste, üçüncü kat yatak odasında vb. Mutlak lokasyonda ise tüm bulunan nesnelere için ortak bir referans ızgara kullanılır. Bu ızgara üzerinden koordinat tespiti yapılır. Relative lokasyon referans olan kendi frame'ine bağlıdır. Relative lokasyon bilgileri genellikle bilinen referans noktaları veya baz istasyonlarına yakınlıklarına dayanmaktadır [30].

Lokasyon sistemleri için dört farklı sistem topolojisi vardır:

1. İlki olan sinyal verici mobildir ve birden fazla sabit ölçüm ünitesi tarafından mobil vericinin sinyali alınır ve uzaktan lokasyon tespiti yapan sisteme gönderilir. Tüm ölçüm birimlerinden alınan sonuçlar toplanır ve mobil vericinin konumu bir ana istasyonda hesaplanır.
2. İkinci topoloji ise mobil cihaz, algıladığı sinyaller yardımıyla kendi konumunu bulmak için kendisi ölçümler yapar. Mobil cihaz, bilinen yerlerde birçok verici sinyalleri alır ve ölçülen sinyallere dayanarak yerini hesaplama yeteneğine sahiptir.

3. Eğer pozisyon için kablosuz bağlantı sistemi temin edilmiş ise mobil cihaz kendi pozisyonu için yaptığı ölçümleri bu sisteme gönderir. Bu tip topolojiler “Indirect remote positioning” diye adlandırılır [30].
4. Eğer dışardan ölçüm bilgileri mobil cihaza gönderiliyorsa ve mobil cihaz kendi pozisyonunu hesaplıyorsa bu topoloji “Indirect self-positioning” diye adlandırılır [30].

Bir konumlandırma tekniğinin performansını ölçmek için sadece doğruluğunu gözlemlemek yeterli değildir. İç ve dış kablosuz coğrafi konum arasındaki fark dikkate alındığında, kapalı kablosuz lokasyon sistemi için doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), karmaşıklık (complexity), ölçeklenebilirlik (scalability), sağlamlık (robustness) ve maliyet (cost) faktörleri performans ölçmek için kullanılmaktadır.

Doğruluk (veya konum hatası) konumlandırma sistemleri için en önemli gerekliliktir. Genellikle tahmini konum ve gerçek konum arasındaki öklid mesafesi, ortalama mesafe hatası diye adlandırılan performans değerlendirmesidir. Daha yüksek doğruluk, daha iyi sistem diye adlandırılabilir ancak doğruluk ve diğer karakteristik özellikler arasında büyük bir ilişki vardır. Bu sebeple doğruluk ve diğer karakteristikler arasında uygunluk şartı aranmalıdır.

Doğruluk sadece ortalama mesafe hatasını dikkate almaktadır. Fakat lokasyonda hassasiyet, sistemin çalıştığı mesafenin de göz önünde tutulmasını sağlar. Birçok deneme içinde performans değişimi ortaya konulduğuna dikkat çekilecek olursa bu karakteristikte sağlamlığın ölçüsüdür denebilir. Genellikle mesafe hatası için birikimli olasılık fonksiyonu (CDF), sistemin hassasiyetini hesaplamak için kullanılır. İki konumlandırma tekniği karşılaştırıldığında bunların doğrulukları aynı olabilir. CDF grafiği kullanılarak küçük değerler için, daha yüksek olasılıklı sistem tercih edilebilir. Örneğin bir sistem 2.3 m mesafede %90 konum hassasiyeti, 3.5m mesafede %95 konum hassasiyeti gösterirken diğer bir sistem 2.3m mesafede %50 konum hassasiyeti, 3.5m mesafede %95 hassasiyet gösterebilir.

Bir konumlandırma sisteminin karmaşıklığı donanım, yazılım ve işlemsel faktörlere bağlanabilir. Eğer konumlandırma algoritmasının hesaplama merkezi sunucu tarafında yapılırsa güçlü işlem kapasitesi ve yeterli güç kaynağından ötürü hızlı bir şekilde hesaplanabilir. Mobil ünite tarafında yapılırsa karmaşıklık etkisi belirgin olabilir. Mobil birimlerinin güçlü işlemci gücü ve uzun pil ömrü eksikliğinden dolayı, düşük karmaşıklık ile konumlandırma algoritmaları tercih etmesi önerilmektedir. Genellikle, farklı konumlandırma tekniklerinde analitik karmaşıklığı formülünü elde etmek zordur; bundan dolayı, işlem süresi olarak kabul edilmektedir. İki mobil hedefin yeni bir konuma hareketi ve sistemin o hedef için yeni konumunun raporlanması arasındaki gecikme süresi oranı temsil edebilir.

Bir pozisyon tekniği yüksek sağlamlıkla birlikte bazı sinyaller olmadığı zaman veya RSS değer veya açı karakterlerinin bazıları daha önce hiç görülmemiş değerler olduğunda bile normal işlevsel olabilmelidir. Bazı durumlarda bir verici birimi sinyali tamamen bloke edilir yani o birimden alınan sinyal ölçümleri kullanılamayabilir. Bu durumlarda konum tahmini için gerekli bilgi diğer birimlerden alınan ölçümlerden oluşur. Bazen bazı ölçüm birimleri zor şartlarda fonksiyonel olmayabilir. Pozisyon teknikleri lokasyon hesaplamak için bu eksik bilgileri kullanmak zorundadır. Bu teknikler, bilinen yerlerde birçok verici sinyalleri alır ve ölçülen sinyallere dayanarak konumunu hesaplama yeteneğine sahiptir.

Genellikle, verici ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça konumlandırma performansı düşmektedir. Bir konum sistemi iki eksen üzerinde ölçek gerekebilir: coğrafi ve yoğunluk. Coğrafi ölçek alan veya hacim karşılanması anlamına gelir. Yoğunluk zaman başına birim coğrafi alan / uzay başına bulunan birim sayısını ifade eder. Daha fazla alan kaplama ve yoğunluğu fazlalaştırmamak gerekmektedir. Aksi halde koordinat hesaplamada sıkıntı çıkabileceği gibi yoğun alanlarda hesap yapma süresi artacaktır. Ölçeklenebilirlikte bir diğer ölçü ise uzayın boyutudur. Kimi sistem 2D, kimi sistem 3D, kimisi ise hem 2D hem 3D uzayı desteklemektedir.

Bir konumlandırma sisteminin maliyeti pek çok faktöre bağılı olabilir. Önemli faktörler para, zaman, alan, ağırlık ve enerji içerir. Zaman faktörü kurulum ve bakım ile ilgilidir. Ölçüm ünitesi yoğunluğu, alan maliyeti olarak kabul edilir.

Geliştirilecek lokasyon sistemi için yukarıdaki tüm maddeler dikkate alınarak ağırlıkları belirtilmelidir. Önem sırasına göre bir tercih yapılmalıdır. Aynı zamanda harita bilgisine bakılarak istenen harita türünü karşılayabilecek bir sistem tasarımına girişilmelidir ve kullanılacak topolojiler içerisinde uygun olanlar belirlenmelidir.

RF ile konum bulma yöntemleri, mesafe bulma ve yön bulma temelli olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Mesafe bulma temelli konum tespitinde sabit sensör düğümler ile mobil düğüm arasındaki mesafe, sıklıkla alınan sinyal gücü (RSSI) ölçümüyle hesaplanır. Günümüzde pek çok kablosuz sensör düğüm donanımında var olan RSSI okuyabilme özelliğinden dolayı, konum bulma algoritmalarının birçoğunda RSSI-mesafe ilişkisine dayalı teknikler tercih edilmektedir. Ölçülen RSSI değerini ve radar tekniğini kullanarak konum bulmaya çalışan önemli yöntemlerden birisi de, “imza tabanlı yöntem” olarak da isimlendirilebilen fingerprint (parmak izi) yöntemidir.

Hücre tabanlı metot herhangi mesafede veya açı hesaplamada beacon görünürlüğüne dayalı olarak konum belirler. Hücre tabanlı metotlarda önemli olan hücrenin şekli ve boyutudur. Açık alanda bu şekil genelde elipstir ama kapalı alanda pencere, kapı geçişi, yapı malzemesi, koridordaki malzemedan ötürü genelde yapı şekilsiz bir hal almaktadır. Yani geometrik herhangi bir şekilleri yoktur.

Kullanılan metotta beacon fazla olması lokalizasyon bulma anlamında olumlu etkisi olmaktadır lakin cihazların algıladığı beacon sınırlıdır ve maliyetin göz önünde bulundurulması gerekir. Aslında ele alınacak en önemli soru şudur: Belirli bir iç ortamda sınırlı sayıda beacon en iyi sonuç alacak şekilde nasıl yerleştirilebilir. Mesafe tahmin modeli geliştirilirken şu 3 faktöre önem verilmelidir [29]:

1. Radyo sinyalindeki sapmalar
2. Sinyal yansıtıcı ve emici dış etmenler(iç ortam trafiği, yerleşim plan, iç yapı malzemesi)
3. Mobil cihazın ve beaconun yönü.

Yine yapılan hesaplamalarda radyo sinyallerindeki sapmaların mesafe ölçümlerinde açık arayla en fazla dalgalanmaya neden olan faktör olduğu görülmüştür [29]. Aslında arka planda radyo paraziti her yerde bulunmaktadır. Eski analog TV'lerde zaman zaman görülen siyah düz çizgilerden oluşan statikte bu radyo parazitlerinde kaynaklanmaktaydı.

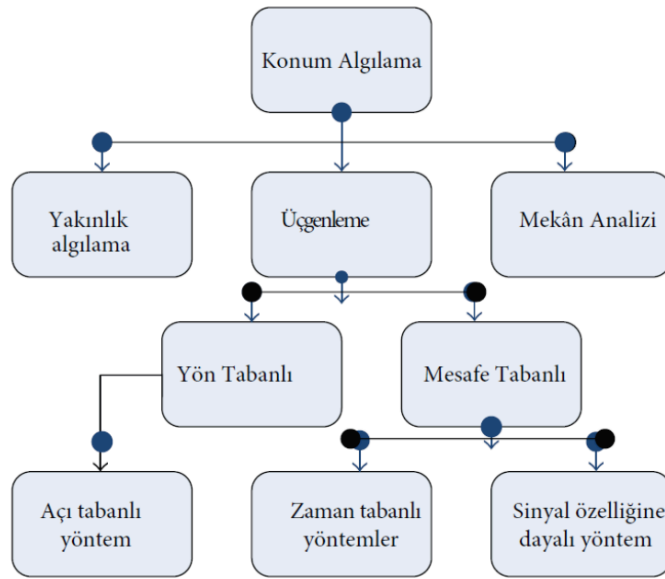
Güçlü sinyallerde sapma (gürültü) daha az iken zayıf sinyallerde çok daha yüksektir. Bu nedenle bir beacon cihazından birkaç mesafede olan mobil cihaz 10m veya daha uzak mesafede olan bir başka mobil cihaza göre daha doğru mesafe tahminleri sunabilir.

Uygulamalarda görülen en önemli eksik tek cihaz üzerinden gidilmesidir. Her cihaz modeli için farklı özellikli sensör kullanıldığı gibi cihazların farklı anten özelliklerine sahip olması, toplanan verilerin farklı olması anlamına gelmektedir.

2.3. Alıcı – Verici Düğüm Sinyal Etkileşimi

Kapalı alanda bulunan bir noktanın konumunun tespiti için ya sensörlerden alınan verilere yada sensörlere gönderilecek verilere ihtiyaç vardır. Kapalı alanda bu veriler seyrek görüş açısı, çok yönlü dağılım, sinyallerin soğrulması, saçılması ve yansması gibi birçok problemden dolayı istenilen şekilde alınamamaktadır. Dolayısıyla net olarak ölçülemeyen sinyallerden ötürü farklı yaklaşımlar uygulanmıştır.

Kablosuz bağlantı tabanlı konum belirlemede, konum tekniği ve algoritması için birkaç farklı yöntem kullanılır. Konum kestirme yöntemleri 3 ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar yakınlık (proximity), üçgenleme (Triangulation) ve mekan analizidir (Scene Analysis) (Özdemir vd. 2014).



Şekil 2. Konum algılama tabanlı sınıflandırma (Özdemir vd. 2014)

2.3.1. Yakınlık Algılama

Sembolik konum bilgisi sunan yakınlık algılama yönteminde mobil düğümün konumu, bağlı olduğu şebeke ile bilinen koordinat ve mesafe yardımıyla bulunur. Mobil düğüm tarafından eğer birden çok verici düğüm algılanırsa sinyalin en güçlü olduğu düğüme konum iletilir.

Yakınlık algılama yöntemi GSM şebekelerinde, bluetooth, radyo frekansı gibi birçok kablosuz teknolojiye kullanılabilir. Ayrıca kimlik algılanma, kredi kartı terminallerinde, toplu ulaşım kartlarında, otoban elektronik ücretlendirme sistemlerinde de bu yapı kullanılmaktadır.

2.3.2. Üçgenleme

Bu yöntem hedef kullanıcının konumunu belirlemek için üçgenin geometrik özelliklerini kullanmaktadır [30]. Birden fazla referans noktadan iletilen sinyallerdeki parametrelerden faydalanılarak konum bulma amaçlanmaktadır. Bu parametreler sayesinde aranılan konumun referans noktalara olan uzaklığı bulunur. Bu uzaklık bulunurken geometrik denklemler kullanılmaktadır.

2.3.2.1. Açı Tabanlı Yöntem (Angle of Arrival)

Bu yöntemde alıcı antenler, gönderilen sinyallerin yaptığı açıya bakarak konum bulmayı amaçlar. İki boyutlu bir düzlem için konum hesaplamak istendiği takdirde en az 2 alıcıya ihtiyaç vardır. Hassaslık arttırmak için alıcı sayısı artırılabilir. Bu yöntem kullanılan diğer yöntemlere göre daha maliyetli olmaktadır. Çünkü kullanılan antenler açı hesaplayan özel antenlerdir ve istenilen hassaslık doğrultusunda maliyetler daha yükselebilmektedir. Ayrıca çok yönlü dağılımın yüksek olduğu kapalı alanlarda geliş açısı büyük ölçüde değişebilmektedir. Bu da doğruluğun önemli açıda kaybolması anlamına gelmektedir.

2.3.2.2. Geliş Zamanı Yöntemi (TOA ve TDOA)

Geliş zamanı yönteminde (TOA) , verici düğümlerden alıcı düğüme gönderilen sinyalin tek yönlü ulaşım zamanı ölçülerek, bu iki nokta arasındaki uzaklık bulunabilmektedir. Bu tekniğin çalışması için tüm verici düğümlerinden alından sinyallerin tam olarak senkronize edilmesi gereklidir. Bu ölçüm sinyalin yayılım zamanı ile radyo sinyal hızının çarpılmasıyla bulunmaktadır. Elektromanyetik yayılım hızı ışık hızında olduğundan, özellikle alıcı-verici düğümlerin yakın olduğu durumlarda yayılım gecikmesinin ölçülmesi oldukça zor olacağı için TOA tekniğinin uygulanması pek mümkün olamamaktadır.

Geliş zamanı farkı tekniğinde ise (TDOA) alıcıların yerleri ve özellikle birbirlerine olan uzaklıkları özel olarak belirlenmektedir. Koordinatı belirlenecek olan hedef noktadan yayılan sinyaller en az 3 adet birbirinden farklı noktalara konumlandırılmış senkron alıcı antenlere farklı zamanlarda ulaşır. Bu farkın temel nedeni alıcıların farklı noktalara konumlandırılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Hedeften yayılan sinyali ilk alan alıcı anten referans nokta olarak kabul edilir. Artık aynı sinyalin diğer alıcılara ulaşma vakti ana bilgisayar tarafından senkron bir şekilde takip edilir. Bu zaman farklarını kullanarak alıcılar etrafında hedefin üzerinde bulunabileceği hiperbol denklemleri oluşturur. Oluşturulan hiperbol denklemlerinin çözümü ise hedef noktanın ilk alan alıcıya göre konumu bulunur. Sonra geliştirilen sistem tarafından global pozisyon bilgisine dönüştürülür.

2.3.2.3. Alınan Sinyalin Gücü Yöntemi (RSS)

Alınan sinyalin gücü yönteminde (RSS) verici düğümün gönderdiği sinyalin çıkış gücü ile alıcı düğümüne ulaşan sinyalin gücü arasındaki fark göstergesidir. Gönderilen sinyalle alınan sinyal arasındaki fark yani kayıp bu iki nokta arasındaki uzaklığa dönüştürülebilmektedir. Güçteki zayıflama yayılımdan kaynaklanmaktadır.

Günümüzde mobil cihazlarda alınan sinyal gücünün hesaplanabilen sensörler olduğu için ek maliyet söz konusu değildir. Bluetooth beaconların kullanım alanlarının da yaygınlaşmasından dolayı bu durum RSS tabanlı metotlara olan ilginin artmasına yol açmaktadır.

2.3.3. Mekan Analizi Yöntemi

Mekan analizi yönteminde konum tespit işlemi yapılması için o alandan sinyal toplanması gerekmektedir. Toplanan sinyaller veri tabanına kaydedilerek konum- sinyal ilişkisi kurulmaktadır. Bilinen pozisyonlardan toplanan her bir veri bloğu o pozisyon için parmak izi veya imza olarak adlandırılmaktadır. Aranılan konumlar ise toplanan sinyal parametrelerinin veritabanındaki kayıtlarıyla, yani parmak izleriyle, karşılaştırılarak bulunur.

RSS tabanlı parmak izi konumlandırma yöntemleri Bayes çıkarımı , YSA, SVM, HMM vb. gibi birçok metotta sıkça uygulanmaktadır. TOA, TDOA ve RSS gibi teknikler alıcı ve verici düğüm arasında değişen sinyalleri kullanılmaktadır. Bu sinyalleri kullanırken çeşitli dönüşümler yapılırken parmak izi metodunda bu şekil bir dönüşüm söz konusu değildir. Bunun yerine daha önceden toplanan veriler karşılaştırılarak bir kestirim yapılmaya çalışılmaktadır.

BÖLÜM III

İLGİLİ ALANDAKİ YAKLAŞIMLAR

Kapalı alan konum tespiti için birçok yöntem geliştirilmiştir. Kullanılan sensör tipi, alınan sinyallerin açısı ve şiddeti, yapılan işlemlerin tipi, uygulanan metod yöntemleri ve o yöntemlerin kullandığı cihazlar olarak birçok değişken bu yöntemlerin geliştirilmesinde önemli roller oynamıştır. Tablo 1 'de bu alanlardaki sınıflandırma gösterilmeye çalışılmıştır. İstenilen hassaslık, maliyet, yeniden yapılandırılma, ve ölçeklenebilirlik olarak bu sınıflandırmada gerekli teknoloji ve o teknolojinin kullanılabilirdiği yapılar tercih edilmektedir.

Tablo 1. Lokalizasyon tekniklerinin sınıflandırılması [1].

Lokalizasyon Tekniklerinin Sınıflandırılması				
Sensör Tipi	Sinyal Metrik	Metrik İşlemleri	Yaklaşım Metodu	Yaklaşım Tipi
RF (Radyo Frekansı)	AOA (Angle of Arrival)	Triangulation	LLS (linear least squared error)	Network- based
IR (Infrared)	RSS	Pattern Matching	MLE (maximum likelihood)	Handset based
Ultrasound	TOA / TDOA (Time arrival / Time difference of arrival)	Proximity	CL (centroid localization)	
Optik		Dead Reckoning	BE (beyesian estimator)	
Magnetic			YSA (artificial neural network)	
Inertia			SVM (Support Vector Machine)	
Gyroscope			HMM (Hidden markov model)	

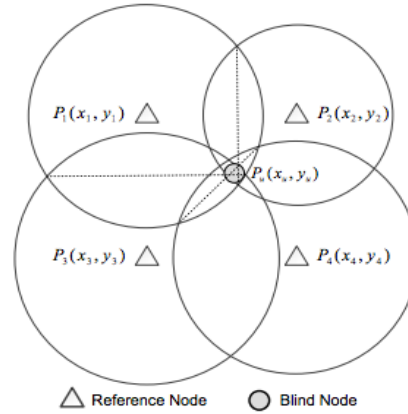
Konum tespiti için mobil cihaz uygulamalarında tercih edilen yöntem, genellikle 3 beacon arasındaki uzaklığı kullanarak çalışan triangulation metodudur. Yine beaconlarda konum tespiti için multilaterasyon teknikleri olan Least mean square yöntemi, Cramer-Rao yöntemi ve Tulip teknikleri kullanılmıştır.

Konum tespiti için kullanılan algoritmalarından biri de imza tabanlı konum tespit algoritmasıdır. İmza tabanlı konum tespiti iki fazdan oluşmaktadır. Bu fazlar RSSI radyo haritalama ve konum kestirim fazıdır. Haritalama fazında RSSI veri tabanı oluşturulur. Burada K-means metodu gibi metotlar kullanılarak her bir beaconsa ait RSSI verileri ayrı ayrı indirgenip ilgili radyo haritasının boyutunu küçülterek kayıt altına alınması işlemidir. Bu faza offline fazda denilmektedir. İkinci faz olan konum kestirim fazında da KNN yöntemi gibi yöntemler kullanılarak bu mobil cihazın hangi kümeye ait olduğu hesaplanmaya çalışılır. Bu yaklaşım şekli yaygın olarak kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılmıştır.

Bu tezde ise RSSI verileri ile iBeacon cihaz arasındaki mesafenin daha doğru hesaplanması ve daha yeni bir yöntem ile doğruluğu arttırılmış konum tespiti yapılması hedeflenmiştir.

3.1. Uzaklık Hesaplanması

RSS hesaplama dışında aynı zamanda verici ve alıcı arasındaki uçuş süresini hesaplayan TOA/ TDOA ve varış mesafesinin yönünü tayin edebilen AOA kullanılabilir. Bunların metotların dezavantajı olarak, ek olarak donanım ve yazılım bileşenlerinin gerekliliğinden dolayı maliyet artması. Örnek olarak karar verme zamanı için TOA ve TDOA tekniklerinde senkronizasyona ihtiyaç vardır .



Şekil 3. Lokalizasyon bulma tekniği [1]

Lokalizasyondaki RSSI yöntemlerinde, alınan sinyal gücü, verici ve alıcı arasındaki mesafenin çıkarılabileceği bir ölçüt olarak kullanılır. Bununla birlikte, belirli bir zaman ve aralıkta alınan RSSI, iki cihazın göreceli uzaklığı dışındaki birçok faktöre bağlıdır. Konum ve oryantasyondaki en ufak değişiklikler bile RSSI değerlerinde çarpıcı değişiklikler yaratabilir[45]. Dahası, çevredeki nesnelerin hareketi genellikle sinyal üzerinde büyük etkiye neden olmaktadır. Genel olarak, RSSI güçlü çoklu yol etkilerine karşı savunmasızdır (özellikle iç mekanlarda). Ayrıca sıcaklık ve nem gibi faktörler, sinyal yayılımını etkileyebilir. Tek bir anlık ölçüm yerine bir RSSI ölçüm seti kullanmak, mesafe tahmini doğruluğunu artırabilir.

RSSI, yayın kanalı haricinde vericiye ve alıcıya bağlıdır. Belirli bir kurulu sistem için vericiler aynıdır, ancak her kullanıcının kendi kişisel mobil aygıtını (akıllı telefon, tablet vb.) kullanarak sistemi kullanması istenebilir. Tüm bu faktörleri göz önüne alarak oluşturulacak sistemde, kullanılacak olan propagasyon modeli ve parametreleri önemli hal almaktadır.

RSSI için mesafe iletişimde yaygın olarak kullanılan yayılım modeli, mesafe d_i içinde beklenen RSSI r_i 'nin hesaplanması şu şekildedir:

$$r_i = r_0 - 10 n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) \quad (3.a)$$

Denklem (3.a) 'de r_0 , bir referans uzaklığı d_0 'da alınan RSSI değeri ve n , iletim kanalı, verici ve alıcıya bağlı olan yol kaybı üssüdür. Referans mesafesi olarak 1 metreyi kullanarak ve d_i için çözümlenerek aradaki mesafenin tespiti için formülasyon geliştirilmiş ve gerekli düzenlemelerle formül (3.b) kullanılmıştır [2][9].

$$d_i = 10^{\frac{r_0 - r_i}{10n}} \quad (3.b)$$

Denklem (3.b)'de d_i , sensör ile arasındaki mesafeyi, r_i , o anki algılanan RSSI değerini, r_0 , 1 metre için hesaplanan RSSI değeri, n ise özellikli çevre yayılımından etkilenen bir değerdir. 1,8 – 3,2 aralığında bir değer alır (engelli iç alanda frekans 900 mhz- 4 ghz arasındadır.).

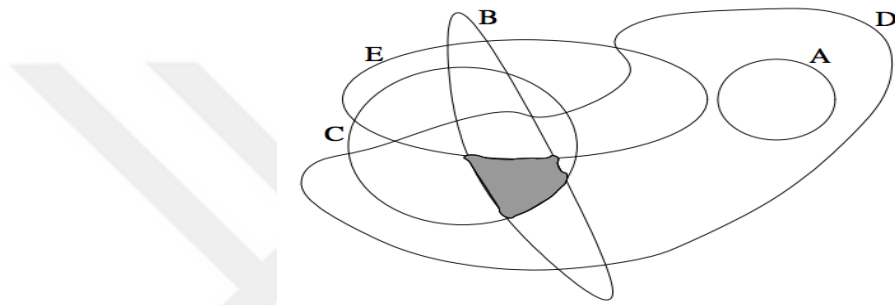
Tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulamada kullanılan CP0251 bluetooth beacon, test yapılacak alana yerleştirildi ve yerleştirilen beacondan, uzaklığı bilinen belirli noktalardan, iphone 5 mobil cihazı kullanılarak RSSI ölçümleri yapıldı. Ölçülen RSSI değerleri yardımıyla r_0 ve n parametreleri hesaplandı ve bu parametrelerin değerleri $r_0 = -59.5$ ve $n = 2.6853$ olarak belirlendi.

3.2. Başlıca Lokasyon Yaklaşımları

3.2.1. Hücre Tabanlı Yaklaşım

Hücre tabanlı yaklaşımda herhangi mesafe veya açı hesaplanmadan, beacon görünürlüğüne dayalı olarak konum belirlenir. Hücre bazlı konum belirlemede önemli olan hücrenin şekli ve boyutudur. Açık alanda lokasyon bulmayı amaçlayan uygulamalarda elips gibi genellikle düzenli şekilli hücreleri varsayılır. Fakat kapalı alan

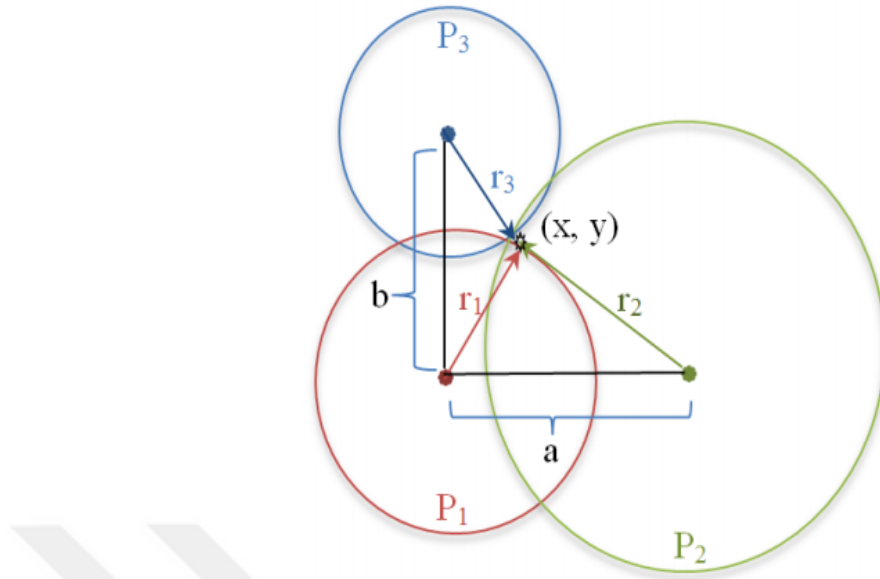
lokasyon bulmayı amaçlayan uygulamalarda, binalar ve içindeki yapıları nedeniyle böyle bir varsayım gerçekçi değildir. Örnek verilecek olursa, bluetooth sinyalleri büyük mesafelerdeki koridorlar boyunca hareket etmek istediğinde, aradaki duvarlar ve donanıma, enine yönde etki edip hızı azaltması yaygındır. Benzer şekilde iç pencere, kapı ve ayrıntıları gibi yapı malzemesi, önemli ölçüde bluetooth işaretlerinin mesafesini etkileyebilir [14].



Şekil 4. Hücre tabanlı konum bulma tekniği örneği

Şekil 4 'deki gibi bir alanda beacon sayısı arttırıldığında lokalizasyon daha sağlıklı yapılmakla birlikte cihazın algıladığı beacon sayısının sınırlı olması ve maliyetin artması gibi dezavantajlarda beraberinde getirmektedir. Buradaki asıl soru sudur: Belirli iç ortamda sınırlı sayıda beacon en iyi sonuç alınacak şekilde nasıl yerleştirilir [14]. Hücre tabanlı konum bulma tekniğinde her hücre istenildiği gibi ayırt edilebilir ve ayırt edilen hücelere isim verilebilir.

Gezginin lokasyonu için kullanılan noktadaki çakışmalardan kaçınılmalıdır. Her beacon pozisyonu ortamla ilişkilidir. Bu pozisyon inşaat malzemesine , yansımalara, pozisyonları ve lokasyonları arasındaki geometrik ilişkiye bağlıdır.



Şekil 6. Trilaterasyon yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği [9].

Burada hedef düğüm koordinatlarının tahmin edilebilmesi için üç beacondan (P1,P2,P3) gelen RSSI değeri kullanılır. Bu teknikte, belirtilen hedefe sinyal gönderen beaconlar olduğunda, en küçük RSSI değerlerine (muhtemelen en yakın yer işaretlerine) sahip üç beacon seçilir. Ardından, algoritma seçilenlerin çevresinde çizilmiş dairelerin, üst üste binen bölgesi temelinde, konumu tahmin etmeye çalışır. Şekil 6 'da, bu teknik tasvir edilmektedir. Trilaterasyon tekniğinde, çakışan bölgenin merkezi, hedef düğümün konumu olarak kabul edilir.

Genel denklem aşağıdaki gibidir. Burada herhangi bir r , aranan (x,y,z) koordinatlarıyla o çemberin merkezi koordinatı olan (x_a, y_a, z_a) değerleriyle bulunmaktadır.

$$r^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2 \quad (3.c)$$

Her çember için denklem (3.c) çözüldüğünde aranan x , y , ve z değerlerine yani aranan koordinatın (x,y,z) değerlerine erişilmiş olur.

$$Va = x(xb - xc) - y(yb - yc) = \frac{(xc^2 - xb^2) + (yc^2 - yb^2) + (ab^2 - ac^2)}{2} \quad (3.d)$$

$$Vb = x(xb - xa) - y(yb - ya) = \frac{(xa^2 - xb^2) + (ya^2 - yb^2) + (db^2 - da^2)}{2} \quad (3.e)$$

$$y = \frac{Vb(xb - xc) - Va(xb - xa)}{(ya - yb)(xb - xc) - (yc - yb)(xb - xc)} \quad (3.f)$$

$$x = \frac{y(ya - yb) - Va}{(xb - xc)} \quad (3.g)$$

Yukarıda verilen (3.f) ve (3.g) denklemleri, trilateration yöntemi ile 2 boyutlu koordinat bulmaktadır. Burada a, b ve c beaconları yardımıyla ilgili nokta bulunurken bu beaconların lokasyonları sırasıyla (xa, ya) , (xb, yb) ve (xc, yc) ve o beaconlara uzaklık sırasıyla da , db ve dc olarak gösterilmiştir. Aranılan konum ise (x, y) olarak sembolize edilmiştir.

3.2.4. Yinelemeli Trilateration Yöntemi

Trilateration lokasyonu bilinen 3 yada daha fazla referans noktasındaki mesafelere dayalı eşzamanlı nesne konumu bulmaya çalışan bir metottur. Ancak gürültülü durumlarda daire bölgede kesişir veya hiç kesişmeyebilir. Bu gibi durumlarda en az hata veren çözüm düşünülmelidir. Lokalizasyon sırasında gözlemlenen 3 beaconun RSSI vektörü (r_1, r_2, r_3) denirse; aradaki mesafeler (d_1, d_2, d_3) ile sembolize edilecek olursa, küçük bir r_i daha doğru olduğundan anlatılan metot mutlak hata yerine toplam göreceli hatayı minimum yapar [21].

Yinelemeli trilateration (x_i, y_i) ve mesafe d_i olduğu düşünüldüğünde, önemsiz bir başlangıç noktası (x_e, y_e) olarak kabul edilir ve tahmini uzaklık ve ölçülen mesafe arası fark hata olarak hesaplanır. Formül (3.h) 'de tahmini uzaklık ve ölçülen mesafe farkı yani hata hesaplanmaktadır.

$$\Delta = (B^T B)^{-1} B^T f \quad \text{or} \quad \Delta = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (3.h)$$

$(\Delta x, \Delta y)$ değerleri x_e ve y_e değerlerinin daha doğru olması için ayarlanan değişkenler olmak üzere:

$$\begin{aligned}
B &= \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_e} & \frac{\partial f_1}{\partial y_e} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_e} & \frac{\partial f_2}{\partial y_e} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_i}{\partial x_e} & \frac{\partial f_i}{\partial y_e} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{(x_1-x_e)}{\sqrt{(x_1-x_e)^2+(y_1-y_e)^2}} & \frac{(y_1-y_e)}{\sqrt{(x_1-x_e)^2+(y_1-y_e)^2}} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \frac{(x_i-x_e)}{\sqrt{(x_i-x_e)^2+(y_i-y_e)^2}} & \frac{(y_i-y_e)}{\sqrt{(x_i-x_e)^2+(y_i-y_e)^2}} \end{pmatrix} \quad (3.i)
\end{aligned}$$

$$|f_i| = \left| d_i - \sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2} \right| \quad (3.j)$$

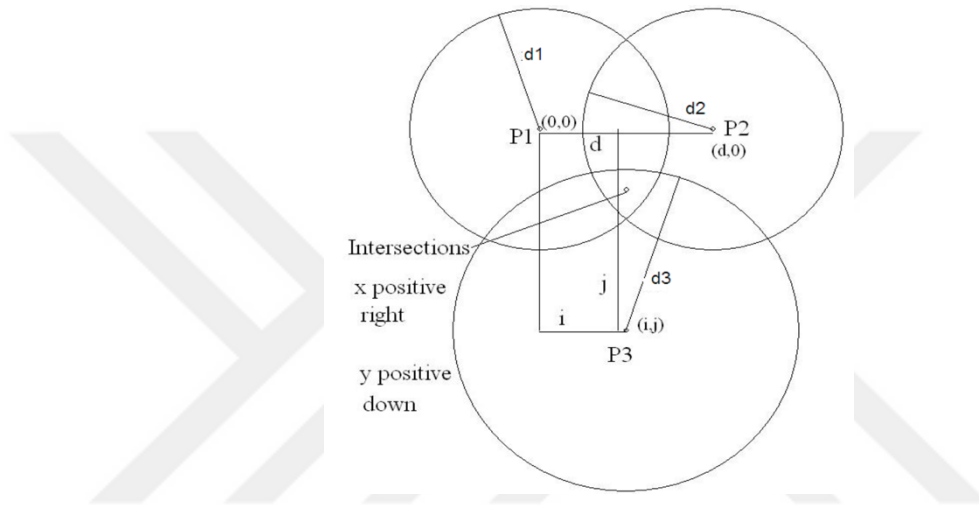
Δ değeri hesaplandıktan sonra aşağıdaki işlemler (3.k) yapılır ve böylece ilk verilen x ve y değerleri daha doğru bir değer almış olur.

$$\begin{aligned}
x_e &= x_e + 0.05\Delta x \\
y_e &= y_e + 0.05\Delta y
\end{aligned}
\quad |f_i| = \left| \frac{d_i - \sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2}}{d_i} \right| \quad (3.k)$$

Yeni (x_e, y_e) değerleri hesaplandıktan sonra tekrar aynı şekilde Δ değeri hesaplanır ve bu süreç iki şekilde son bulur. Ya sabit olarak bir iterative sayısı girilir yada MMSE denilen hata katsayısı hesaplanır. Bu MMSE değerinin hesaplanması yukarıda gösterilmiştir. Hata 6 ondalık basamağa içinde düşene kadar yineleme yapılır.

3.2.5. Tulip Yöntemi

Tulip yöntemi Stanford Üniversitesi tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem daire denklemlerini çözmeye dayanmaktadır. Şekil 7 'de, üç simgenin her birinden hedefe doğru çizilen üç daireyi göstermektedir ve $d1$, $d2$, $d3$ dairelerin yarıçapıdır [42].



Şekil 7. Tulip yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği

Şekil 7 'de gösterildiği gibi P1 , P2 ve P3 noktalarına göre aranılan konum hesaplanacak olursa ; P1 merkezli beaconun merkez koordinatı (x_a, y_a) ve bu merkeze olan uzaklık d_a , P2 merkezli beaconun merkez koordinatı (x_b, y_b) ve bu merkeze olan uzaklık d_b , aynı şekilde P3 merkezli beaconun merkez koordinatı (x_c, y_c) ve bu merkeze olan uzaklık d_c olacak şekilde, aranılan konum olan (x, y) noktasının hesaplanması aşağıda gösterilmiştir ;

$$deg1 = (d_a^2 - d_b^2) + (x_b^2 - x_a^2) + (y_b^2 - y_a^2)$$

$$deg2 = (d_b^2 - d_c^2) + (x_c^2 - x_b^2) + (y_c^2 - y_b^2)$$

$$\alpha1 = deg1 * (2y_c - 2y_b) + deg2 * (2y_b - 2y_a)$$

$$\alpha2 = (2x_b - 2x_c) * (2y_b - 2y_a) + (2x_a - 2x_b) * (2y_c - 2y_b)$$

$$x = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (3.1)$$

$$y = \frac{deg1 + x * (2xa - 2xb)}{(2yb - 2ya)}$$

Daireler için (3.1) denklemleri sırasıyla kullanılarak, hedefin aranılan koordinatı olan (x, y) bulunabilmektedir.

3.2.6. Cramer Rao Yöntemi

Cramer kuralı çeşitli lokalizasyon uygulamalarında kullanılmaktadır. Değişken sayısı ile denklem sayısının eşit olması şartıyla kullanılan bir yöntemdir. Doğrusal denklemler matris formuna dönüştürülmektedir [4][5][7].

Aranılan noktadan A , B ve C beaconlarından sinyal alındığı varsayılırsa ve bu beaconlara göre aranılan konum hesaplanacak olursa; A beaconun merkez koordinatı (x_a, y_a) ve bu merkeze olan uzaklık, da ; B beaconun merkez koordinatı (x_b, y_b) ve bu merkeze olan uzaklık, db ; aynı şekilde C beaconun merkez koordinatı (x_c, y_c) ve bu merkeze olan uzaklık, dc olacak şekilde, aranılan konum olan (x, y) noktasının hesaplanması şu şekildedir;

$$\det(A) = \begin{vmatrix} (x_c - x_a) * 2 & (y_c - y_a) * 2 \\ (x_c - x_b) * 2 & (y_c - y_b) * 2 \end{vmatrix}$$

$$\det(A_1) = \begin{vmatrix} (da^2 - dc^2) - (xa^2 - xc^2) - (ya^2 - yc^2) & (yc - ya) * 2 \\ (db^2 - dc^2) - (xb^2 - xc^2) - (yb^2 - yc^2) & (yc - yb) * 2 \end{vmatrix}$$

$$\det(A_2) = \begin{vmatrix} (xc - xa) * 2 & (da^2 - dc^2) - (xa^2 - xc^2) - (ya^2 - yc^2) \\ (xc - xb) * 2 & (db^2 - dc^2) - (xb^2 - xc^2) - (yb^2 - yc^2) \end{vmatrix}$$

$$x = \frac{\det(A_1)}{\det(A)}$$

(3.m)

$$y = \frac{\det(A_2)}{\det(A)}$$

Cramer rao yöntemi, (3.m) denklemleri sırasıyla çözülerek verilen hedefin aranılan koordinatı olan (x, y) bulunabilmektedir.

3.2.7. Ortalama Algoritması

Ortalama algoritması, hedef düğüm koordinatının bulunması için, o noktada algılanan tüm beaconların koordinat bilgileri kullanılır ve bu koordinat bilgilerinin ortalamasıyla sonuç bulmaya çalışılır. Bulunması istenen hedef düğümün konumu (x_{target}, y_{target}) , bu konumda algılanan beaconların bulunduğu konum (x_i, y_i) şeklinde gösterildiğinde, hedef düğümün hesaplanması şu şekildedir;

$$(x_{target}, y_{target}) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right)$$

(3.n)

Denklem (3.n) 'deki N, aranılan noktada algılanan beacon sayısı; x_i , algılanan beaconun x koordinatı; y_i ise algılanan beaconun y koordinatını göstermektedir.

3.2.8. Ağırlaştırılmış Ortalama Yöntemi

Kapalı bir lokalizasyon sistemi ve uygulamaları için tahmini belirli bir alanın içinde, yani bina içinde sınırlamak istenebilir. Gezinmeyi sağlamak için harita eşleştirme kullanıldığında, bir binanın dışına doğru bir tahmin atlaması sorunlu navigasyona neden olabilir. Böylece, bu önerilen yöntemle dikdörtgen bir oda veya bir koridorda kapsama sağlamak için, $B = 4$, bu alanı kapatabilecek minimum işaretçisidir.

Her bir sinyalizasyondan mobil cihazın uzaklığı hakkında bir tahmin elde ettikten sonra, konum tahminine geçilir. Çoklu yol efektleri nedeniyle, her an mesafe tahmininin kesin olacağını iddia etmek gerçek dışıdır. Özellikle büyük mesafelerde, RSSI değerlerinde küçük bir fark büyük mesafeli farklılıklara neden olmaktadır. Öte yandan küçük mesafelerde RSSI değerleri tamamen ayırt edilebilir.

Tespit edilen işaretlerin listesinden, en yakın 4 sinyal tutulur. Mobil cihazın bulunduğu alan kapsama alanı içerisinde (beacon tanımlı poligon) varsayılarak, tahmini pozisyon bu dört beacon için tanımlanan dörtlü bölme içinde olacaktır. $[y1, y2, y3, y4]$ ve $[x1, x2, x3, x4]$ pozisyonları sırasıyla 4 en yakın sinyali yayan beaconun enlem ve boylamı iken $[d1, d2, d3, d4]$ o beaconlara olan tahmini mesafeler olsun. Tahmini pozisyonun enlemi Y_{est} ve boylamı X_{est} şu şekilde hesaplanır:

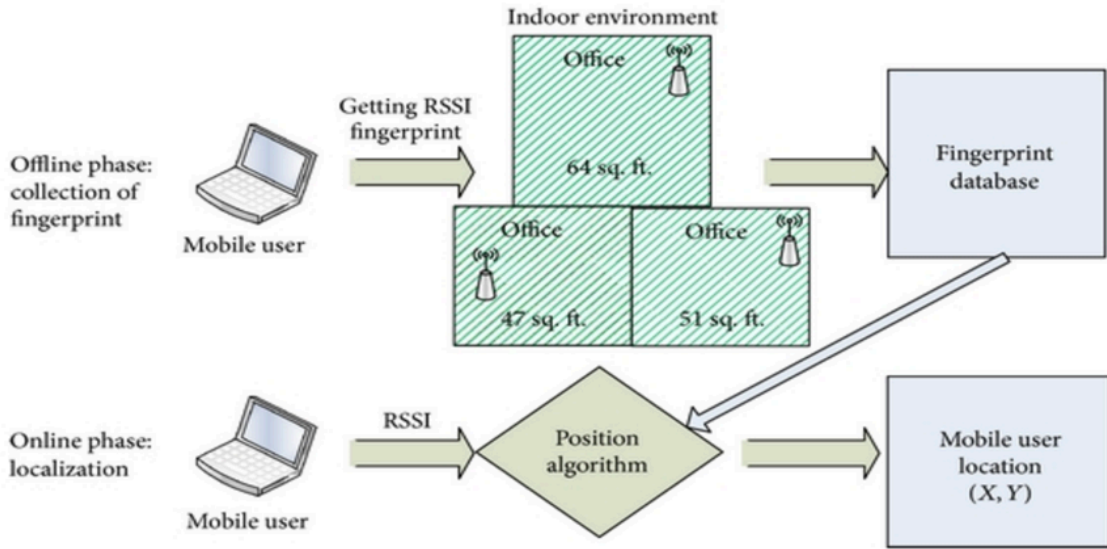
$$X_{est} = \frac{\sum_{k=1}^4 \frac{x_k}{d_k}}{\sum_{k=1}^4 \frac{1}{d_k}}, \quad Y_{est} = \frac{\sum_{k=1}^4 \frac{y_k}{d_k}}{\sum_{k=1}^4 \frac{1}{d_k}} \quad (3.0)$$

Denklem (3.0)'de beacon k 'dan tahmini mesafenin tersi olan ağırlık $1 / d_k$ 'yi kullanarak en yakın dört sinyalin ağırlıklı ortalaması hesaplanır. Bu ağırlaştırılmış ortalama kullanılarak, en yakın beaconların dörtlü kenarı içinde tahmin kısıtlanır ve önerilen spesifik ağırlık ile tahmin, en yakın beaconsa doğru çekilir; ancak geri kalan beaconların mesafelerine ters orantılı olarak katkıda bulunur.

Kullanılabilecek en yakın beaconların minimum sayısı 3 olmalıdır. Çünkü 3 nokta bir düzlem tanımlıyor. En yakın 3 beaconun kullanıldığı durumda, tanımlanan alan bir üçgen olur. Bu üçgenin ortasında tahmin, 4 adet beacon kullanıldığı duruma kıyasla daha iyi sonuç beklenir. Fakat en yakın 3 beacon kullanmanın sakıncası olarak, kullanıcı hareket edip bir üçgenden diğerine geçtiğinde, iki üçgenin ortak kenarının yakınındaki tahmin doğruluğu önemli ölçüde bozulmaktadır. Bu yüzden en yakın 4 beaconu kullanmak bir üçgenden diğerine yumuşak bir geçiş sunmaktadır.

3.2.9. Parmak izi Tabanlı Konumlandırma Sistemleri

Sinyallerin önceden toplanan bilgileri kullanılarak, aranılan noktanın konumunun tahmini parmak izi yöntemi ile yapılabilmektedir. RSSI değerleri ile konum tespiti yapan bu algoritmalar, iki fazdan oluşur. Birincisi mevcut alanda belirlenmiş noktalar için, sabit düğümlerden alınan RSSI değerlerinin saklandığı bir veri tabanı oluşturma işlemidir. Buna offline fazı veya RSSI haritalama fazı da denir. Konum kestirim işleminden önce bir alanda belirli sinyal parametrelerine göre araştırmalar yapılmakta ve bu bilgiler bir veritabanında ilişkili konum bilgisi ile kayıt edilmektedir. Bilinen bir pozisyondan toplanan her bir veri bloğu parmak izi veya imza olarak adlandırılmaktadır. İkinci faz ise mobil düğümün, sabit düğümlerden online olarak ölçtüğü RSSI değerleri ile veri tabanındaki verilerin (imza değerlerinin) etkileştirilerek konum tespiti işlemidir. Yani cihaz tarafından daha önceden toplanan veriler karşılaştırılarak bir kestirim yapılmaya çalışılmaktadır. Konumlara özel ilişkili sinyal parametreleri ile insanlara özel parmak izleri arasındaki benzerlikten dolayı bu yöntem de parmak izi yöntemi olarak geçmektedir. Parmak izi yöntemi birçok konumlandırma sisteminde kullanılmaktadır. RSS tabanlı parmak izi konumlandırma sıkça uygulanmaktadır.



Şekil 8. Parmak izi yöntemi ile lokalizasyon bulma tekniği

Haritalama fazında, elde edilen RSSI veritabanının küçük kapasiteli fakat çalışılacak alandaki RSSI dağılımını iyi ifade edebilir yapıda olması, konum kestirim fazında ise konum tespitinin doğruluk miktarı ve hesaplama hızı önemli kriterlerdir [13].

Fingerprint tabanlı konumlama algoritmaları, deterministik ve olasılıklı örüntü tanıma teknikleri kullanır. K-en yakın komşu (KNN), yapay sinir ağları (YSA), karar destek makinesi (SVM), temel bileşen analizi (PCA), Bayes çıkarılma veya bunların kombinasyonlarını kullanarak örüntü tanımlar yaparlar [27][28].

Bir mekandaki wi-fi sinyal haritasının öğrenilmesi, çeşitli cihazlar vasıtasıyla toplanan wi-fi izleri (fingerprint) sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu izler tipik olarak duyulan wi-fi erişim noktaları hakkında MAC adresi, SSID gibi bilgiler ve her bir erişim noktasından gelen sinyalin sinyal-gürültü oranı gibi ölçütlerin toplamından oluşmaktadır. Literatürde, wi-fi izlerinden faydalanarak bir mekandaki radyo haritasını öğrenen ve bu bilgiye dayanarak konum tahmini yapan birçok yöntem önerilmiştir [27][28]. Bu yöntemlerin çoğunluğu ana konum belirleme şeması olarak iz eşleştirme yöntemini

benimsemişlerdir. Bir aygıtın konumu anlık iz ölçümünün daha önceden veri tabanına toplanmış izlerle eşleştirilmesi yöntemiyle belirlenmektedir. Bu yöntem kalibrasyon, çevrimdışı veya eğitim olarak adlandırılan ilk safhadan ve konumlandırma veya çevrimiçi olarak adlandırılan ikinci safhadan oluşmaktadır. İz tabanlı yöntemlerin ana zorluğu, sinyal dağılımının değişken olmasına sebep olan hareket eden nesnelere, kırınımlar ve yansımalarıdır.

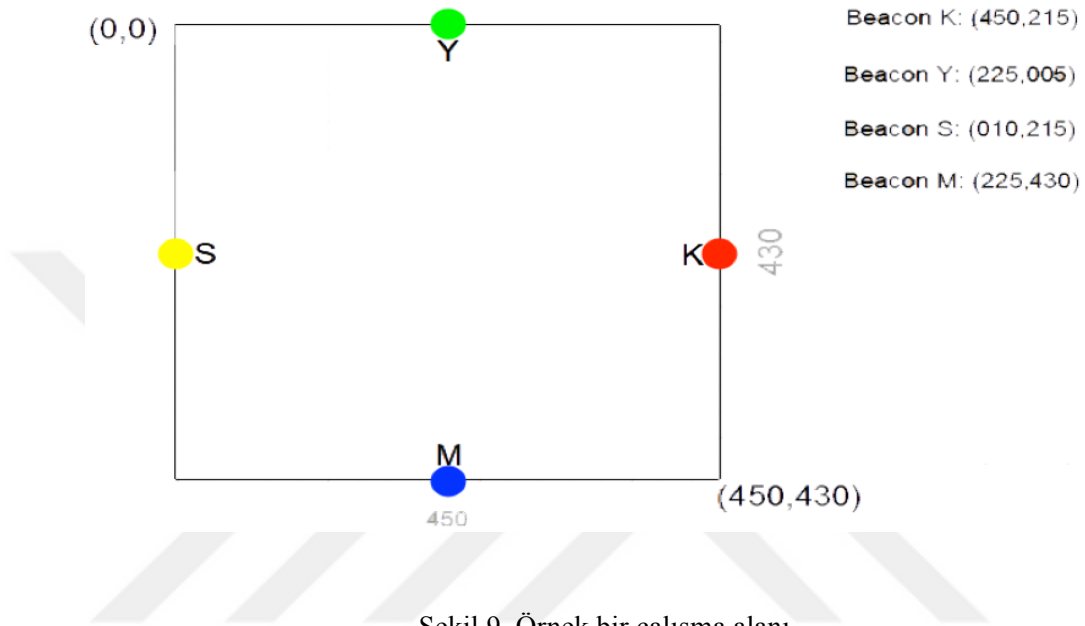
Bazı kaynaklarda kullanıcı takibi için RSSI değerleri yanında diğer sensörlerden destek alınmıştır. RSSI ile birlikte hareket sensörü bilgileri ile fingerprint yönteminin eğitimi gerçekleştirilmiştir ve hata miktarı minimuma indirilmiştir. Burada bir yandan HMM(hidden markov model) gibi örüntü tanıma algoritmasına ait durum sayısı için eğitimde çaba azaltılması hedeflenirken, diğer yandan olası bir kullanıcı lokasyonunun bulunduğu alandaki kullanılan yoğun gridlerden yakın olanın tercih edilmesi sağlanmıştır.

3.3. Geliştirilen Algoritma (NBINA Algoritması)

Algoritma tasarlanırken dikkat edilen kısıtlar :

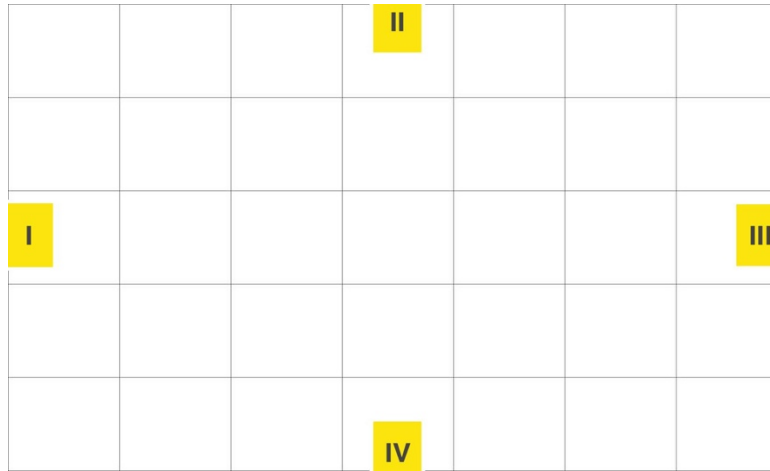
- Algoritma, kapalı alanlara uygun çalışmalı
- Algoritma değişken oda koşullarında (manyetik alan fazlalığı, nem vs.) minimum hata payı ile çalışmalı
- Algoritma hızlı sonuç vermeli
- Algoritma internetin olmadığı yerlerde de çalışabilmeli (hesaplamalar cihaz içerisinde yapılabilir olmalı)
- Algoritma değişken boyutlarda ve şekillerde bulunan kapalı alanlarda da doğru sonuç vermeli.

Geliştirilen algoritma en az 4 beaconla çalışmaktadır. Algoritmada lokasyon hesabı yapılacak alan dikdörtgensel alan olarak düşünülecek olursa, kenarların ortasına beacon yerleştirilmesiyle ilgili alanda navigasyon ve lokasyon tahmini yapılmaktadır. Ve alan istenildiği hassaslıkta gride bölünebilmektedir.



Şekil 9 'da örnek bir yerleştirme görülmektedir. Dikdörtgensel alanın eni 450 cm boyu ise 430 cm 'dir ve beaconlar bu kenarların ortasına yerleştirilmektedir. İstenilen koordinatın x değerine, S ve K beaconlarından alınan sinyallerle karar verilirken; y değerine ise Y ve M beaconlarından alınan sinyaller etkili olmaktadır.

Lokasyon bulunması istenildiğinde ilgili noktadan alınan sinyallerin RSSI değerlerinden o beaconlara olan uzaklıklar tespit edilir. Karşılıklı beaconlardan alınan mesafelerin birbirine oranına göre ilgili gridler tespit edilir ve lokasyonu aranan noktanın konumu o gridin ortası olarak belirlenir.



Şekil 10. Çalışma alanının gride ayrılmış hali

Şekil 10 'da aranılan nokta (x,y) olmak üzere, x değeri için, I ve III nolu beaonlara olan uzaklık baz alınmaktadır. Aynı şekilde y değeri için, II ve IV nolu beaonlara olan uzaklık baz alınmaktadır. Şekil 10 'da ki gibi yatayda 7 eş parçaya düşeyde ise 5 eşit parçaya ayrıldığı varsayılırsa alınan sinyalin I nolu beaona 3 metre, III nolu beaona 5 metre uzaklıkta olduğu varsayılın.

$$X \text{ grid} = \text{roundUpper} \left[\left(\frac{d_1}{d_1+d_2} \right) \times HG \right] \quad (3.p)$$

Bu denklemde (3.p), $X \text{ grid}$ en yakın beaondan başlamak üzere aranan yataydaki grid numarası, d_1 yatay hesabı için kullanılan beaonlardan en yakınına olan uzaklık, d_2 yatay hesabı için kullanılan beaonlardan en uzağına olan uzaklık, HG ise yatay grid sayısıdır. Çıkan sonuç üste yuvarlanarak yatayda hangi grid merkezinde bulunduğu bulunur. Şekilde verilen değişkenler dikkate alınacak olursa $X \text{ grid} = \text{roundUpper}((3/(3+5)) * 7) = 3$. grid olarak bulunur. Yakın olan beaondan (I nolu beaon) itibaren yatayda 3. grid hesaplanmaktadır.

$$Y \text{ grid} = \text{roundUpper} \left[\left(\frac{d_1}{d_1+d_2} \right) \times VG \right] \quad (3.r)$$

Denklemden (3.r) ise $Y \text{ grid}$ en yakın beacondan başlamak üzere aranan düşey grid numarası, d_1 düşey hesabı için kullanılan beacondan en yakınına olan uzaklık, d_2 düşey hesabı için kullanılan beacondan en uzağına olan uzaklık, VG ise düşey grid sayısıdır. Çıkan sonuç üste yuvarlanarak düşeyde hangi grid merkezinde bulunduğu bulunur.

Sinyaller sinüzoidal şekilde yayılım yaptığı için herhangi bir noktada ilgili beacondan sinyaller sürekli değişiklik göstermektedir. Örneğin aynı noktada durulduğu zaman herhangi bir beacondan [-62, -62, -66, -63, -61] gibi sinyaller okunabilmektedir. Bu değişkenlikten ötürü geliştirilen algoritma 2 yönden öne çıkmaktadır.

- Eğer ilgili sensörü sadece X yada sadece Y etkileme özelliği olmasaydı küçük RSSI değişikliklerin etkileri öklid mesafesi boyutunda olacaktı. Bu etki minimize edilmeye çalışılmıştır.
- Bu küçük sinyal değişiklikleriyle ilgili nokta sürekli hareket halinde görülecekken grid yapısıyla daha kararlı bir hal almıştır.

Aranılan nokta ile ilgili olarak o noktanın hareket edip etmediğini yada bu alınan sinyallerin gürültü olup olmadığı harici sensör (gyroscope, accelerometer) kullanmadan pek mümkün görülmemektedir. Uygulamada bu durum sebebiyle şöyle bir metot izlenmiştir.

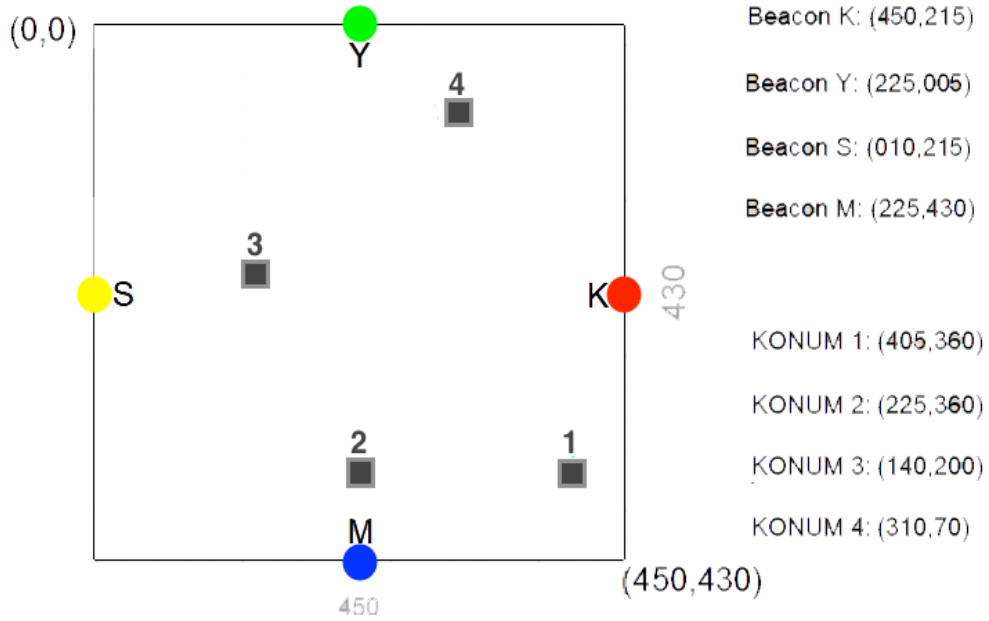
Algoritma adımları :

1. Başla
2. 4 farklı sensör sinyali alana kadar bekle
3. Sinyal alınca her bir sinyal alınan sensörün koordinatlarına göre yatay yada düşey düzlem sensörü olduğunu hesapla
4. Alınan bluetooth sinyaliyle uzunluk hesabı yap ve bu RSSI değerlerini değişken olarak sakla
5. Hesaplanan koordinatı göster ve yeni sinyal dinle
6. Okunan sinyal aynı sensöre ait ise hafızada tutulan sinyal değeriyle yeni değerini ortalamasını al. Ortalamayı hesaplamalarda kullan.
7. Okunan sinyal değeri farklı sensöre ait ise bu yeni sensörü eskisinin yerine set et. Ve 3 nolu işleme geri dön bunu işleme dahil et.
8. Bitir.

BÖLÜM IV

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Dikdörtgenel Alanda Algoritma analizi



Şekil 11. Eni 450 cm ve boyu 430 cm olan odaya yerleştirilmiş 4 adet beacon ve bu odadan alınmış 4 farklı konum gösterilmiştir. Sağ taraftaki koordinatlar o odadaki (x cm , y cm) şeklindedir.

Şekil 11 'de beaconlar (sarı kırmızı mavi ve yeşil olarak gösterilen) buldukları duvarların orta noktasına konumlandırılmıştır. Oda yatayda 4.5 metre ve düşeyde 4.3 metre boyutlarına sahiptir. Kullanılan beaconlar 20 metre mesafeye kadar sinyal gönderebilmektedir.

Seçilen noktaların konumları hesaplanmış ve oda içerisinde işaretlenmiştir. Koordinatı bulunulması istenen kullanıcı kapıdan içeri girmiş ve sırasıyla 1 – 2 – 3 – 4 noktalarını güzergâh olarak kabul etmiş ve işaretli noktalar üzerinde 2 saniye kadar beklenmiş ve yeni noktaya geçilmiştir. Bu noktalarda cihaz tarafından alınan sinyallerin RSSI değerleri konum bulma da kullanılmıştır. Son noktaya gelince de durdurulmuştur. Örnek senaryolarda konum bulmak için yaygın olarak kullanılan 4 farklı metot (Trilateration, Tulip, Cramer Rao, Weight Average tekniği) ve geliştirilen yeni metot analizi yapılmaya çalışılmıştır. Bu kıyaslanacak metotlar seçilirken;

- Yaygın olarak kullanılması
- İnternet gereksinimi duymadan cihaz içerisinde hesaplanabilir olması
- Hızlı sonuç veriyor olması
- Mobil cihaz işlemcisini yormayan işlemlerle verimli sonuç verebilir olması
- Düşük maliyetli olması (Fingerprint data toplanması gibi maliyetlerden uzak durma ve beacon sayısının düşük tutulması gibi) gibi kriterler göz önüne alınmıştır.

Tablo 2. Alınan sinyaller ve Trilateration, Tulip ve Cramer rao konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)			
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	Trilateration Metodu	Tulip Metodu	Cramer Rao Metodu
KONUM 1	-69	-62	-68	-81	(405 , 360)	(450.0 , 430.0)	(237.2 , 217.5)	(450.0 , 420.2)
	-69	-58	-72	-72		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-69	-59	-75	-68		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-66	-58	-68	-68		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-68	-58	-70	-71		(450.0 , 430.0)	(237.2 , 217.5)	(450.0 , 420.2)
KONUM 2	-75	-58	-75	-72	(225 , 360)	(419.0 , 430.0)	(222.5 , 217.5)	(450.0 , 450.9)
	-69	-58	-72	-67		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-68	-58	-75	-67		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-69	-59	-77	-68		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
	-71	-60	-78	-66		(450.0 , 430.0)	(230.0 , 210.0)	(450.0 , 430.0)
KONUM 3	-73	-57	-72	-63	(140 , 200)	(419.9 , 429.9)	(222.5 , 217.5)	(450.0 , 430.0)
	-73	-63	-68	-71		(419.9 , 429.9)	(222.5 , 217.5)	(450.0 , 430.0)
	-74	-61	-72	-71		(419.9 , 429.9)	(222.5 , 217.5)	(450.0 , 430.0)
	-75	-59	-80	-66		(450.0 , 430.0)	(229.9 , 210.1)	(450.0 , 430.0)
	-76	-59	-78	-59		(450.0 , 430.0)	(229.9 , 210.1)	(450.0 , 430.0)
KONUM 4	-58	-76	-75	-73	(310 , 70)	(450.0 , 430.0)	(230.1 , 225.2)	(0.0 , 0.0)
	-59	-76	-81	-76		(450.0 , 430.0)	(230.1 , 209.9)	(450.0 , 430.0)
	-56	-70	-68	-76		(450.0 , 430.0)	(237.2 , 217.5)	(450.0 , 420.2)
	-56	-69	-68	-73		(450.0 , 430.0)	(237.2 , 217.5)	(450.0 , 420.2)
	-57	-69	-68	-73		(450.0 , 430.0)	(237.2 , 217.5)	(450.0 , 420.2)

Tablo 2 'de örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti yapılacak cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, Tulip, Cramer rao ve Trilateration algoritmalarının her sinyal için bulunan sonucu ve bu her konum için alınan sinyallerden elde edilen sonucun ortalama lokasyonu gösterilmiştir. Alınan sinyal değerlerinin bazı konumlar için sağlıklı sonuç veremediği görüldüğü için hesaplanan anormal değerlere maksimum ve minimum değerlere eşitlenmiştir. İlgili alan için x değeri için [0 , 450] ve y değeri için [0 , 430] kapalı aralığı sınırlandırılması yapılmıştır.

Tablo 3. Alınan sinyaller ve Weight Average Algoritması konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)		
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	WAT Metodu	Ortalama Location
KONUM 1	-69	-62	-68	-81	(405 , 360)	(259.7 , 253.1)	(238.1 , 276.8)
	-69	-58	-72	-72		(236.5 , 291.2)	
	-69	-59	-75	-68		(223.1 , 290.5)	
	-66	-58	-68	-68		(234.2 , 268.4)	
	-68	-58	-70	-71		(236.9 , 281.3)	
KONUM 2	-75	-58	-75	-72	(225 , 360)	(217.9 , 309.0)	(218.0 , 295.2)
	-69	-58	-72	-67		(219.4 , 285.4)	
	-68	-58	-75	-67		(223.2 , 293.3)	
	-69	-59	-77	-68		(223.0 , 295.8)	
	-71	-60	-78	-66		(206.6 , 292.6)	
KONUM 3	-73	-57	-72	-63	(140 , 200)	(191.4 , 288.5)	(196.1 , 280.8)
	-73	-63	-68	-71		(220.1 , 245.2)	
	-74	-61	-72	-71		(216.8 , 277.0)	
	-75	-59	-80	-66		(194.1 , 306.6)	
	-76	-59	-78	-59		(158.1 , 286.5)	
KONUM 4	-58	-76	-75	-73	(310 , 70)	(321.1 , 213.3)	(321.4 , 214.8)
	-59	-76	-81	-76		(333.1 , 226.3)	
	-56	-70	-68	-76		(326.4 , 209.3)	
	-56	-69	-68	-73		(316.2 , 212.6)	
	-57	-69	-68	-73		(309.9 , 212.5)	

Tablo 3 'de örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti yapılacak cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, Weight Average algoritmasının her sinyal için bulunan sonucu ve bu her konum için alınan sinyallerden elde edilen sonucun ortalama lokasyonu gösterilmiştir.

Tablo 4. Alınan sinyaller ve NBINA algoritması konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)		
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	NBINA Metodu	Ortalama Location
KONUM 1	-69	-62	-68	-81	(405 , 360)	(326.6 , 274.2)	(265.7 , 313.8)
	-69	-58	-72	-72		(271.6 , 330.8)	
	-69	-59	-75	-68		(216.6 , 330.8)	
	-66	-58	-68	-68		(243.8 , 302.5)	
	-68	-58	-70	-71		(271.6 , 330.8)	
KONUM 2	-75	-58	-75	-72	(225 , 360)	(188.8 , 359.2)	(205.3 , 353.5)
	-69	-58	-72	-67		(216.3 , 330.8)	
	-68	-58	-75	-67		(216.3 , 359.2)	
	-69	-59	-77	-68		(216.3 , 359.2)	
	-71	-60	-78	-66		(188.8 , 359.2)	
KONUM 3	-73	-57	-72	-63	(140 , 200)	(133.8 , 330.8)	(161.3 , 325.2)
	-73	-63	-68	-71		(216.3 , 274.2)	
	-74	-61	-72	-71		(188.8 , 302.5)	
	-75	-59	-80	-66		(161.3 , 359.2)	
	-76	-59	-78	-59		(106.3 , 359.2)	
KONUM 4	-58	-76	-75	-73	(310 , 70)	(353.8 , 217.5)	(359.3 , 223.2)
	-59	-76	-81	-76		(353.8 , 274.2)	
	-56	-70	-68	-76		(381.3 , 189.2)	
	-56	-69	-68	-73		(353.8 , 217.5)	
	-57	-69	-68	-73		(353.8 , 217.5)	

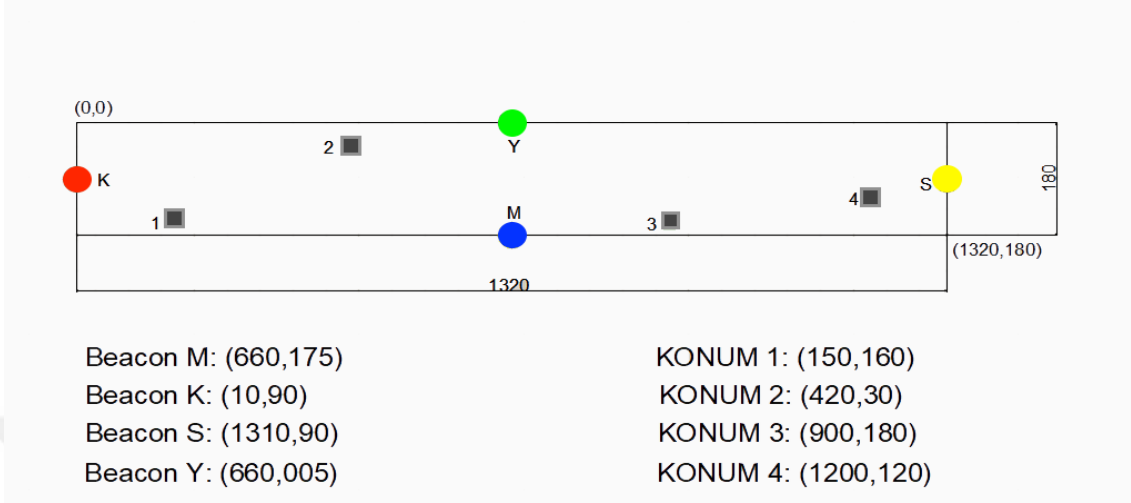
Tablo 4 'de örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti amacıyla cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, tez çalışması kapsamında geliştirilen NBINA algoritmasının her sinyal için bulunan sonucu ve bu her konum için alınan sinyallerden elde edilen sonucun ortalama lokasyonu gösterilmiştir. NBINA 16x15 gösterilmesi yatayda 16 gride düşeyde 15 gride bölündüğü anlamına gelmektedir. Testlerde gridler genellikle 25-30 santimlik dikdörtgen boyutlarda tercih edilmiştir.

Tablo 5. Algoritmaların hesaplanan ortalama koordinatları ve hata miktarları.

ALGORİTMALAR		KONUMLAR (X cm , Y cm)			
		KONUM 1	KONUM 2	KONUM 3	KONUM 4
Ortalama Koordinat	Trilateration	(450.0 , 430.0)	(443.8 , 430.0)	(431.4 , 429.9)	(450.0 , 430.0)
	Tulip	(232.9 , 213.0)	(228.5 , 211.5)	(225.5 , 214.5)	(234.4 , 217.5)
	Cramer Rao	(450.0 , 426.1)	(450.0 , 430.0)	(450.0 , 430.0)	(360.0 , 338.1)
	WAT	(238.1 , 276.8)	(218.0 , 295.2)	(196.1 , 280.8)	(321.4 , 214.8)
	NBINA	(265.7 , 313.8)	(205.3 , 353.5)	(161.3 , 325.2)	(359.3 , 223.2)
HATA MİKTARI	Trilateration	83 , 22	229,72	371,17	386,26
	Tulip	226 , 33	148,54	86,72	165,75
	Cramer Rao	79 , 96	235,64	386,01	272,72
	WAT	186 , 49	65,18	102,37	145,25
	NBINA	146 , 76	20,74	127,00	160,94

Tablo 5 'de, deneyde verilen 4 konumdan her biri için hesaplanan 5 noktanın, algoritmalara göre ortalamaları gösterilmiştir. Bu ortalama değerler ile gerçek konum arasında öklid mesafesi hesaplanarak hata miktarları tespit edilmiştir. Hata miktarları cm cinsinden gösterilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde geliştirilen NBINA algoritmasının çalışması Trilateration, Tulip , Cramer rao ve Weight Average algoritmalarına göre genel olarak daha az oranda hatalı değerler gözlenmektedir.

4.2. Koridorda Algoritma analizi



Şekil 12. Eni 1.80 mt ve boyu 13.2 mt olan odaya yerleştirilmiş 4 adet beacon ve bu koridordan alınmış 4 farklı konum gösterilmiştir. Koordinatlar (x cm , y cm) şeklindedir.

Şekilde 12 'de beaconlar (sarı kırmızı mavi ve yeşil olarak gösterilen) buldukları duvarların orta noktasına konumlandırılmıştır. Oda yatayda 13.2 metre ve düşeyde 1.8 metre boyutlarına sahiptir. Kullanılan beaconlar 20 metre mesafeye kadar sinyal gönderebilmektedir.

Seçilen noktaların konumları hesaplanmış ve oda içerisinde işaretlenmiştir. Koordinatı bulunulması istenen kullanıcı kapıdan içeri girmiş ve sırasıyla 1 – 2 – 3 – 4 noktalarını güzergâh olarak kabul etmiş ve işaretli noktalar üzerinde 2 saniye kadar beklenmiş ve yeni noktaya geçilmiştir. Bu noktalarda cihaz tarafından alınan sinyallerin RSSI değerleri, konum bulma da kullanılmıştır. Son noktaya gelince de durdurulmuştur.

Tablo 6. Alınan sinyaller ve Trilateration, Tulip ve Cramer Rao konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)			
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	Trilateration Metodu	Tulip Metodu	Cramer Rao Metodu
KONUM 1	-53	-78	-81	-69	(150 , 160)	(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-59	-76	-80	-69		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-57	-79	-80	-69		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-57	-80	-82	-69		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-58	-81	-83	-72		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
KONUM 2	-65	-80	-79	-72	(420 , 30)	(1320 , 180)	(660.0 , 180.0)	(0.0 , 0.0)
	-64	-78	-81	-72		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-60	-81	-81	-70		(1320 , 180)	(660.0 , 180.0)	(0.0 , 0.0)
	-67	-76	-79	-69		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-67	-75	-79	-75		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
KONUM 3	-70	-71	-64	-64	(900 , 180)	(1320 , 180)	(660.0 , 180.0)	(0.0 , 0.0)
	-71	-68	-65	-65		(0.0 , 179.0)	(979.4 , 89.9)	(0.0 , 0.0)
	-67	-70	-63	-67		(1320 , 180)	(660.0 , 180.0)	(0.0 , 0.0)
	-69	-73	-63	-67		(1320 , 180)	(660.0 , 180.0)	(0.0 , 0.0)
	-68	-69	-65	-70		(1320 , 180)	(340.6 , 89.9)	(88.4 , 23.7)
KONUM 4	-76	-71	-77	-54	(1200 , 120)	(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-79	-65	-79	-55		(0.0 , 180)	(979.4 , 90.1)	(0.0 , 0.0)
	-80	-66	-76	-68		(0.0 , 180)	(979.4 , 90.0)	(0.0 , 0.0)
	-75	-70	-80	-55		(1320 , 180)	(660.0 , 0.0)	(98.4 , 0.0)
	-77	-64	-77	-54		(0.0 , 180)	(979.4 , 90.0)	(0.0 , 0.0)

Tablo 6 'da örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti amacıyla cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, Tulip, Cramer Rao ve Trilateration algoritmalarının her sinyal için bulunan sonucu gösterilmiştir. Alınan sinyal değerlerinin bazı konumlar için sağlıklı sonuç veremediği görüldüğü için hesaplanan anormal değerlere maksimum ve minimum değerlere eşitlenmiştir. İlgili alan için x değeri için $[0, 1320]$ ve y değeri için $[0, 180]$ kapalı aralığı sınırlandırılması yapılmıştır.

Algoritmalar uzun koridor seçildiğinde signal path lost olayının fazla olması ve ilgili nokta için alınan sinyalin, sensör sinyalinde, üçleme dışında kalabilme ihtimali

olduğundan ötürü 3 beaconla çalışan algoritmalar için pek sağlıklı olmayan sonuçlar oluşturabilmektedir.

Tablo 7. Alınan sinyaller ve Weight Average algoritması konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)		
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	WAT Metodu	Ortalama Location
KONUM 1	-53	-78	-81	-69	(150 , 160)	(326.8 , 91.5)	(391.9 , 91.5)
	-59	-76	-80	-69		(454.9 , 93.1)	
	-57	-79	-80	-69		(407.3 , 90.6)	
	-57	-80	-82	-69		(401.9 , 91.1)	
	-58	-81	-83	-72		(368.5 , 91.2)	
KONUM 2	-65	-80	-79	-72	(420 , 30)	(521.7 , 89.0)	(522.6 , 92.1)
	-64	-78	-81	-72		(501.5 , 92.8)	
	-60	-81	-81	-70		(445.8 , 90.0)	
	-67	-76	-79	-69		(621.1 , 93.3)	
	-67	-75	-79	-75		(523.2 , 95.2)	
KONUM 3	-70	-71	-64	-64	(900 , 180)	(743.1 , 77.8)	(692.8 , 78.7)
	-71	-68	-65	-65		(737.7 , 84.3)	
	-67	-70	-63	-67		(660.0 , 77.1)	
	-69	-73	-63	-67		(686.9 , 72.1)	
	-68	-69	-65	-70		(634.6 , 82.1)	
KONUM 4	-76	-71	-77	-54	(1200 , 120)	(1023.2 , 95.2)	(961.3 , 102.4)
	-79	-65	-79	-55		(997.3 , 105.0)	
	-80	-66	-76	-68		(797.4 , 109.0)	
	-75	-70	-80	-55		(998.8 , 98.6)	
	-77	-64	-77	-54		(989.7 , 104.2)	

Tablo 7 'de örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti yapılacak cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, Weight Average algoritmasının her sinyal için bulunan sonucu ve bu her konum için alınan sinyallerden elde edilen sonucun ortalama lokasyonu gösterilmiştir.

Tablo 8. Alınan sinyaller ve NBINA algoritması konum hesaplamaları.

KONUMLAR	Okunan RSSI değerleri				(X cm , Y cm)		
	K Beacon	M Beacon	Y Beacon	S Beacon	Orijinal Location	NBINA Metodu	Ortalama Location
KONUM 1	-53	-78	-81	-69	(150 , 160)	(284.4 , 104.2)	(336.4, 104.2)
	-59	-76	-80	-69		(400.0 , 104.2)	
	-57	-79	-80	-69		(342.2 , 104.2)	
	-57	-80	-82	-69		(342.2 , 104.2)	
	-58	-81	-83	-72		(313.3 , 104.2)	
KONUM 2	-65	-80	-79	-72	(420 , 30)	(457.8 , 75.8)	(475.1 , 92.8)
	-64	-78	-81	-72		(457.8 , 104.2)	
	-60	-81	-81	-70		(400.0 , 75.8)	
	-67	-76	-79	-69		(602.2 , 104.2)	
	-67	-75	-79	-75		(457.8 , 104.2)	
KONUM 3	-70	-71	-64	-64	(900 , 180)	(833.3 , 75.8)	(729.3 , 70.2)
	-71	-68	-65	-65		(833.3 , 75.8)	
	-67	-70	-63	-67		(660.0 , 75.8)	
	-69	-73	-63	-67		(717.8 , 47.5)	
	-68	-69	-65	-70		(602.2 , 75.8)	
KONUM 4	-76	-71	-77	-54	(1200 , 120)	(1151.1 , 104.2)	(1110.7 , 126.8)
	-79	-65	-79	-55		(1151.1 , 132.5)	
	-80	-66	-76	-68		(977.8 , 132.5)	
	-75	-70	-80	-55		(1122.2 , 132.5)	
	-77	-64	-77	-54		(1151.1 , 132.5)	

Tablo 8 'de örnek senaryo şeklinde gösterilen 4 örnek konum için lokasyon tespiti yapılacak cihaz tarafından okunan RSSI değerleri (K beacon, M beacon, Y beacon, S beacon), bulunması gereken konumun o oda içerisindeki koordinatı, geliştirilen NBINA algoritmasının her sinyal için bulunan sonucu ve bu her konum için alınan sinyallerden elde edilen sonucun ortalama lokasyonu gösterilmiştir.

Tablo 9. Algoritmaların hesaplanan ortalama koordinatları ve hata miktarları

ALGORİTMALAR		KONUMLAR (X cm , Y cm)			
		KONUM 1	KONUM 2	KONUM 3	KONUM 4
Ortalama Koordinat	Trilateration	(1320 , 180)	(1320 , 180)	(1056 , 179.8)	(528.0 , 180)
	Tulip	(660.0 , 0.0)	(660.0 , 72.0)	(660.0 , 143.9)	(851.6 , 54.0)
	Cramer Rao	(98.4 , 0.0)	(59.0 , 0.0)	(17.7 , 4.7)	(39.4 , 0.0)
	WAT	(391.9 , 91.5)	(522.6 , 92.1)	(692.8 , 78.7)	(961.3 , 102.4)
	NBINA	(336.4 , 104.2)	(522.6 , 92.1)	(729.3 , 70.2)	(1110.7 , 126.8)
Hata Miktarları	Trilateration	1.170,17	912,41	156,00	674,67
	Tulip	534,51	243,65	242,70	354,60
	Cramer Rao	168,11	168,11	899,55	1.166,79
	WAT	251,41	119,93	230,64	239,35
	NBINA	194,57	83,55	202,96	89,56

Tablo 9 'da, senaryoda kullanılan 4 konumdan her biri için hesaplanan 5 noktanın, algoritmalarla göre ortalaması gösterilmiştir. Bu ortalama değerler ile gerçek konum arasında öklid mesafesi hesaplanarak hata miktarı tespit edilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde geliştirilen NBINA algoritmasının çalışması diğer algoritmalarla göre genel olarak daha az oranda hata yapıldığı görülmektedir. Bu tabloda Trilateration, Tulip, Cramer rao algoritmaları genelde sınırlı alanın maksimumu ve minimumuna yuvarlanan değerlerden oluşmaktadır. Bunun sebebi ise bu algoritmalar koridorda sağlıklı bir şekilde çalışmamış olması ve koridor dışı koordinatlar çıktısı veriyor olmasıdır. Koridordaki yansımanın fazla olmasından dolayı 3 beacon ile çalışan algoritmalarda gelen sinyalin yansıma sinyalini yoksa gerçek sinyal mi olduğunu kestirmek zordur. Aynı zamanda beacon sinyalleri sinüzoidal şekilde yayınlandığı için aslında 3 beaconun kapladığı alan dışındaki sinyal gönderen beacon bir anda daha yakın sinyal gönderebilmektedir. Bu da o alan dışında bir noktayı gösterebilmektedir.

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada RSSI temelli metrik konum bulma sürecinde yeni bir yaklaşım geliştirme ve gerçekleştirmeler sunulmuştur. Sunulan algoritmada hassaslığın kullanıcı tarafından belirlenebilmesi, radyo haritası, kalibrasyon maliyetleri ve harici bir noktadan hesaplama ve kullanılan beacon sayısı yönünden düşük maliyetli, ortamdaki herhangi bir manyetik alan değişiminden ötürü daha düşük hata oranını koruyabilmesinden ötürü diğer test edilen algoritmalarından daha performanslı olduğu görülmüştür.

BLE vericiler ile kapalı alan konumlandırma hassasiyetinin NBINA algoritması kullanılarak artırılması yöntemi önerilmiştir. Bu algoritma üç ana bölümden oluşmaktadır: İstenilen hassaslığa uygun ızgara yapısı oluşturma , ilgili alanda algılanan beaconlardan maksimum ve minimum tespiti yapılan 4 beacon seçme ve denklemlere uygun hücre tespiti.

Önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar, mevcut test ortamına uygulanan ve birçok makale konusu olan Trilateration, Tulip, Cramer rao ve Weight Average yöntemi adındaki konum tespit tekniklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ortalama hata oranı verilerine göre geliştirilen yöntemin, adı geçen konum tespit tekniklerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Algoritmanın daha iyi sonuçlar verebilmesi için ortamdaki beaconlarla aradaki mesafenin hesaplanabilmesi için ortam değişkenlerinin daha hassas ölçümlerle tespit edilmesi, kullanılacak filtreleme yöntemleri ve ortamdaki manyetik alana göre hücrelendirme yapılması gerekmektedir. Algoritmanın daha performanslı çalışması için ve metodu geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir.

Yapılan analiz sonuçları Xcode platformunda Swift 3.2 dilinde geliştirilen mobil uygulama sayesinde çıkartılmıştır. Ayrıca html, css ve java script ile alınan sinyallere göre farklı algoritmalarda koordinat hesaplayan bir internet sitesi geliştirilmiştir. Uygulamanın örnek arayüzleri ve web site görseli ek bölümünde verilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Fink, A., Beikirch, H., 2011. Analysis of RSS-based location estimation techniques in fading environments. 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Guimaraes, Portugal, 2011.
2. Anagnostopoulos, G., Deriaz, M., 2014. Accuracy enhancements in indoor localization with the weighted average technique. In:SENSORCOMM - 8th International Conference on Sensor Technologies and Applications.
3. Barsocchi, P., Lenzi, S., Chessa, S., Giunta, G., 2009. Virtual calibration for RSSI-based indoor localization with IEEE 802.15.4. 2009 IEEE International Conference on Communications, Dresden pp. 1-5.
4. Gunay, F., Cavdar, T., 2015. Kablosuz algılayıcı ağlarla müze ziyaretçisi lokalizasyon modeli. 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemler Kongresi, October 2015.
5. Larsson, E., G., 2004. Cramer-Rao bound analysis of distributed positioning in sensor networks. in **IEEE Signal Processing Letters**, **11** (3): 334-337.
6. Chuan-Chin, P., Chuan-Hsian, P., Lee, H., J., 2011. Indoor location tracking using received signal strength indicator. **Emerging Communications for Wireless Sensor Networks**. 229-256.
7. Shi, H., Li, X., Shang, Y., 2005. Cramer-Rao bound analysis of quantized RSSI based localization in wireless sensor networks. 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS'05), Japonya.
8. Cheung, K., C., Intille, S., S., Larson, K., 2006. An inexpensive bluetooth-based indoor positioning hack. Eighth International Conference of Ubiquitous Computing (UbiComp2006), Massachusetts Institute of Technology.
9. Abhishek, S., Rajesh, M., 2013. Adaptive RLS-received signal strength algorithm in wireless network area for multi-mobile nodes location estimation system. **International Journal of Computer Applications**, **64** (15) : 12-15.
10. Zou, Han, Wang, H., Xie, L., Jia, Qing-Shan, 2013. An RFID indoor positioning system by using weighted path loss and extreme learning machine. 2013 IEEE 1st International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications (CPSNA), 66-71.
11. Masashi, S., Tomonori, K., Yoshikazu, O., Masayuki, M., 2006. Indoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network based on zigbee standart. **International Journal on Wireless & Optical Communications**, 1-6.

12. Ni, L., M., Liu, Yunhao, L., Y., C, Patil, A., P., 2003. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, (PerCom 2003), 407-415.
13. Tatar, Y., Yıldırım, G., 2014. Kablosuz sensör ağlarında küçültülmüş radyo haritası kullanan imza tabanlı dinamik konum bulma tekniği. **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** **29** (2): 217-226.
14. Chawathe, S., S., 2008. Beacon placement for indoor localization using bluetooth. 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Beijing, pp. 980-985.
15. Tatar, Y., Yıldırım, G., 2013. An alternative indoor localization technique based on fingerprint in wireless sensor networks. **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, **2** (2): 1288-1294.
16. Sagar, V., Ramani, Yagnik, N., Tank., 2014. Indoor navigation on google maps and indoor localization using RSS fingerprinting. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, **11**(4):171-173.
17. Martin, E., Vinyals, O., Friedland, G., Bajcsy, R., 2010. Precise indoor localization using smart phones. MM'10 Proceedings of the 18th ACM International conference on Multimedia, Firenze, Italy, 787-790.
18. Pereira, C., O., Ludimar, G., Carvalho, N., B., 2017. A Smart-Phone Indoor/Outdoor Localization system.
19. Yang, J., Wang, Z., Zhang, X., 2015. An ibeacon-based indoor positioning systems for hospitals. **International Journal of Smart Home**. **9**(7): 161-168.
20. Dages W, 2014. Getting started with ibeacon: A swift tutorial. <https://www.youtube.com/watch?v=3jJiqzbzutU> (Date accessed: December 2017)
21. Raghavan, N., Ananthapadmanaban, H., Sivamurugan, M., S., Ravindran, B., 2010. Accurate mobile robot localization in indoor environments using bluetooth. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, AK, USA, 4391-4396.
22. Farid, Z, Nordin, R, Ismail, M., 2013. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. **Journal of Computer Networks and Communications**, **2013**.

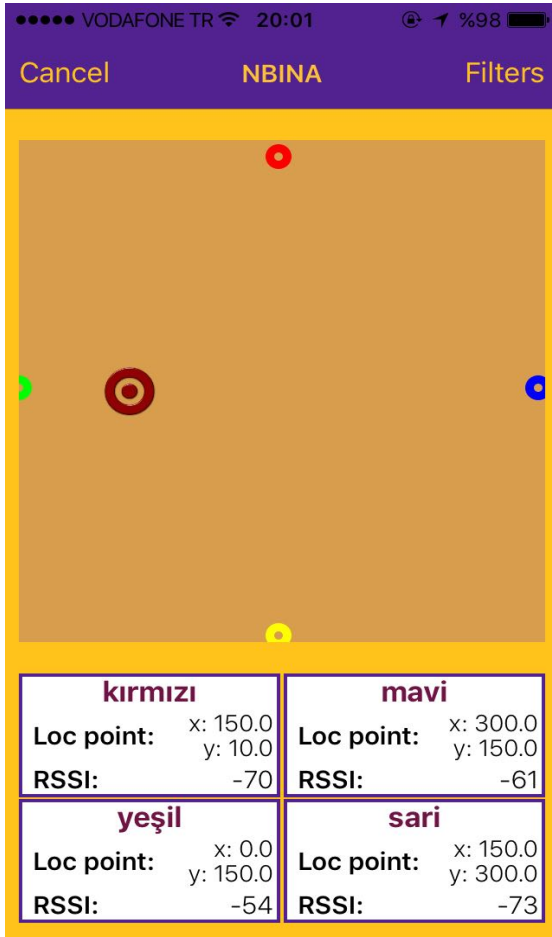
23. Benini, A., Mancini, A., Frontoni, E., Zingaretti, P., Longhi, S., 2011. Adaptive extended kalman filter for indoor/outdoor localization using a 802.15.4a wireless network. Conference: Proceedings of European Conference on Mobile Robots - ECMR 2011, 315-320.
24. Habibov, A. 2014. Gezgin robotlarla eş zamanlı konum belirleme ve haritalama, **YTU Bitirme tezi**.
25. Pereira, F., Moreira, A., Ricardo, M., 2011. Evaluating location fingerprinting methods for underground GSM networks deployed over leaky feeder. 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Guimaraes,. 1-6.
26. Saxena, M., Bijendra, P., Jain, N., 2008. Experimental analysis of RSSI-based location estimation in wireless sensor networks. 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08) , Bangalore, India.
27. Tunca, C., Toplan, E., Işık, S., Ersoy, C., 2014. Yapay sinir ağları ile wifi tabanlı iç mekan konumlandırma. Conference: Akademik Bilişim 2014, Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği.
28. Mehmood, H., Tripathi, N., Tipdecho, T., 2010. Indoor positioning system using artificial neural network. **Journal of Computer Science**, 6 (10): 1219-1225.
29. Yüksel, T., 2015. Beacon ile iç ortam konum tespitinde ve mesafe ölçümünde temel ilkeler. <https://tr.linkedin.com/pulse/beacon-ile-iç-ortam-konum-tespitinde-ve-mesafe-ölçümünde-taner-yüksel>, (Date accessed: December 2017)
30. Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J., 2007. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)** 37 (6): 1067-1080.
31. Hightower, J., Borriello, G., 2001. Location systems for ubiquitous computing. **IEEE Computer**, vol. 34 (8): 57-66.
32. Inoue, Y., Ikeda, T., Yamamoto, K., Yamashita, T., Sashima, A., Kurumatani, K., 2008. Usability study of indoor mobile navigation system in commercial facilities. **In Proceedings of the 2nd International Workshop on Ubiquitous Systems Evaluation (USE '08)**, Korea, 1-6.

33. Tran, D., A., Nguyen, T., 2008. Localization in wireless sensor networks based on support vector machines. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, **19** (7): 981-994.
34. Faragher, R., Harle, R., 2014. An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications. **Proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014)**, Tampa, Florida, 201-210.
35. Hoang, M., K., Schmalenstroeer, J., Druke, C., Tran-Vu, D., H., and Haeb-Umbach, R., 2013. A hidden Markov model for indoor user tracking based on wifi fingerprinting and step detection. 21st European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2013), Marrakech, 1-5.
36. Sichitiu, M., L., Ramadurai, V., 2004. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon. *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, 174-183.
37. Kucuk, K., Kavak, A., Yigit, H., 2008. Smart antenna based location estimation for wireless sensor networks. *Signal Processing, Communication and Applications Conference*, 1- 4.
38. Agusti, Corbacho, Salas, 2014. Indoor positioning system based on bluetooth low energy. **A Degree's Thesis** , Barcelona, June 2014.
39. Lobo, J., Lucas, P., Dias, J., Traca, A., 1995. Inertial navigation system for mobile land vehicles. **1995 Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics**, **2** : 843-848.
40. Toulson S., 2016. Ibeacon parameters: UUID, major and minor. **<https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201620741-iBeacon-Parameters-UUID-Major-and-Minor>** (date accessed: december 2017).
41. Sekmen, K., Özyılmaz, R., İnce, G., 2016. An efficient beacon hardware for indoor location services. 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, 217-220.
42. Farrah, Cottrell, L., 2012. TULIP algorithm alternative trilateration method. **Confluence. SLAC**. Stanford University.
43. Zanca, G., Zorzi, F., Zanella, A., Zorzi, M., 2008. Experimental comparison of rssi-based localization algorithms for indoor wireless sensor networks. **Proceedings of the Workshop on Real-world Wireless Sensor Networks, ser. REALWSN '08**. New York, NY, USA, 1–5.

44. Ceylan, O., Taraktas, K., F., Yagci. H., B., 2010. Enhancing rssi technologies in wireless sensor networks by using different frequencies. 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, Fukuoka, 369-372.
45. Hansen, R., Wind, R., Jensen, C., S., Thomsen, B., 2010. Algorithmic strategies for adapting to environmental changes in 802.11 location fingerprinting. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich, 1-10.
46. Farid, Z., Nordin, R., Ismail, M., 2013. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. **Journal of Computer Networks and Communications. Journal of Computer Networks and Communications, 2013.**
47. Bose, A., Foh, C., H., 2007. A practical path loss model for indoor wifi positioning enhancement. 2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, Singapore, 1-5.
48. Fujihara, A., Yanagizawa, T., 2015. Proposing an extended ibeacon system for indoor route guidance. 2015 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, Taipei, 31-37.
49. Kara, A., 2016. Bluetooth tabanlı etkileşim teknolojisi. <http://www.endustri40.com/beaconbluetooth-tabanlı-etkileşim-teknolojisi/> (data accessed: December 2017).
50. Özdemir, B., N., Ceylan, A., Alçay, S., Yiğit, C., Ö., 2014. Kapalı mekanlarda uygulanan konum belirleme yöntemlerinin karşılaştırılması. 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Hitit Üniversitesi, Çorum.
51. Günay, F.,B., Çavdar, T., 2015. Algılayıcı ağlarla insansız gezgin filo uygulaması. IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2015).

EKLER

Ek 1. Uygulama arayüzleri



Ek 2. Web sitesi arayüzleri

← → ↻ www.planetz.co/nazif/ ☆ 🔴

BLUETOOTH INDOOR NAVIGATION SYSTEMS

Measurement Calculation

$$d_i = 10^{\frac{r_0 - r_i}{n}} \text{ pow}$$

measure

Ref. Değeri (r ₀) = -59.5	
n Değeri = 2.6853	

ALAN ÖZELLİKLERİ

Alan Bilgisi	En bilgisi (cm)	Boy bilgisi (cm)	En grid sayısı	Boy grid sayısı	Aranılan Konum (x,y)
Beacon Yerleşimi	Beacon 1 (x,y)	Beacon 2 (x,y)	Beacon 3 (x,y)	Beacon 4 (x,y)	

HESAPLA

Beacon Sinyalleri	B1 RSSI (-41)	B2 RSSI (-41)	B3 RSSI (-41)	B4 RSSI (-41)	Hesapla
Algoritmalar	Trilateration	Tulip	Cramer Rao	WAT	NBINA
Hesaplanan Konum	KonumTrilateration	KonumTulip	KonumCramerRao	KonumWAT	KonumNbina
Hata Oranı	ErrorTrilateration	ErrorTulip	ErrorCramerRao	ErrorWAT	ErrorNbina

← → ↻ www.planetz.co/nazif/ ☆ 🔴

Dikdörtgenel Alanda Algoritma analizi

Alan En(cm)	Alan Boy(cm)	En grid	Boy grid
450	430	16	15
Beacon 1	Beacon 2	Beacon 3	Beacon 4
450,215	225,430	225,5	10,215

[Yükle](#)

Cihaz tarafından alınan ilgili konumdaki 5 sinyal değeri					Algoritmalar tarafından hesaplanan konumlar					Hesaplanan konum ile aranan konum arası öklid uzunluğu				
Beacon 1 (RSSI)	Beacon 2 (RSSI)	Beacon 3 (RSSI)	Beacon 4 (RSSI)	Aranılan Koordinat	Trilateration	Tulip	Cramer Rao	WAT	NBINA	Err. Tri.	Err. Tul.	Err. Cra.	Err. Wat.	Err. Nbi.
-59	-62	-68	-81	405,360	#, #	237,16 , 217,5	458,15 , 420,18	259,67 , 253,06	328,25 , 274,17	#	220,17	80,29	180,44	116,48
-69	-58	-72	-72	405,360	#, #	230 , 210,01	4945,08 , 4515,3	238,45 , 291,16	271,25 , 330,83	#	230,48	6154,58	182,07	136,89
-69	-59	-75	-68	405,360	#, #	230 , 210,01	4944,98 , 4515,19	223,07 , 290,48	216,25 , 330,83	#	230,48	6154,43	194,77	190,99
-66	-58	-68	-68	405,360	#, #	230 , 210,01	4945,03 , 4515,15	234,24 , 268,43	243,75 , 302,5	#	230,48	6154,44	193,76	171,20
-68	-58	-70	-71	405,360	#, #	237,16 , 217,51	458,16 , 420,18	238,87 , 281,26	271,25 , 330,83	#	220,17	80,30	185,65	136,89
					#, #	232,86 , 213,01	3150,28 , 2877,20	238,06 , 276,87	265,75 , 313,83	#	226,38	3724,81	187,34	150,49
-75	-58	-75	-72	225,360	419,97 , 429,97	222,5 , 217,52	461,28 , 450,95	217,97 , 309,01	188,75 , 359,17	207,15	142,50	253,18	61,47	36,26
-69	-58	-72	-67	225,360	#, #	230 , 210,01	4944,96 , 4515,18	219,44 , 286,44	216,25 , 330,83	#	150,07	6288,37	74,77	30,45
-68	-58	-75	-67	225,360	#, #	230 , 210,01	4944,98 , 4515,16	223,15 , 293,31	216,25 , 359,17	#	150,07	6288,37	66,72	8,79
-69	-59	-77	-68	225,360	#, #	230 , 210,01	4944,98 , 4515,19	223,03 , 295,84	216,25 , 359,17	#	150,07	6288,39	64,19	8,79

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mehmet Nazif MASMANACI
 Uyruğu: Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 17 Mayıs 1990, Kilis
 Medeni Durumu: Bekâr
 Tel: +90 546 573 79 27
 email: nazifmasmanaci@icmyazilim.com.tr

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans :	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı	2018
Lisans :	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği	2014
Lise :	Abdulkadir KONUKOĞLU Lisesi, Gaziantep	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017 – Halen	ICM Yazılım	Proje Yöneticisi ve mobil yazılım uzmanı
2016 – 2017	Oceannet Yazılım	Mobil yazılım uzmanı
2015 – 2016	Kayten Yazılım	IOS geliştiricisi
2014 – 2015	Soctag Yazılım	IOS geliştiricisi

YABANCI DİL

İngilizce