

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UWB İLE
VARIŞ ZAMANI FARKINA DAYALI
KONUM KESTİRİMİ

MEHMET KURNAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UWB İLE
VARIŞ ZAMANI FARKINA DAYALI
KONUM KESTİRİMİ

MEHMET KURNAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. HASARİ ÇELEBİ

GEBZE
2019

T.R
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

POSITION ESTIMATION USING
THE TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL
VIA UWB

MEHMET KURNAZ
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. HASARİ ÇELEBİ

GEBZE
2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31 / 07 / 2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan **Mehmet KURNAZ**'ın tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Doç. Dr. Hasari ÇELEBİ



ÜYE

: Doç. Dr. Mehmet Kemal ÖZDEMİR



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Köksal HOCAOĞLU



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Konum kestirim sistemleri, hareketli bir cihazın kablosuz ağ içindeki sabit cihazlara iletmiş olduğu sinyal bilgileri kullanılarak bulunduğu konumun tespit edilmesi amacıyla geliştirilen teknolojileri içermektedir. Konum kestirim sistemlerinde kullanılan sinyal teknolojileri, ölçüm yöntemleri ve kestirim algoritmaları farklılık gösterebilmektedir.

Bu çalışmada sinyal teknolojisi olarak UWB (Ultra Wide Band- Ultra Geniş Band) kullanılmıştır. UWB sinyal teknolojisi için ölçüm yöntemlerinin neredeyse tamamı kullanılabilir olsa da en yaygın olanı ToA (Time of Arrival- Varış Zamanı) ve TDoA (Time Difference of Arrival- Varış Zamanları Farkı) yöntemleridir. Çalışma kapsamında TDoA ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. TDoA yönteminde, birbirleri ile saat senkronize çalışan ve konumları bilinen alıcılar kullanılmaktadır. Kaynaktan yayılan sinyalin her hangi iki alıcıya geliş zamanları farkı doğrusal olmayan hiperbolik bir denklem oluşturmaktadır. İki veya daha fazla hiperbol denkleminin kesişim noktası kaynağın konumunu vermektedir. Multilaterasyon olarak adlandırılan bu yöntemin en önemli problemi doğrusal olmayan iki hiperbol denkleminin kesişim noktalarında çözümüdür. Bu problemin çözümünde kullanılan en yaygın yöntem, Taylor Serileri Açılımını kullanarak denklemlerin doğrusal forma kavuşturulmasıdır. Doğrusal forma kavuşturulan denklemler iterasyon ile kaynağın konumuna yakınsayacaktır. İterasyon için başlangıç değeri gerekmektedir ki mevcut çalışmalarda rastgele seçilmektedir.

Bu çalışmada doğrusal olmayan hiperbol denklemleri yerine doğrusal olan asimptot denklemleri kullanılmıştır. İterasyon adımında başlangıç değeri olarak kullanılan asimptot kesişimleri, rastgele seçilen başlangıç değerine göre iterasyon adım sayısını yarı yarıya azaltmış, sistem performansını arttırmıştır. Doğrusal olmayan hiperbol denklemleri yerine doğrusal asimptot denklemlerinin kullanılabileceği gösterilmiş ve ileriki çalışmalar için yol açılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konum Kestirimi, Varış Zamanı Farkı, Hiperbol Kesişim Yöntemi, Asimptot Kesişimi, İterasyon, Ultra Geniş Band.

SUMMARY

Position estimation systems include technologies developed with an aim to determine the position of a portable device by using the signal information that it transmits to stationary devices within the wireless network. Signal technologies, measurement methods and estimation algorithms used in position estimation systems may differ.

In this study, UWB (Ultra-Wide Band) was used as the signal technology. Although almost all of the measurement methods can be used for UWB signal technology, ToA (Time of Arrival) and TDoA (Time Difference of Arrival) are the most common methods. Within the scope of the study, TDoA measurement method was preferred. In the TDoA method, receivers, which operate as time synchronized with each other and whose positions are known, are used. Time difference of arrival of a signal transmitted from the source to any two receivers create a non-linear hyperbolic equation. The intersection point of two or more hyperbolic equations gives the position of the source. The most important problem of this method called multilateration is the solution of two non-linear hyperbolic equations at the intersection points. The most common method that is used to solve this problem is to enable the linear form of the equations by using the Taylor Series Expansion. The equations whose linear form is enabled will converge to the position of the source through iteration. The initial value is required for iteration and it is randomly selected in the present studies.

In this study, linear asymptote equations were used rather than the non-linear hyperbolic equations. Asymptote intersections, which are used as the initial value in the iteration step, reduced the number of the iteration steps by half according to the randomly selected initial value and increased the system performance. It was shown that the linear asymptote equations can be used rather than the non-linear hyperbolic equations and the way was paved for further studies.

Keywords: Position Estimation, Time Difference of Arrival, Multilateration, Iteration, Ultra Wide Band.

TEŞEKKÜR

BaŐta, y¼ksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiğbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu ęalıŐmanın oluŐmasının yolunu ağan danıŐmanım Doç. Dr. Hasari ÇELEBİ'ye,

ęalıŐma boyunca araştırma ve denemelerde yardımcı olan, değerli iŐ arkadaŐım Enes S¼REN'e

ve her zaman desteğini hissettiğim biricik karım Havva KURNAZ'a iğten teŐekk¼rlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve İçeriği	2
2. KONUM KESTİRİM SİSTEMLERİ	4
2.1. Konum Kestirim Sistemlerinde Kullanılan Sinyal Teknolojileri	4
2.1.1. Kızılötesi Temelli Sistemler	5
2.1.2. RF (Radyo Frekansı) Temelli Sistemler	6
2.1.3. Ultrasound (Ses Ötesi) Temelli Sistemler	9
2.2. Konum Kestirim Parametrelerinin Ölçüm Teknikleri	10
2.2.1. Zaman Bazlı Teknikler	10
2.2.1.1. Varış Zamanı Tekniği	10
2.2.1.2. Varış-Dönüş Zamanı Tekniği	12
2.2.1.3. Varış Zamanları Farkı Tekniği	13
2.2.2. Geliş Açıcı Tekniği	15
2.2.3. Geliş Gücü Tekniği	16
2.3. Konum Belirleme Yöntemleri	18
2.3.1. Var-Yok Yöntemi (Proximity)	18
2.3.2. Parmak İzi Yöntemi (Fingerprinting)	18
2.3.3. Üçgenleştirme Yöntemi (Triangulation)	19
2.3.4. Çember Kesişimi Yöntemi (Trilateration)	19
2.3.5. Hiperbol Kesişimi Yöntemi (Multilateration)	19
2.4. Hiperbolik Konum Kestirim Yöntemleri	20
2.4.1. Matematiksel Model	20

2.4.2. Taylor Serisi Açılımı Yöntemi	21
2.4.3. Chan Yöntemi	22
2.4.4. Foy Yöntemi	23
2.4.5. Fang Yöntemi	24
2.4.6. Friedlander Yöntemi	25
3. TDOA YÖNTEMİ ile KONUM KESTİRİMİ	28
3.1. Sistem Mimarisi	29
3.1.1. DW1000	30
3.1.2. Etiket	31
3.1.3. Çapa	32
3.1.4. Ağ Geçidi	33
3.1.1. Sunucu	33
3.2. Alıcılar Arası Senkronizasyon Problemi	33
3.3. Parametrelerin Hesaplanması	35
3.4. Hesaplanan Parametreler ile Konum Kestirimi	36
4. SAYISAL ve DENEYSEL SONUÇLAR	40
5. SONUÇLAR ve YORUMLAR	43
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

AoA	: Angle of Arrival - Geliş Açısı
CDF	: Cumulative Distribution Function - Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
BLE	: Bluetooth Low Energy - Düşük Enerjili Bluetooth
GHz	: Gigahertz
GNSS	: Global Navigation Satellite System - Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi
GPS	: Global Positioning System - Küresel Konumlama Sistemi
Hz	: Hertz
IR	: Infrared - Kıızıl Ötesi
LOS	: Line of Sight - Doğrudan Görüş Hattı
RF	: Radio Frequency – Radyo Frekansı
RFID	: Radio Frequency Identification - Radyo Frekansı ile Tanımlama
RSS	: Received Signal Strength - Alınan Sinyal Gücü
RSSI	: Received Signal Strength Indication - Alınan Sinyal Güç Ölçümü
RTLS	: Real Time Location Services - Gerçek Zamanlı Konumlandırma Sistemi
RTT	: Round Trip Time – Gidiş Dönüş Süresi
SPI	: Serial Peripheral Interface - Seri Çevre Birim Arayüzü
TDoA	: Time Difference of Arrival - Varış Zamanı Farkı
ToA	: Time of Arrival - Uçuş Süresi
TS	: Taylor Series - Taylor Serileri
UHF	: Ultra High Frequency - Ultra Yüksek Frekans
US	: Ultrasound - Ses Ötesi
UWB	: Ultra Wide Band - Aşırı Geniş Bant
WiFi	: Kablosuz Bağlantı Alanı / Wireless Fidelity
WLAN	: Kablosuz Yerel Alan Ağı / Wireless Local Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Konum Kestiriminde Kullanılan Sinyal Teknolojileri Sınıflandırması.	5
2.2: Ultra Geniş Band, Yayılmış Spektrum ve Dar Band.	9
2.3: Variş Zamanı Tekniği Geometrisi.	11
2.4: Variş-Dönüş Zamanı Sinyal Yolculuğu.	13
2.5: Variş Zamanları Farkı Geometrisi.	14
2.6: Geliş Açısı Tekniği Geometrisi.	15
3.1: Çapa 1-2.	28
3.2: Çapa 1-3.	29
3.3: Sistem Mimarisi.	30
3.4: Kullanıcı Arayüzü.	33
3.5: Üç Çapa ile Oluşabilecek 2 Hiperbol.	37
3.6: Etiket Konumunun Asimptot Kesişimi ile Yakınlığı.	38
3.7: Test Ortamı.	40
3.8: TDoA Yöntemi için Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.	41
3.9: RTT Yöntemi için Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.	41

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Kızılötesi Temelli Çalışmalar.	5
2.2: WiFi Temelli Çalışmalar.	6
2.3: RFID Temelli Çalışmalar.	7
2.4: Bluetooth Temelli Çalışmalar.	8
2.5: ZigBee Temelli Çalışmalar.	8
2.6: Ultrasonik Temelli Çalışmalar.	10
3.1: DW1000 Kanal Özellikleri.	31
3.2: Etiket Konumlandırma Mesajı Paket Formatı.	32
3.3: Çapa Konumlandırma Mesajı Paket Formatı.	32
3.4: Senkronizasyon Paket Yapısı.	34
3.5: Sunucu TDoA Ölçüm Tablosu.	35
4.1: İterasyon Adımları.	42
4.2: Freqans ve Band Genişliği, Erişim Mesafesi İlişkisi.	42

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojileri her geçen gün gelişmektedir ve daha hızlı, daha güvenilir iletişim altyapısı sağlamaktadırlar. Kablosuz haberleşme sistemlerinde yaşanan gelişmeler, bilgi iletiminin yanı sıra farklı problemlere de çözüm sağlamaktadırlar. Kablosuz haberleşme sistemlerinin en önemli uygulamalarından biri de konum kestirimidir.

Hareketli bir varlığın konumunun kestirimi günümüz teknolojileri ve ihtiyaçları için önemli bir yer teşkil etmektedir. Konum kestirim sistemleri, hareketli bir cihazın kablosuz ağ içindeki sabit cihazlara iletmış olduğu bilgiler kullanılarak bulunduğu konumun tespit edilmesi amacıyla geliştirilen teknolojileri içermektedir.

Küresel Konumlama Sistemi (GPS), RF (Radyo Dalgaları) sistemler, Bluetooth, WiFi, UWB (Ultra Wide Band), Ultrasound gibi değişik birçok kablosuz haberleşme altyapısı hem açık alanlar hem de iç mekânlar için konum kestiriminde sıkça kullanılmaktadır. Hassasiyet, tepki süresi, kurulum ve bakım maliyetleri, güç tüketimi, kapsama mesafesi gibi etkenlerden dolayı her bir teknolojinin avantajları ve dezavantajları vardır ve bu etkenler kullanılacak teknolojiyi belirlemektedirler [1].

GPS, uydular ile doğrudan görüş hattına (LoS) sahip olunan açık mekanlarda yüksek hassasiyette konum kestirimi yapabilmektedirler fakat uydu görüşünün olmadığı durumlarda aynı başarıyı sağlayamamaktadır. GPS uydularından alınan sinyaller engellerden geçerken zayıfladıkları için yüksek binalarla kaplı şehir merkezlerinde, duvarlar, kapılar veya ağaçlara yakın yerlerde, yeraltı ve iç mekânlarda başarılı olamamaktadır.

Küresel Konumlandırma Sisteminin diğer bir dezavantajı ise konumunu kestirmek istediğimiz nesnenin GPS uydularından yayımlanan sinyalleri yakalayıp işleyebilecek özel alıcılara sahip olmayı gerektirmesidir ve bu her zaman mümkün değildir. Özellikle askeri alanda düşmana ait uçak, silah ve telsiz gibi ses veya radyo dalgası yayan nesnelerin konum kestiriminde GPS kullanımı olanaksızdır. Yine bir başka problem alanı kapalı alanlarda konum kestirimidir. GPS sinyallerinin erişemediği kapalı alanlarda konum kestirimi için özel teknolojilerin ve yöntemlerin kullanımı gerekmektedir.

Kapalı alan konum kestirim sistemleri son yıllarda popüler bir konu haline gelmiştir ve gerek akademik camiada gerekse endüstriyel alanda çok fazla araştırma

ve uygulama alanı yaratmıştır. Fabrikalarda, depolarda, hastanelerde, okullarda, madenlerde ve benzeri birçok kapalı alanda ekipman, personel ve nesnelerin takibi için farklı çözümler geliştirilmiş ve geliştirilmektedir [2]. Kapalı ortam konum kestiriminde ortam şartları ve isterler kullanılacak teknolojiyi belirlemektedir [3].

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Konum kestirim problemini, dış mekan konum kestirimi ve kapalı alan konum kestirimi olarak sınıflandırabiliriz. Dış mekan konum kestirimi günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve çoğumuzun sahip olduğu akıllı telefonlar, özel harita uygulamaları ile bu hizmeti vermektedir. GPS ile dış mekan konum kestiriminin de hassas ve hızlı çözümler sağlayabilmemize rağmen kapalı alan konum kestirimi problemleri için yeni çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Son 20 yılda, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte kapalı alan konum kestirimi alanında çok önemli gelişmeler yaşanmış, RF, UWB, WiFi, Bluetooth, Ultrasound gibi farklı sinyal teknolojilerini kullanımı yaygınlaşmıştır [4].

Bu çalışmada gerek dış mekan gerekse iç mekan konum kestirim çözümlerinde yaygın bir şekilde kullanılan Varış Zamanları Farkı yönteminin araştırılması ve kolay bir alt yapı ile uygulanması amaçlanmıştır. Problemin incelenmesi aşamasında, çalışma ticari bir nitelik kazanmıştır. Miltera Elektronik ve Yazılım Teknolojileri firması olarak hali hazırdaki bir müşteri için iç mekan konum kestirimi projesi başlatılmıştır. Proje gereksinimlerinden en önemli iki madde olan; 30 cm hassasiyet ve uzun batarya ömrü, projenin TDoA yöntemi ile yapılmasını zorunlu kılmıştır. Gerçeklenecek ve geliştirilecek algoritmaların testi için yapılması düşünülen VHF bandında çalışacak RF gönderici ve alıcı devrelerinin maliyetli olması dolayısıyla UWB tercih edilmiştir. Proje kapsamında 6 x 10 cm boyutlarında, 1000mAh Li-Ion şarj edilebilir bir pil ile minimum bir yıl çalışabilecek verici cihazlar, sabit noktalara konumlandırılmış, harici güç kaynağı ile çalışacak alıcı cihazlar, alıcı cihazlar için ağ geçidi ve bilgisayarda çalışacak harita gösterimini gerçekleştirecek uygulama hedeflenmektedir.

Konumlandırma probleminin ve uygulanacak çözümün daha iyi anlaşılabilmesi için kullanılabilir sinyal teknolojilerinin, ölçüm tekniklerinin ve ölçülen parametrelerin kullanılarak konum belirleme yöntemlerinin açıklanması

gerekmektedir. Bölüm 2'de, konum kestirim problemi ve uygulanabilir teknoloji ve çözümler açıklanmaktadır. Bölüm 3'te sistem mimarisi tanıtılmış ve kullanılacak teknoloji ve yöntemler detaylandırılmıştır. Bölüm 4 ile çalışmada üretilen çıktılar değerlendirilmiştir. Bölüm 5 ise sonuçların yorumlanmasına ve gelecek çalışmalar için önerilere ayrılmıştır.

2. KONUM KESTİRİM SİSTEMLERİ

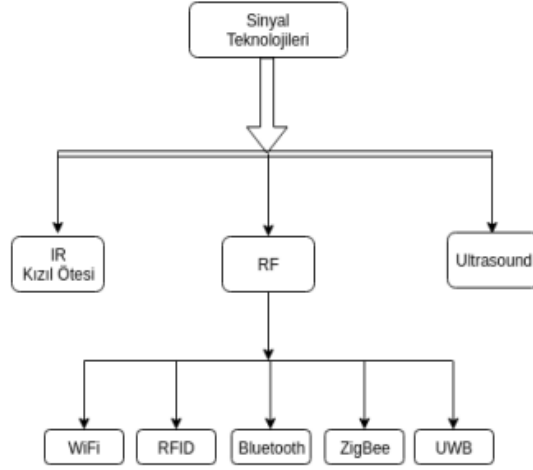
Son 20 yılda yapılan çalışmalarda, konum kestirim teknolojileri birkaç farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Collin vd. tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada, mevcut alt yapıyı kullanan teknolojiler ve yeni alt yapı gerektiren teknolojiler sınıflandırması kullanılmıştır [5]. Yeni alt yapı maliyet anlamına geleceği için ticari uygulamalarda öncelikle mevcut yapıyı kullanan teknolojiler tercih edilmektedir. 2009 yılında Gu vd. tarafından yapılan çalışmada ise 3 farklı sınıflandırma kullanılmıştır ve bu sınıflandırmalardan biri kullanılan sinyal teknolojisine göre yapılmıştır [6].

Konum kestirim çalışmalarında kullanılan sinyal teknolojisi ve algoritmaya bağlı olarak birtakım parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler sinyalin geliş zamanı, alıcılar arasındaki geliş zamanları farkı, geliş gücü ve geliş açısı olabilmektedir [7].

Bu bölümde, konum kestirimi probleminde kullanılan sinyal teknolojileri, ilgili parametrelerin hesaplanmasında kullanılan algoritmalar ve bu parametreleri kullanarak konumu elde edecek yöntemler detaylı bir şekilde incelenecektir.

2.1. Konum Kestirim Sistemlerinde Kullanılan Sinyal Teknolojileri

Kablosuz haberleşme teknolojilerinde geliştirilen birçok sinyalleşme alt yapısı konum kestiriminde de kullanılmaktadır. Ortam şartları ve proje gereksinimleri hangi sinyal teknolojisinin kullanılacağını belirlemektedir. Temelde ses sinyalleri ve RF olmak üzere iki sınıftan bahsedilebilir. RF sinyal teknolojisi ise kendi içinde sınıflara ayrılmaktadır. Bazı projelerde birkaç sinyal türünün birlikte kullanılması gerekebilir.



Şekil 2.1 Sinyal Teknolojileri Sınıflandırması.

2.1.1. Kızılötesi Temelli Sistemler

Radyo frekans spektrumunda, görünür ışık ile mikro dalgalar arasında kalan IR (InfaRed) kızılötesi yayılım alanı kullanılmaktadır. Televizyon, mobil telefon gibi birçok cihazda yaygın olarak bulunan bir teknolojidir. Verici ile alıcı arasında doğrudan görüş hattının (LOS) olması gerekmektedir. Bu gereksinim kapsama alanını daraltmaktadır [8]. IR alt yapısı kullanılarak geliştirilmiş sistemlerden en çok bilineni Active Badge çalışmasıdır [9]. Active Badge, kapalı alan konum kestirimi alanında geliştirilen ilk projelerden biridir. Tablo 2.1 IR teknolojisi kullanılarak yapılan çalışmaları göstermektedir.

Tablo 2.1 Kızılötesi Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Hassasiyet	Kapsama
Active Badge	1999	6 m	Ölçeklenebilir
Lee and Song	2007	dm	36 m ²
Ambiplex	2011	20-30 cm	10 m
Kinect	2011	1 cm	3.5 m

2.1.2. RF (Radyo Frekansı) Temelli Sistemler

Radyo dalgalarının, duvar, insan vücudu gibi engelleri geçebilme özelliği, bu teknolojinin konum kestiriminde kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Geçirgenlik özelliği bu teknolojiyi kullanan sistemlere daha geniş bir kapsama alanı sağlamaktadır. RF temelli sistemlerde, gereksinimlere göre RFID, Bluetooth, WiFi gibi dar band teknolojiler veya Ultra Wide Band (UWB) gibi geniş band teknolojileri kullanılabilir.

- WiFi

Konum kestirim sisteminde WiFi teknolojisinin kullanımı, düşük kurulum maliyeti ve doğrudan görüş hattı ihtiyacı duymaması nedeniyle çok yaygındır. WiFi arayüzüne sahip herhangi bir cihaz her hangi başka bir donanıma gerek kalmadan konum kestiriminde kullanılabilir. Hassasiyeti Bluetooth ve RFID teknolojisine kıyasla daha kötü olsa da kapsama alanı olarak 50–100 metre mesafeleri desteklemesi sayesinde Bluetooth ve RFID teknolojisinin önüne geçmektedir.

WiFi teknolojisi ile geliştirilen konum kestirim çalışmalarında daha çok RSSI yöntemi kullanılmaktadır [12] [13]. Bununla birlikte son zamanlarda ToA, AoA ve TDoA algoritmaları da kullanılmaya başlanmıştır [14]. WiFi teknolojisinin kullanıldığı konum kestirim çalışmalarının bazıları aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.2 WiFi Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Hassasiyet	Yöntem
Bahl	2000	5 m.	RSS
Gunther	2004	5 – 15 m	RTT
Chen	2005	2 – 4 m	RSS
Wong	2008	2 m	AoA
Ekahau	2009	7 m	RSS
Hansen	2011	4 cm	RSS

- **RFID**

RFID, kapalı alan konum kestirimi sistemlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Sistemde bir veya daha fazla okuyucu ve konumu belirlenecek varlıkta ise aktif ve pasif etiket bulunmak zorundadır. Pasif etiketler enerjisini okuyucudan edinirken aktif etiketler enerji için okuyucuya ihtiyaç duymamaktadırlar. RFID etiketler yazılabilir alana sahip olabilirler ama konum kestiriminde her bir etiket üzerine fabrika üretimi aşamasında kazınmış seri numaranın kullanımı yeterlidir. RFID etiketler düşük frekanslı (120–140 kHz.), yüksek frekanslı (13.56 MHz.) ve çok yüksek frekanslı (860–928 MHz.) olmak üzere 3 farklı frekansta çalışırlar. Düşük frekanslı etiketler 1 cm ile 2 metre, yüksek frekanslı etiketler 20 cm ile 1 metre, çok yüksek frekanslı etiketler ise 60 cm ile 12 metre mesafeden çalışabilmektedirler. RFID teknolojisi ile geliştirilen konum kestirim sistemlerinde genellikle varlık-yokluk yöntemi kullanılmaktadır [10]. Etiket seri numarası okunabiliyorsa anten okuma mesafesi dahilinde etiketin varlığı bilinmiş olunacaktır. Varlık-yokluk yönteminde etiket anten kapsama alanının içinde herhangi bir yerde olabilir, daha hassas konum kestirimi için RFID teknolojisinde gelen sinyal gücü (RSSI) hesaplanmaktadır [11].

RFID teknolojisini kullanan bazı konum kestirim çalışmaları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 2.3 RFID Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Hassasiyet	Kapsama	Yöntem
Dziadak	2005	2 metre	2 metre	Var-yok
Seco	2010	1.5 metre	30 metre	RSSI
Peng	2011	1 - 3 metre	100 metre	RSSI
Kimaldi	2011	13 metre	13 metre	Var-yok
Kiers	2011	11 - 30 cm	11 - 30 cm	Var-yok

- **Bluetooth**

Bluetooth, ISM bandında 2.4GHz. frekansında çalışan WPANs (Wireless Personal Area Networks – Kablosuz Kişisel Alan Ağı) standardıdır. Bluetooth teknolojisinin en önemli özelliği günümüzde neredeyse her elektronik cihazda bulunuyor olması veya düşük maliyeti sayesinde her cihaza entegre edilebiliyor

olmasıdır. Konum kestirim sistemlerinde kullanıldığında, etiket sayısının artması ile birlikte keşif prosedür sayısı artacak, bu da gecikmeleri arttıracak, gerçek zamanlı kestirim yapılamamış olunacaktır. BLE (Bluetooth Low Energy – Düşük Enerjili Bluetooth) ile bağlantı süreleri 100 ms seviyelerinden birkaç ms seviyelerine düşürülmüş ve gerçek zamanlı konum kestirimi için uygun bir çözüm haline getirilmiştir. RFID teknolojisinde olduğu gibi Bluetooth teknolojisi de daha çok var-yok yöntemi ile birlikte kullanılmaktadır. Bluetooth teknolojisinin kullanıldığı konum kestirim çalışmalarının bazıları aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.4 Bluetooth Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Kapsama	Yöntem
Aalto	2004	20 metre	Var-yok
Bargh	2008	Oda seviyesi	Var-yok
ZONITH	2011	Oda seviyesi	Var-yok

- ZigBee

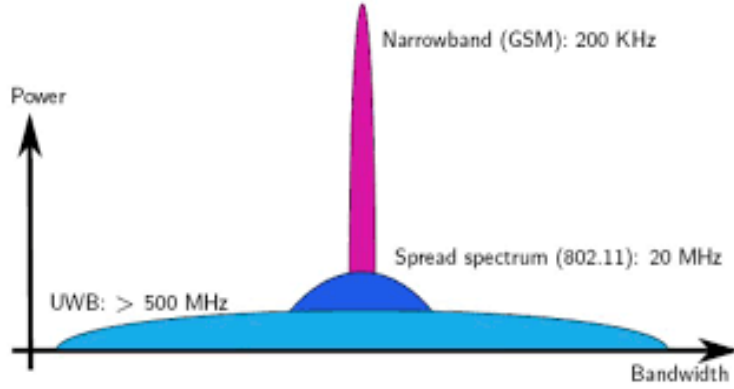
IEEE 805.15.4 uyumlu, düşük band genişliğine sahip, kısa ve orta menzilli kablosuz kişisel alan ağı standardıdır. Güç tüketimi fazla olmadığı için kısa menzilli sensör haberleşmelerinde tercih edilmektedir. Konum kestiriminde kullanıldığında 20–30 metre kapsama alanına sahip olacaktır. Mesafe ölçüm yöntemi olarak sinyal geliş gücü (RSSI) tercih edilmektedir. Bazı çalışmalarda sinyal gidiş-geliş zamanı da (RTT) kullanılmıştır [15]. ZigBee haberleşme teknolojisinin kullanıldığı bazı konum kestirim çalışmaları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 2.5. ZigBee Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Kapsam	Yöntem
Tadakamadla	2006	3 metre	RSSI
Larranaga	2010	3 metre	RSSI
My Bodyguard	2011	10 metre	Var-yok

- UWB

Ultra Geniş Band teknolojisi, geleneksel dar band ve yayılmış spektrum teknolojilerinden farklı olarak çok düşük sinyal gücüne ve çok yüksek band genişliğine sahip kısa mesafeli yeni bir radyo teknolojisidir.



Şekil 2.2 Ultra Geniş Band, Yayılmış Spektrum ve Dar Band.

UWB teknolojisinde kullanılabilir band genişlikleri 500 MHz ve üstünde olmaktadır. Bu sayede düşük enerji ile yüksek veri hızı sağlanabilmektedir. Frekans uzayındaki yüksek band genişliği, zaman uzayında periyodu nano saniyeler seviyesinde olan çok dar darbelerle karşılaşmaktadır ki bu sayede hem aynı anda birden fazla gönderici-alıcı çalışabilmekte hem de çoklu yol problemi olasılığı düşmektedir.

UWB teknolojisinin kullanıldığı konum kestirim sistemlerinde zaman bazlı ölçüm teknikleri daha çok kullanılmaktadır. Sinyal Geliş Gücü (RSSI) ve Sinyal Geliş Açısı (AoA) gibi ölçüm teknikleri hem daha maliyetli hem de hassasiyeti zaman bazlı tekniklere göre daha düşüktür.

2.1.3. Ultrasonik (Ses Ötesi) Temelli Sistemler

Ultrasonik temelli sistemler, duyulabilir ses aralığının dışında kalan yüksek frekanslı ses dalgalarını kullanmaktadırlar [16]. Konumu tespit edilecek hareketli sistemde bulunan aygıt tarafından üretilen ultrasonik ses dalgaları, alıcılarda bulunan özel mikrofonlar ile dinlenerek mesafeleri ölçülmektedir. Ses sinyalleri ile çalışmanın en önemli avantajı RF sinyallerine göre çok düşük hızlarda olmasıdır ve bu sayede hesaplamalar daha kolay, hatalar daha düşük olmaktadır. Bir diğer avantajı

ise düşük maliyetlerle geliştirilebilmeleridir. Kolay ve ucuz geliştirilebilen bu sistemlerle santimetre hassasiyetinde kestirim yapılabilmektedir. Ultrasonik sistemlerin dezavantajı ise kapsama mesafelerinin düşük olması, ortam sıcaklığından etkilenmeleri ve engellerden geçemiyor olmalarıdır. Aşağıdaki tabloda bu teknoloji ile geliştirilmiş birkaç sistem gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Ultrasonik Temelli Çalışmalar.

Çalışma	Yıl	Frekans	Hassasiyet	Yöntem
Active Bat	1997	40 kHz	3 cm	TDoA
Cricket	2005	40 kHz	1 – 2 cm	TDoA
Losnus	2010	35 – 65 kHz	1 cm	TDoA
Alloula	2010	20 – 50 kHz	3 cm	TDoA
Sato	2011	40 kHz	4 cm	TDoA

2.2. Konum Kestirim Parametrelerinin Ölçüm Teknikleri

Konum kestirim yöntemlerinde kullanılmak üzere, verici tarafından yayınlanan sinyallerin bazı özellikleri hesaplanmalıdır. Bu parametreler; Varış Zamanı, Varış Zamanları Farkı ve Varış-Dönüş Zamanı gibi zaman bazlı olabileceği gibi Geliş Açısı veya Geliş Gücü gibi zamandan bağımsız da olabilmektedirler.

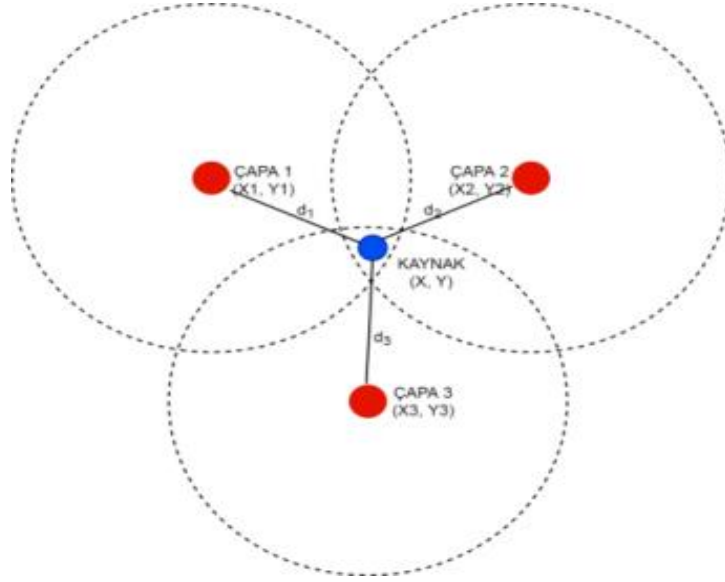
2.2.1. Zaman Bazlı Teknikler

Zaman Bazlı tekniklerde sinyalin verici ile alıcı arasında yolculuk süresi dikkate alınmaktadır. Bu parametrelerin kullanıldığı yöntemlerde alıcı-verici arasında veya alıcıların kendi aralarında zaman senkronizasyonu gerekebilir.

2.2.1.1. Varış Zamanı Tekniği (Time of Arrival: ToA)

Varış zamanı tekniğinde sinyalin kaynak ile alıcı arasındaki tek yönlü yolculuk süresi hesaplanmaktadır [17, 18, 19, 20, 21]. Sinyalin tek yönlü yolculuk süresini elde edebilmek için kaynak ile alıcının zaman olarak senkronize edilmeleri

gerekmektedir [22]. Kullanılan sinyalin yayılım hızı bilindiğinden ToA tekniğinde kaynak-alıcı arasındaki mesafe elde edilmiş olacaktır. 2 boyutlu uzayda 3 veya daha fazla alıcı tarafından hesaplanan mesafe bilgileri merkezinde alıcıların olduğu 3 veya daha fazla çember oluşturacaktır. Konumu hesaplanmak istenen kaynak bu çemberlerin kesişiminde yer alacaktır.



Şekil 2.3 Varış Zamanı Tekniği Geometrisi.

Ortam şartları ve ölçüm hatalarından dolayı çemberler tek bir noktada kesişmeyecektir ve bu durum optimizasyon problemine dönüşmektedir. Ölçüm hatalarının olmadığı durumlarda i 'inci alıcı için hesaplanan varış zamanı t_i olsun.

$$t_i = \frac{d_i}{v}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de d_i kaynak ile i 'nci sabit düğüm arasındaki mesafeyi, v ise sinyal hızını göstermektedir. Sisteme ölçüm hataları eklendiğinde t_i ile elde edilen mesafe bilgisi $r_{toa,i}$ aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [23].

$$r_{toa,i} = d_i + n_{toa,i} = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} + n_{toa,i}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

Yukarıdaki ifadeye $n_{toa,i}$ 'inci hesaplama için dahil edilen hatayı göstermektedir ve 0 ortalamalı Gauss dağılımına sahip olduğu varsayılmaktadır. İfadeyi vektörel formda aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$r_{toa} = f_{toa}(x) + n_{toa} \quad (2.3)$$

Gürültü ve gürültü eklenmiş mesafe vektörleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$n_{toa} = [n_{toa,1} n_{toa,2} \dots n_{toa,N}]^T \quad (2.4)$$

$$r_{toa} = f_{toa}(x) + n_{toa} \quad (2.5)$$

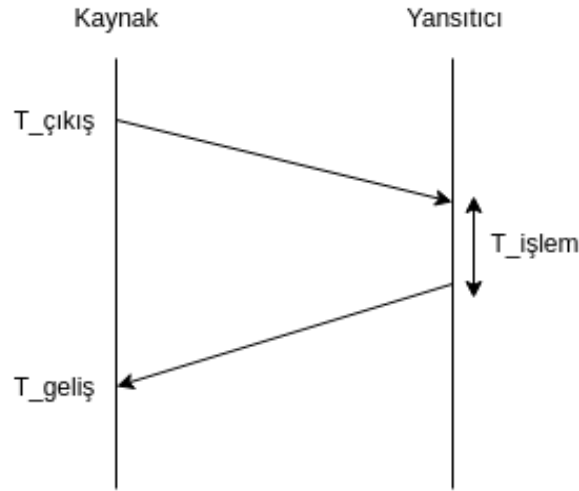
Hesaplanmak istenen mesafe fonksiyonu aşağıdaki formu alacaktır.

$$f_{toa}(x) = [\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}, \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}, \dots, \sqrt{(x - x_N)^2 + (y - y_N)^2}] \quad (2.6)$$

Varış zamanları kullanılarak hesaplanan r_{toa} mesafe bilgileri kullanılarak x değeri kestirimi yapılmaktadır. ToA yönteminde temel problem kaynak ile alıcılar arasındaki senkronizasyon gereksinimidir. Senkronizasyon problemini ortadan kaldırmak için sinyalin gidiş-dönüş süreleri kullanılmaktadır ki bu yöntem bir sonraki başlıkta Varış-Dönüş Zamanı Tekniği (Round Trip Time) adında incelenecektir.

2.2.1.2. Varış-Dönüş Zamanı Tekniği (Round Trip Time: RTT)

İki Yönlü Yolculuk (Two Way Ranging – TWR) olarak ta adlandırılan varış-dönüş zamanı tekniğinde mesafe ölçümü için sinyalin kaynaktan çıkması, alıcı tarafında algılanıp tekrar kaynağa gönderilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde konumu kestirilecek cihaz alıcı görevi de görebilmektedir. Diğer bir ifadeyle konum kestiriminde konumları bilinen sabit düğümler sinyal gönderici olarak ta çalışabilirler [24, 25].



Şekil 2.4 Varış-Dönüş Zamanı Sinyal Yolculuğu.

$$t_{roundtrip} = (T_{geliş} - T_{çıkış}) - T_{işlem} \quad (2.7)$$

$$t_{yayılım} = \frac{t_{roundtrip}}{2} \quad (2.8)$$

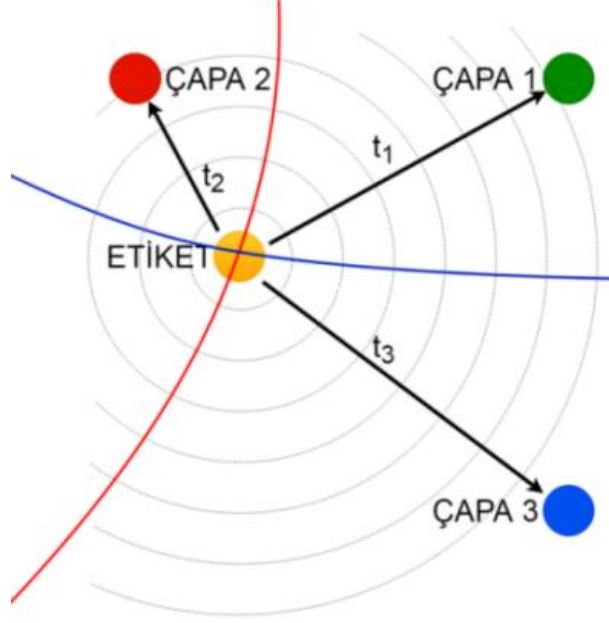
Denklem 2.8 ile hesaplanan yayılım süreleri kullanılarak Varış Zamanı Tekniği yöntemleri uygulanabilir.

Varış zamanı tekniğinde gerekli olan kaynak-alıcı arasındaki zaman senkronizasyonuna burada ihtiyaç duyulmamaktadır [26]. Bu yöntemin iki farklı dezavantajı bulunmaktadır; Konumu kestirilecek cihaz sürekli açık durumda kalmak zorundadır ki bu batarya ile çalışacak cihazlar için büyük bir problemdir. Diğer dezavantajı ise yansıtıcı ünitadaki sinyal işleme sürelerinin hesaplanması zor bir problemdir. Özellikle ışık hızında hareket eden RF dalgalarının kullanıldığı durumlarda yapılacak küçük bir hata nihai hesaplamada çok büyük sapmalara neden olmaktadır [27].

2.2.1.3. Varış Zamanları Farkı Tekniği (Time Difference of Arrival: TDoA)

Varış Zamanları Farkı tekniğinde, alıcı çiftlerin sinyalleri alış zamanları farkı kullanılmaktadır [28]. Varış Zamanı tekniğinde olduğu gibi yine senkronizasyon

gereklidir fakat burada farklı olarak senkronizasyon kaynak ile alıcılar arasında değil sadece alıcıların kendi aralarında gerekmektedir.



Şekil 2.5 Varış Zamanları Farkı Geometrisi.

Kullanılan sinyalin hızı bilindiği takdirde zaman farkları kullanılarak kaynak ile alıcılar arasındaki mesafe farkları bulunabilir. İki alıcı ile bir geliş zamanı farkı ölçülecektir ki ölçülen bu zaman farkı, kaynağın olası konumlarını gösteren bir hiperbol oluşturacaktır. Birden fazla oluşturulan hiperbollerin kesişimi kaynağın konumunu verecektir. (Şekil 2.5)

$$r_{tdoa,i} = (d_i - d_1) + n_{tdoa,i} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9'da $n_{tdoa,i}$ ölçülen mesafe farklarındaki hatayı göstermektedir. Denklem aşağıdaki şekilde daha açık yazılabilir.

$$r_{tdoa,i} = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} + n_{tdoa,i}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.10)$$

$$r_{tdoa} = f_{tdoa}(x) + n_{tdoa} \quad (2.11)$$

Gürültü ve gürültü eklenmiş mesafe farklarına ait vektörler aşağıdaki gibi olacaktır.

$$n_{tdoa} = [n_{tdoa,1} n_{tdoa,2} \dots n_{tdoa,N-1}]^T \quad (2.12)$$

$$r_{tdoa} = [r_{tdoa,1} r_{tdoa,2} \dots r_{tdoa,N-1}]^T \quad (2.13)$$

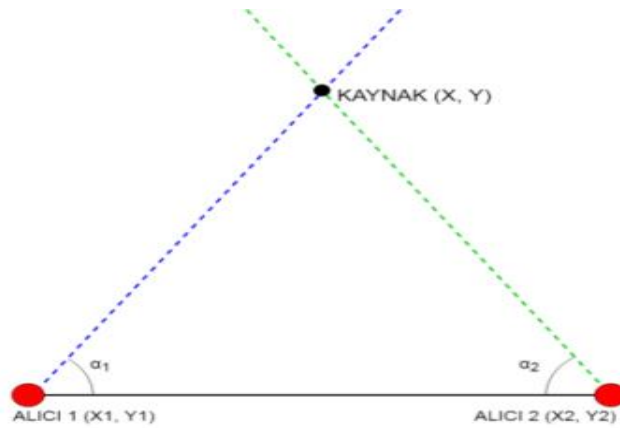
Kestirim yapmaya çalıştığımız \mathbf{x} vektörüne ait fonksiyonu, yukarıda verilen denklemleri kullanarak aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$f_{tdoa}(x) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(x-x_N)^2 + (y-y_N)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$n_{tdoa,i}$ gürültüsü hesaplamaların kolay olabilmesi için 0 ortalamalı Gauss gürültüsü olarak hesaba katılmaktadır. Denklem 2.11'in çözümü, ölçülen r_{tdoa} değerleri kullanılarak \mathbf{x} noktasının bulunmasını sağlayacaktır.

2.2.2. Geliş Açıcı Tekniği (Angle of Arrival: AoA)

Geliş açısı tekniğinde, kaynaktan yayılan sinyallerin alıcıya olan konum açısı hesaplanmaktadır. Her bir geliş açısı bir doğru oluşturmaktadır ki bu doğruların kesişim noktası kestirimi yapılacak noktayı vermektedir [29].



Şekil 2.6 Geliş Açısı Tekniği Geometrisi.

Geliş açısı tekniğinde herhangi bir senkronizasyona gerek yoktur fakat alınan sinyalin geliş açısını ölçebilmek için anten dizilerine ihtiyaç duyulmaktadır [30]. Herhangi bir alıcıda elde edilen açı aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$\tan(\alpha) = \frac{(y-y_i)}{(x-x_i)}, i = 1,2,\dots,N \quad (2.15)$$

Yukarıdaki denklemde (x_i, y_i) çifti, i 'nci alıcının konumunu ifade etmektedir. Ölçüm hatalarını hesaba katarak denklemi aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$r_{aoa,i} = \alpha_i + n_{aoa,i} = \tan^{-1} \frac{(y-y_i)}{(x-x_i)} + n_{aoa,i}, i = 1,2,\dots,N \quad (2.16)$$

Denklem 2.16'da $n_{aoa,i}$ parametresi 0 ortalamalı Gauss gürültüsünü ifade etmektedir. Denklem vektörel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$r_{aoa} = f_{aoa}(x) + n_{aoa} \quad (2.17)$$

Gürültü ve gürültü eklenmiş açı değerlerine ait vektörler aşağıdaki gibi olacaktır.

$$n_{aoa} = [n_{aoa,1} n_{aoa,2} \dots n_{aoa,N-1}]^T \quad (2.18)$$

$$r_{aoa} = [r_{aoa,1} r_{aoa,2} \dots r_{aoa,N-1}]^T \quad (2.19)$$

Kestirim yapmaya çalıştığımız noktaya ait fonksiyon aşağıdaki hale gelecektir.

$$f_{aoa}(x) = \left[\tan^{-1} \frac{(y-y_1)}{(x-x_1)}, \tan^{-1} \frac{(y-y_2)}{(x-x_2)}, \dots, \tan^{-1} \frac{(y-y_N)}{(x-x_N)} \right]^T \quad (2.20)$$

Denklem 2.17'nin çözümü, ölçülen r_{aoa} değerleri kullanılarak x noktasının bulunmasını sağlayacaktır.

2.2.3. Geliş Gücü Tekniği (Received Signal Strength: RSS)

Sinyal Geliş Gücü Tekniğinde, kaynaktan yayılan sinyalin alıcı üniteye ölçülen gücü hesaplanarak mesafe kestirimi yapılmaktadır [31, 32]. Kaynaktan bilinen ve

sabit güçle yayılan sinyal gücü ortama bağlı olarak mesafe ile orantılı bir şekilde zayıflayacaktır [33].

Kaynaktan yayılan güç miktarı i 'nci alıcı için aşağıdaki gibi olacaktır [34].

$$P_i^r = K_i \frac{P_i^t}{d_i^\alpha}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.21)$$

Denklem 2.21'de P_i^t kaynaktan yayılan sinyal gücünü, d_i ise kaynak ile alıcı arasındaki mesafeyi göstermektedir. K_i sinyal gücünü etkileyen faktörler için sisteme bağımlı sabit iken α ise ortamın kayıp oranıdır. Ortam kayıp oranı α ; 2 ile 5 arasında bir değer almaktadır ki boş alan için 2 değerine sahiptir. Ölçüm hatalarını hesaba katarak ortam kayıp oranının log-normal modelini aşağıdaki gibi yazabiliriz [35].

$$\ln(P_i^r) = \ln(K_i) + \ln(P_i^t) - \alpha \ln(d_i) + n_{r_{ss},i}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.22)$$

Denklem 2.22'de $n_{r_{ss},i}$ parametresi lognormal dağılıma sahip 0 ortalamalı Gauss gürültüsünü ifade etmektedir.

Zayıflama ile orantılı mesafe miktarını aşağıdaki gibi bilinenler cinsinden ifade edelim.

$$r_{r_{ss},i} = \ln(P_i^r) - \ln(P_i^t) - \ln(K_i) \quad (2.23)$$

Denklem 2.23'ü kullanarak, denklem 2.22'yi aşağıdaki gibi sadeleştirebiliriz.

$$r_{r_{ss},i} = -\alpha \ln(d_i) + n_{r_{ss},i}, i = 1, 2, \dots, N \quad (2.24)$$

Birden fazla alıcı hesaba katılarak ifadeyi vektörel olarak yazacak olursak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$r_{r_{ss}} = f_{r_{ss}}(x) + n_{r_{ss}} \quad (2.25)$$

Gürültü ve gürültü eklenmiş mesafe değerlerine ait vektörler aşağıdaki gibi olacaktır.

$$n_{r_{ss}} = [n_{r_{ss},1} \ n_{r_{ss},2} \ \dots \ n_{r_{ss},N}]^T \quad (2.26)$$

$$r_{rss} = [r_{rss,1} r_{rss,2} \dots r_{rss,N}]^T \quad (2.27)$$

Kestirim için kullanılacak nokta fonksiyonu aşağıdaki hali alacaktır.

$$f_{rss}(x) = -\alpha [\ln(\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}), \dots, \ln(\sqrt{(x-x_N)^2 + (y-y_N)^2})]^T \quad (2.28)$$

Denklem 2.27'nin çözümü, ölçülen r_{rss} değerleri kullanılarak x noktasının bulunmasını sağlayacaktır.

2.3. Konum Belirleme Yöntemleri

Kullanılan sinyale ilişkin parametrelerin hesaplanması ile birlikte bu parametreleri kullanarak konum kestirimi yapılabilir. Konum kestirim yöntemleri hesaplanan parametreye bağlı olarak farklı şekillerde yapılmaktadır [36, 37]. Kullanılacak sinyal teknolojisi alıcı anten tasarımına bağlı olarak değişmektedir [40].

2.3.1. Var-Yok Yöntemi (Proximity)

Var-Yok Yöntemi tek bir alıcı ile çalışabilen ve alıcı mesafesi içinde herhangi bir kaynağın varlığını tespit edebilen bir yöntemdir. Diğer yöntemler hassas bir şekilde konumlandırma yapabilirken, var-yok yöntemi kaynağın kapsama alanı içinde olup olmadığını söyleyebilmektedir. Hassas konumlandırma gerektirmeyen sistemlerde bütün sinyal teknolojileri ile birlikte kullanılabilir. Yaygınlığı nedeniyle BLE ve WiFi uygulamaları oldukça fazladır.

2.3.2. Parmak İzi Yöntemi (Fingerprinting)

Parmak İzi Yöntemi, konum bilgilerinin önceden edinilerek sistemin eğitimini gerektirmektedir [46]. Farklı sinyal teknolojileri ve farklı ölçüm teknikleri ile kullanılabilir [47, 48, 49, 50]. Eğitim aşamasında, kapsama alanı içinde olası bütün noktaların sinyal ölçümleri yapılarak veri tabanına kayıt edilmektedir. Burada çözünürlük ve ölçüm sayısı sistemin hassasiyetini belirlemektedir [51]. Kapsama

alanı içinde, sinyal özelliklerini bozabilecek olası değişiklikler sistemin doğruluğunu etkileyecek veri tabanının güncellenmesini gerektirecektir [52, 53].

2.3.3. Üçgenleştirme Yöntemi (Triangulation)

Üçgenleştirme yöntemi, üçgen geometresine dayanmaktadır. Kaynaktan gönderilen sinyalin en az iki alıcı tarafından açıları hesaplanmaktadır. Sinyal Geliş Açısı (Angle of Arrive – AoA) ölçüm yöntemi ile elde edilen parametreler kullanılarak işlem yapılır [38, 39]. Sinyal teknolojisi olarak Bluetooth, UWB, WiFi kullanılmaktadır.

2.3.4. Çember Kesişimi Yöntemi (Trilateration)

Çemberleştirme yöntemi belki de en çok bilinen konum kestirim yöntemidir. Küresel Konumlandırma Uydu Sistemi çember kesişim yöntemini kullanmaktadır. Konumları bilinen en az 3 adet alıcı kullanılmaktadır. Konumu kestirilecek hareketli kaynak ile sabit alıcılar arasındaki mesafeler, Sinyal Geliş Zamanı (ToA) veya Sinyal Geliş Gücü (RSSI) ölçüm yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Her iki ölçüm yöntemi de Doğrudan Görüş Hattı (Line of Sight – LoS) gerektirmektedir. Doğrudan görüş hattının sağlanamadığı durumlarda sinyaldeki gecikme veya gücündeki zayıflama hatalı mesafe algılamaya ve dolayısıyla hatalı konum kestirimine neden olacaktır. En az 3 alıcı ile 3 adet çember oluşmaktadır ve 2 boyutlu uzayda kestirim yapılabilmektedir. WiFi ve BLE sinyal teknolojisi çok yaygın kullanılmaktadır. LTE alt yapısı baz istasyonları arasındaki uzun mesafe ve engellerden dolayı kestirim problemini zorlaştırmaktadır. UWB teknolojisi engelli ortamlarda dahi hassas mesafe ölçümüne olanak sağladığı için üçgenleme yöntemi için çok uygundur.

2.3.5. Hiperbol Kesişimi Yöntemi (Multilateration)

Hiperbol Kesişimi Yöntemi, birbiri ile senkronize edilmiş alıcılara gelen sinyalin geliş zamanları farkı ile oluşturulan hiperbol geometrisini kullanmaktadır [41].

Kaynak ile alıcılar arası senkronizasyona ve sinyalin kaynaktan çıkış zamanına ihtiyaç duyulmamaktadır [42]. Bu sayede, kontrol edilemeyen kaynakların söz konusu olduğu özellikle askeri senaryolarda tercih edilmektedir. Ses sinyalleri kullanılarak keskin nişancı konumu [43], uçaklarda bulunan transponder mesajları (RF- 1094 MHz) kullanılarak uçak konumu belirlemek gibi çok kritik problem çözümlerinde kullanılmaktadır. Senkronize alıcılara gelen sinyallerin farkı kullanıldığı için kaynağın sürekli açık olmasına gerek olmamaktadır ve bu nedenle uzun pil ömrü gerektiren kapalı alan konum kestirim projelerinde özellikle tercih edilmektedirler [45].

2.4. Hiperbolik Konum Kestirim Yöntemleri

Hiperbolik konum kestirim yöntemi, 3 veya daha fazla alıcıya gelen sinyal zamanları farkı ile alıcılar arası mesafe farkı ve bu farkların oluşturduğu iki veya daha fazla hiperbollerin kesişim noktası ile de kaynak konumu tahmini yapar. Baz istasyonları arasındaki var Geliş Zamanları Farkı (Time Difference of Arrival-TDoA) yöntemi ile ölçüldükten sonra uygun bir yöntem ile kestirim yapılmaktadır.

2.4.1. Matematiksel Model

N adet alıcı baz istasyonunun kullanıldığı konum kestirim sisteminde, ilk baz istasyonu referans olarak kabul edilir ve herhangi bir baz istasyonunun kaynak ile olan mesafesi aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \quad (2.29)$$

Yukarıdaki ifadede (X_i, Y_i) noktası i 'nci alıcı baz istasyonunun, (x, y) noktası ise kaynağın konumlarını göstermektedir. Denklem 2.28 kullanılarak referans baz istasyonu ile diğer alıcıların mesafe farkları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R_{i,1} = v * t_{i,1} = R_i - R_1 = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (2.30)$$

Burada v kullanılan sinyalin hızını, $t_{i,1}$ i 'nci baz istasyonu ile referans baz istasyonu arasındaki sinyal geliş zamanları arasındaki farkı, $R_{i,1}$ ise i 'nci baz istasyonu ile referans baz istasyonu arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

Denklem 2.29 hiperbolik denklemler kümesini tanımlamaktadır ki çözümü kaynağın 2 boyutlu koordinat sisteminde konumunu vermektedir.

Bu hiperbolik eğrileri tanımlayan denklemler kümesi doğrusal değildir ve kolay çözümleri yoktur [54]. Doğrusal olmayan denklemleri çözümlerin en kolay yolu, denklemlerin doğrusallaştırılmasıdır.

2.4.2. Taylor Serisi Açılımı Yöntemi

Taylor serisi açılımı ile Denklem 2.28 liner forma dönüştürülür ve iteratif yöntem ile çözüm üretilir. Çözüm ilk değer gerektirmektedir ve her itasyonda En Küçük Kareler (Least Squares – LS) ile gerçek konuma yakınsar [55]. Denklem 2.28'in birinci derece terimler kullanılarak elde edilmiş Taylor Seri Açılımı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$R_i = f_i(x, y) = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (2.31)$$

$$f_i(x, y) \approx f_i(x_e, y_e) + (x - x_e) \frac{\partial f_i(x, y)}{\partial x} (x_e, y_e) + (y - y_e) \frac{\partial f_i(x, y)}{\partial y} (x_e, y_e) \quad (2.32)$$

Yukarıdaki ifadede x_e ve y_e tahmin edilen başlangıç değerleridir. Türev işlemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\partial f_i(x, y)}{\partial x} (x_e, y_e) = \frac{(x_e - x_i)}{\sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2}} \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial f_i(x, y)}{\partial y} (x_e, y_e) = \frac{(y_e - y_i)}{\sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2}} \quad (2.34)$$

Yukarıdaki ifadeler kullanılarak Denklem 2.28 vektörel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A \vec{\theta} = \vec{b} \quad (2.35)$$

A , Θ ve b matrisleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{(x_e - x_1)}{\sqrt{(x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2}} & \frac{(y_e - y_1)}{\sqrt{(x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2}} \\ \frac{(x_e - x_2)}{\sqrt{(x_e - x_2)^2 + (y_e - y_2)^2}} & \frac{(y_e - y_2)}{\sqrt{(x_e - x_2)^2 + (y_e - y_2)^2}} \\ \dots & \dots \\ \frac{(x_e - x_N)}{\sqrt{(x_e - x_N)^2 + (y_e - y_N)^2}} & \frac{(y_e - y_i)}{\sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2}} \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$\theta = \begin{bmatrix} (x - x_c) \\ (y - y_c) \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$b = \begin{bmatrix} f_1(x, y) - f_1(x_e, y_e) \\ f_2(x, y) - f_2(x_e, y_e) \\ \dots \\ f_N(x, y) - f_N(x_e, y_e) \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Ölçüm hataları işlemlere dahil edildiğinde ifade aşağıdaki şekli alacaktır.

$$A \vec{\theta} + \vec{p} = \vec{b} \quad (2.39)$$

$$\vec{p} = [\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_N]^T \quad (2.40)$$

Taylor Serisi Açılımı ile başlangıç değerleri doğru seçildiğinde, Denklem 2.37, en küçük kareler yöntemi kullanılarak birkaç iterasyonda kaynak konumuna yakınsayacaktır.

2.4.3. Chan Yöntemi

Chan [56], Denklem 2.29 için Taylor Serilerini kullanmadan doğrudan bir çözüm sağlamaktadır. Chan yöntemi doğrudan çözüm sağlamasına rağmen ölçüm hatalarını minimize edememektedir. Denklem 2.29'u aşağıdaki şekilde yazarak Denklem 2.28'i Denklem 2.40 şeklinde yeniden düzenleyelim.

$$R_i^2 = (R_{i,1} + R_1)^2 \quad (2.41)$$

$$R_{i,1}^2 + 2.R_{i,1}.R_1 + R_1^2 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2 \quad (2.42)$$

Yukarıdaki denklemde $i=1$ için yeniden düzenleme yaparak aşağıdaki formu elde edebiliriz.

$$R_{i,1}^2 + 2.R_{i,1}.R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y + X_1^2 + Y_1^2 \quad (2.43)$$

Chan, Denklem 2.41'i kullanarak aşağıdaki çözümü sağlamaktadır.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} R_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - H_2 + H_1 \\ R_{3,1}^2 - H_3 + H_1 \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Yukarıdaki denklemde $\mathbf{H}_1 = \mathbf{X}_1^2 + \mathbf{Y}_1^2$, $\mathbf{H}_2 = \mathbf{X}_2^2 + \mathbf{Y}_2^2$ ve $\mathbf{H}_3 = \mathbf{X}_3^2 + \mathbf{Y}_3^2$ şeklinde olacaktır. Denklem 2.42, Denklem 2.28 içinde $i=1$ değeri için kullanılarak aşağıdaki sonuç elde edilmektedir.

$$aR_1^2 + bR_1 + c = 0 \quad (2.45)$$

$$R_1 = \frac{(-b - \sqrt{b^2 - 4ac})}{(2a)} \quad (2.46)$$

Chan'in metodu iterasyone gerek kalmadan yukarıdaki doğrudan çözüm kümesi ile konum kestirimi yapmaktadır.

2.4.4. Foy Yöntemi

Foy yöntemi, Taylor Seri Açılımını kullanmaktadır ve iterasyon ile kestirim yapmaktadır [57]. İterasyon (x_0, y_0) tahmini ilk değeri ile başlar ve en küçük kareler ile $[\Delta x, \Delta y]^T$ hesaplayarak gerçek konuma yakınsar.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = (G^T \cdot G)^{-1} \cdot G^T \cdot h \quad (2.47)$$

Denklem 2.45'te yer alan \mathbf{G} ve \mathbf{h} değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{(X_1-x)}{R_1} - \frac{(X_2-x)}{R_2} & \frac{(Y_1-y)}{R_1} - \frac{(Y_2-y)}{R_2} \\ \frac{(X_1-x)}{R_1} - \frac{(X_3-x)}{R_3} & \frac{(Y_1-y)}{R_1} - \frac{(Y_3-y)}{R_3} \end{bmatrix} \quad (48)$$

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} R_{2,1} - (R_2 - R_1) \\ R_{3,1} - (R_3 - R_1) \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

R_1 ve R_2 Denklem 2.28'de $i=1,2$ için hesaplanan değerlerdir. İterasyon Δx ve Δy değerleri yeterince küçülene kadar devam edecektir.

2.4.5. Fang Yöntemi

Fang Yönteminde alıcı baz istasyonları özel bir koordinat sistemine yerleştirilirler [58]. Referans alıcı $(0, 0)$ noktasında iken ikinci istasyon $(X_2, 0)$ noktasında ve üçüncü istasyon (X_3, Y_3) noktasında yer almaktadır. Bu durumda Denklem 2.28 aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.50)$$

$$X_{i,1} = X_i - X_1 = X_i \quad (2.51)$$

$$Y_{i,1} = Y_i - Y_1 = Y_i \quad (2.52)$$

Bu ifadeleri kullanarak Denklem 2.40 aşağıdaki formda tekrar yazalım.

$$2R_{2,1}R_1 = -R_{2,1}^2 + X_2^2 - 2X_2x \quad (2.53)$$

$$2R_{3,1}R_1 = -R_{3,1}^2 + X_3^2 + Y_3^2 - 2X_3x - 2Y_3y \quad (2.54)$$

Yukarıdaki iki ifade aşağıdaki basit forma getirilirse;

$$y = g \cdot x + h \quad (2.55)$$

g ve h ifadeleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$g = \frac{R_{3,1} \left(\frac{X_2}{R_{2,1}} \right) - X_3}{Y_3} \quad (2.56)$$

$$h = \frac{X_3^2 + Y_3^2 - R_{3,1}^2 + R_{3,1} R_{2,1} \left(1 - \left(\frac{X_2}{R_{2,1}} \right)^2 \right)}{2} \cdot Y_3 \quad (2.57)$$

2.53 ve 2.51 denklemleri kullanılarak aşağıdaki basitleştirme yapılabilir.

$$d \cdot x^2 + e \cdot x + f = 0 \quad (2.58)$$

Denklem 2.56 için **d**, **e** ve **f** ifadelerini sırası ile yazalım.

$$d = -1 + \left(\frac{X_2}{R_{2,1}} \right)^2 - g^2 \quad (2.59)$$

$$e = X_2 \cdot \left(\left(1 - \left(\frac{X_2}{R_{2,1}} \right)^2 \right) - 2gh \right) \quad (2.60)$$

$$f = \frac{R_{2,1}^2}{4} \left(1 - \left(X - \frac{2}{R_{2,1}} \right)^2 \right)^2 - h^2 \quad (2.61)$$

Denklem 2.56 için **x** çözümü yapıldığında aşağıdaki denklem elde edilecektir.

$$d = -1 + \left(\frac{X_2}{R_{2,1}} \right)^2 - g^2 \quad (2.62)$$

Bulunan **x** ifadesi Denklem 2.53'te yerine konduğunda kaynağın konumu elde edilecektir.

2.4.6. Friedlander Yöntemi

Friedlander Yöntemi, yakınsama için Foy Yönteminde olduğu gibi en küçük kareler kullanmaktadır [59]. Friedlander öncelikle Denklem 2.41'i aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$X_{i,1}x + Y_{i,1}y = 0.5.(X_i^2 + Y_i^2 - X_1^2 - Y_1^2 - R_{i,1}^2) - R_{i,1}R_1 \quad (2.63)$$

Yukarıdaki denklemi matris formunda yazalım.

$$S \cdot x = u - R_1 \cdot p \quad (2.64)$$

S, **x**, **u** ve **p** matrisleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$S = \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$x = [x \quad y]^T \quad (2.66)$$

$$u = \begin{bmatrix} X_2^2 + Y_2^2 - X_1^2 - Y_1^2 - R_{2,1}^2 \\ X_3^2 + Y_3^2 - X_1^2 - Y_1^2 - R_{3,1}^2 \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

$$p = [R_{2,1} \quad R_{3,1}]^T \quad (2.68)$$

Denklem 2.62'de **R**₁ gibi diğer bir bilinmeyene sahip ikinci terimi yok etmek için aşağıdaki **N** vektörü ile her iki tarafı da çarparak denklemi yeniden yazalım.

$$N = (I - Z) \cdot D \quad (2.69)$$

Yukarıdaki ifadede yer alan **I**, **Z** ve **D** matrisleri aşağıda gösterilmiştir.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.70)$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.71)$$

$$D = (\text{diag}(p))^{-1} = \begin{bmatrix} R_{2,1} & 0 \\ 0 & R_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2.72)$$

Denklem 2.67 kullanılarak Denklem 2.62 aşağıdaki gibi bir forma sahip olacaktır.

$$N.S.x = N.u \quad (2.73)$$

$$x = (S^T.N^T.N:S)^{-1}.S^T.N^T.N.u \quad (2.74)$$

Friedlander, x konum vektörünü bulmak için yukarıdaki denkleme en küçük kareler toplamı kullanarak çözüm sağlamıştır.

3. TDOA YÖNTEMİ ile KONUM KESTİRİMİ

Tez kapsamında aynı zamanda ticari bir proje olarak da geliştirilen kapalı alan konum kestirimi çalışılmıştır. Konumu izlenilmek istenen birimler için geliştirilmiş Etiket modülleri bataryadan çalışmaktadır ki bu yüzden uzun çalışma ömrü için TDoA ölçüm metriği tercih edilmiştir. Sinyal teknolojisi olarak UWB, donanım olarak Decawave firmasının hazır çözümleri kullanılmıştır. Proje kapsamında ihtiyaç duyulan donanım birimleri tasarımına başlanılmış, tez çalışması için yetişmemiştir. Konum kestirimi için Hiperbollerin Kesişimi yöntemi, problem çözümü için iteratif yöntem kullanılmıştır. Proje isterleri gereği 30 cm hassasiyetle konum kestirimi gerekmektedir ki deneysel sonuçlarda görülebileceği gibi bu kriter sağlanmaktadır. Çalışma ortamı olarak Miltera Teknoloji'nin ofisi kullanılmıştır. Resim 3.1 ve Resim 3.2'den de görülebileceği gibi Çapa 1 köşesi koordinat sisteminin merkezi olacak şekilde özel olarak yerleşim uygulanmıştır. Çapa_1 – Çapa_2 ve Çapa_1 – Çapa_3 araları 8 metre olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.1 Çapa 1-2.



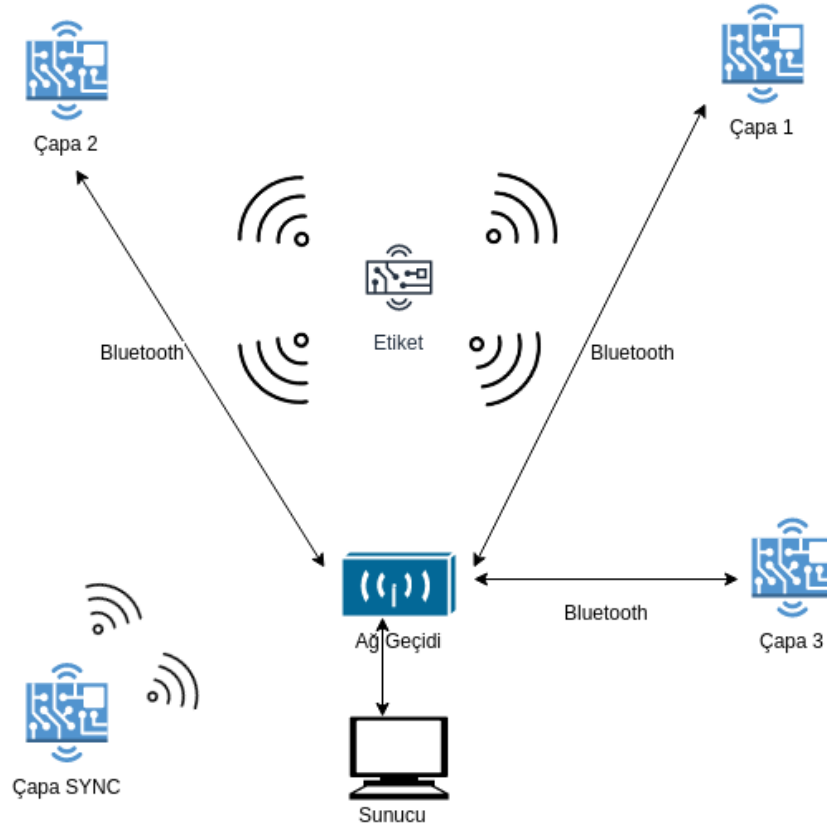
Şekil 3.2 Çapa 1-3.

3.1. Sistem Mimarisi

Tez ve proje kapsamında sistem 4 farklı üniteden oluşmaktadır.

- Konumu izlenecek hareketli kaynak; Etiket
- Sabit istasyonlar; Çapa
- Anchor ile sunucu arası iletişim birimi; Ağ Geçidi
- Karmaşık hesaplamaların ve haritalamanın yürütüleceği iş istasyonu; Sunucu

Etiket, Çapa ve Ağ Geçidi ünitelerinde, mikrokontrolör olarak Nordic firmasının NRF52832 entegresi, RF frontend için Decawave firmasının DW1000 SoC entegresinin bulunduğu DWM1000 modülleri kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Sistem Mimarisi.

3.1.1. DW1000

DW1000, 3.5 – 6.5 GHz aralığında 6 band ile çalışabilen, IEEE 802.15.4-2011 uyumlu, düşük güçlü, düşük maliyetli Ultra Geniş Bant (Ultra Wide Band – UWB) özellikli RF alıcı-verici entegredir. SPI arayüzü ile herhangi bir mikroişlemciye bağlanabilmektedir.

Tablo 3.1 DW1000 Kanal Özellikleri.

<i>Kanal</i>	<i>Merkez Frekans</i>	<i>Band Genişliği</i>
1	3494,4	499.2
2	3993,6	499.2
3	4492,8	499.2
4	3993,6	1331.2
5	6489,6	499.2
6	-	-
7	6489,6	1081.6

3.1.2. Etiket

Batarya ile çalışacak olan etiket yazılımları daha önce konfigüre edilmiş zamanlamaya uygun olarak uyanıp mesaj yayınlarlar ve ardından tekrar uyku moduna geçerler. Etiket, konumlandırma mesajı, parametre mesajı, komut mesajı gibi değişik mesajları desteklemektedir. Fabrika çıkışı, konumlandırma mesajı gönderim periyodu 3 sn (3000 ms) dir ve özel komut paketleri ile değiştirilebilmektedir. Konumlandırma mesajı 12 byte uzunluğundadır.

Haberleşme hızı olarak 6.8 Mbps kullanılmaktadır bu durumda 12 byte'lık konumlandırma mesajının süresi 1,03 us (mikro saniye) olacaktır. Proje kapsamında etiket sayısı çok fazla olacağı için yaşanabilecek çakışma (collision) problemi için gönderim periyodu aralığında rastgele seçim kullanılmıştır. Etiketler arası zaman senkronizasyonu olmadığı için Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Multiplex-TDM) yapılamamaktadır. Bunun yerine, konfigüre edilmiş gönderim periyodu merkezli, 1 ms hassasiyetinde -300/300 arası rastgele bir gönderim zamanı seçilmektedir.

Tablo 3.2 Etiket Konumlandırma Mesajı Paket Formatı.

Byte	Açıklama
0-1	Mesaj başlama belirteci
2	Mesaj sıra numarası
3-4	Etiket ID'si
5-6	Doğruluk kontrol belirteci

3.1.3. Çapa

Konumları iş istasyonu tarafından bilinen sabit düğümlerdir. Çapalar kendi aralarında konuşabildiği gibi etiketlerden gelen mesajları da dinlemektedirler. Etiketlerden gelen konumlandırma mesajlarını aldıklarında, mesaja kendi zaman damgalarını da ekleyerek ağ geçidi vasıtasıyla iş istasyonuna gönderirler. Çapalar kendi aralarında haberleşirken bluetooth teknolojisini kullanmaktadırlar. TDoA yapılacak 3 çapa özel bir koordinat sisteminde bulunmaktadır. Proje kapsamında çapalar arası 50 metre olacak şekilde kurulum alanının tamamı kapsanacaktır.

Tablo 3.3 Çapa Konumlandırma Mesajı Paket Formatı.

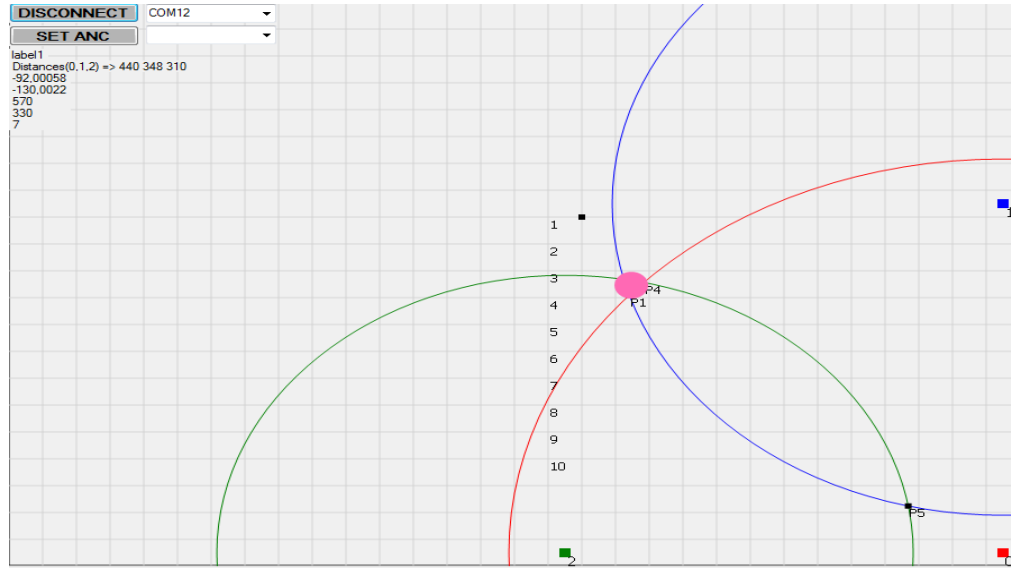
Byte	Açıklama
0-1	Mesaj başlama belirteci
2	Mesaj sıra numarası
3-4	Etiket ID'si
5	Çapa ID'si
6-9	Çapa zaman damgası
10-11	Doğruluk kontrol belirteci

3.1.4. Ağ Geçidi

İş istasyonu ile çapaların haberleşmesini sağlamaktadır. İş istasyonu ile seri port üzerinden, çapalar ile bluetooth üzerinden haberleşmektedir. İş istasyonu tarafından yürütülen komutları çapalara, çapalardan gelen konumlandırma paketlerini iş istasyonuna iletirler.

3.1.5. Sunucu

Window 10 işletim sisteminin koştuğu sunucu bilgisayardır. Çapalardan gelen konumlandırma paketlerini kullanarak zaman farklarını (TDoA) hesaplar, bu farkları kullanarak konum kestirimi yapar. Oluşturulan kullanım alanının çizimi üzerinde etiketlerin konumunu göstermek için .NET platformunda C# programlama dili ile arayüz geliştirilmiştir.



Şekil 3.4 Kullanıcı Arayüzü.

3.2. Alıcılar Arası Senkronizasyon Problemi

Önceki bölümlerde görüldüğü üzere zaman bazlı ToA ve TDoA yöntemlerinde senkronizasyon söz konusu olmaktaydı. ToA ölçüm yönteminde kaynak etiketler ile alıcılar arası senkronizasyon gerekli iken TDoA ölçüm yönteminde ise alıcılar arası senkronizasyon gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan TDoA ölçüm yöntemi

için kullanılan çapaların kendi aralarında senkronize edilmeleri gerekmektedir. Çapaların senkronizasyonu için değişik yöntemler kullanılmaktadır [60, 61]. Çapalar arası mesafe, ortak saat kaynağı için yeterince yakın değilse GPS modülü kullanılabilir. Tez çalışmasında, çapalar arası mesafe, kablo ile ortak saat kaynağına müsaade etmektedir. DW1000 entegresi RF yayılım veya alış zaman damgaları için iki ayrı yazmaca sahiptir. RF sinyalin antenden ayrıldığı an yayın yazmacına, gelen sinyal anı ise alış yazmacına yazılır. Konum kestiriminde kullanılan zaman bazlı hesaplamalarda bu yazmaç değerleri kullanılmaktadır. Kullanılan DW1000 entegresinde kablo ile harici senkronizasyon için EXTSYNC adında bir pin bulunmaktadır. Bu pin kullanılarak harici saat kaynağı ile çapaların zaman yazmaçları sıfırlanabilir, RF yayınları eş zamanlı başlatılabilir veya alış zamanları senkronize edilebilir. Kablo ile senkronizasyon saha şartlarından dolayı her zaman mümkün değildir ve maliyetlidir. Bu amaçla yürütülen projede kablosuz senkronizasyon yöntemi çalışılmıştır. Kablosuz senkronizasyon için sabit bir çapa kullanılmıştır, işlem yükünün az olması durumunda referans çapa (Sistemde Çapa 1) bu amaçla kullanılabilir. Senkronizasyon çapası belirli aralıklarla senkronizasyon paketi yayımlamaktadır. Sistem çapaları bu senkronizasyon paketi ile kendi saat bilgilerini güncellemektedirler. Burada dikkat edilmesi gereken husus cihazlarda kullanılan osilatör özelliğidir. Kullanılacak osilatörün ppm (pulse per million – milyon saat atımında hatalı atım sayısı) türünden hata oranı olabildiğince düşük olmalıdır. Kullanılan hazır donanımda, osilatör hata oranı +/- 20 ppm olarak verilmektedir, daha hassas senkronizasyon için proje kapsamında +/-2 ppm hata oranına sahip TCXO kullanılmaktadır.

Tablo 3.4 Senkronizasyon Paket Yapısı.

Byte	Açıklama
0-1	Mesaj başlama belirteci
2	Mesaj sıra numarası
3	Çapa ID'si
4-7	Çapa zaman damgası
8-9	Doğruluk kontrol belirteci

3.3. Parametrelerin Hesaplanması

Resim 3.3'te görüleceği üzere, senkronizasyon çapası belirli zaman aralıklarında senkronizasyon paketi yayınlacaktır. Bu bilgi kullanılarak aralarında senkron olan çapalar, etiket tarafından yayınlanan konumlandırma paketi aldıklarında alış anı zaman damgası, Çapa ID, Tag ID ve paket sıra numarasını kullanarak yeni bir paket oluştururlar. Oluşturulan bu yeni paket Bluetooth teknolojisi ile Ağ Geçidine gönderilir. Ağ geçidi bu paketleri seri port arayüzüyle sunucuya iletir.

Tablo 3.5 Sunucu TDoA Ölçüm Tablosu.

Etiket _i	Paket_ID _i	Paket_ID _{i+1}	Paket_ID _{i+2}	Paket_ID _{i+3}
Çapa_1	ZD _{ç,1,p,i}	ZD _{ç,1,p,i+1}	ZD _{ç,1,p,i+2}	ZD _{ç,1,p,i+3}
Çapa_2	ZD _{ç,2,p,i}	ZD _{ç,2,p,i+1}	ZD _{ç,2,p,i+2}	ZD _{ç,2,p,i+3}
Çapa_3	ZD _{ç,3,p,i}	ZD _{ç,3,p,i+1}	ZD _{ç,3,p,i+2}	ZD _{ç,3,p,i+3}

Konum kestiriminde kullanılacak zaman farkları, herhangi bir etiket için aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$TDoA_{\zeta-2,1} = ZD_{\zeta 2,pi} - ZD_{\zeta 1,pi} \quad (3.1)$$

$$TDoA_{\zeta-3,1} = ZD_{\zeta 3,pi} - ZD_{\zeta 1,pi} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki son iki denklem kullanılarak zaman farklarından mesafe farkları aşağıdaki şekilde elde edilecektir.

$$R_{2,1} = v \cdot TDoA_{\zeta-2,1} \quad (3.3)$$

$$R_{3,1} = v \cdot TDoA_{\zeta-3,1} \quad (3.4)$$

Mesafeler farkının genel ifadesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$R_{i,1} = v \cdot TDoA_{\zeta-i,1} = R_i - R_1 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te R_i i'nci çapa ile etiket arasındaki mesafeyi göstermektedir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

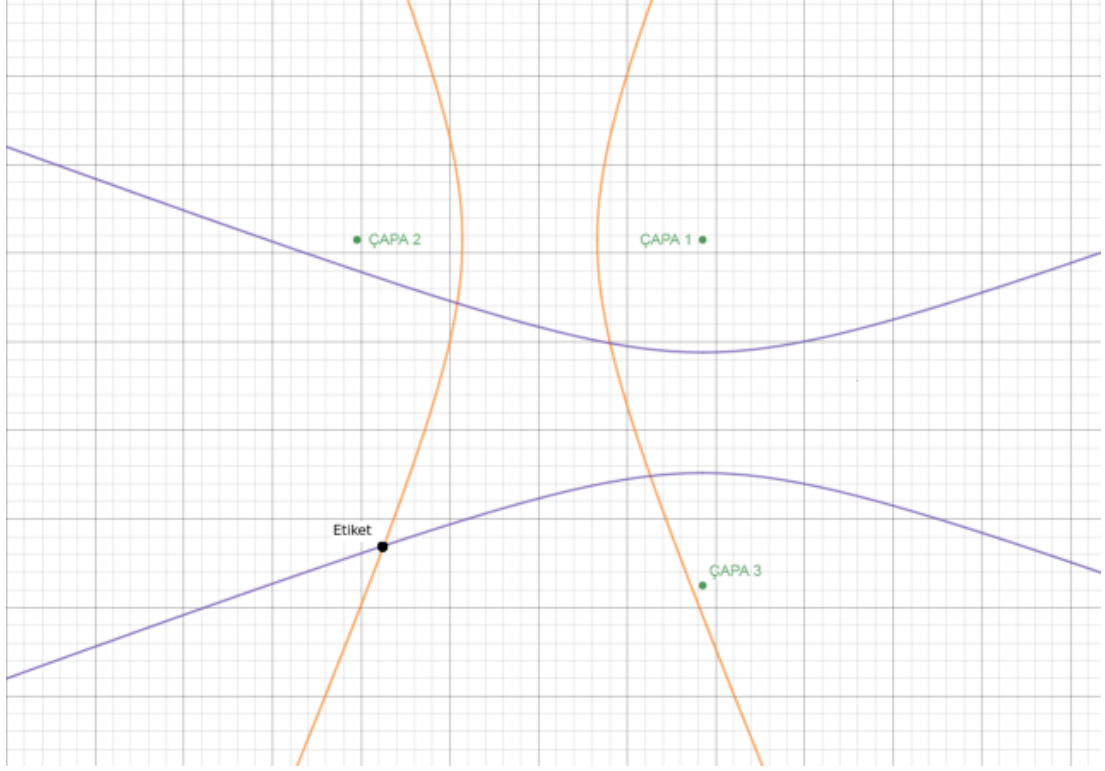
$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 kullanılarak Denklem 3.5 yeniden yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$R_{i,1} = R_i - R_1 = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (3.7)$$

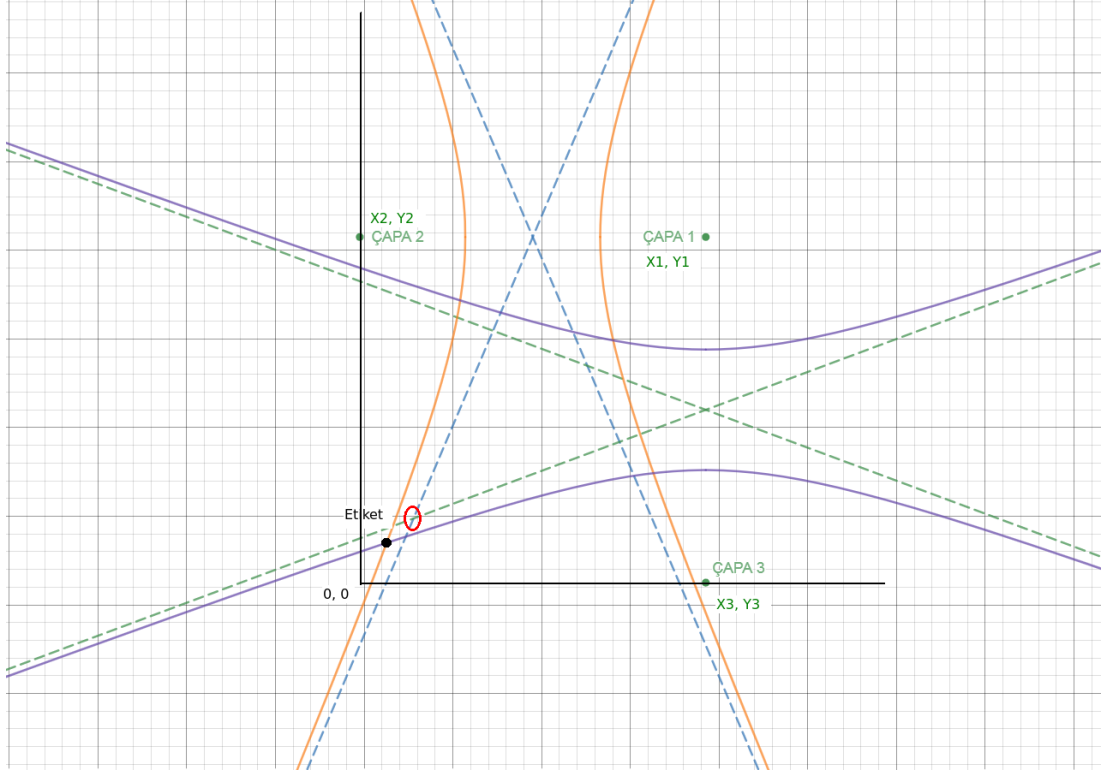
3.4. Hesaplanan Parametreler ile Konum Kestirimi

Çalışmanın Hiperbolik Konum Kestirim Yöntemleri (2.4) başlıklı bölümünde de anlatıldığı üzere yukarıdaki denklem bir hiperbol denklemdir ve lineer değildir. 3 çapa ile iki fark denklemini ve dolayısıyla iki hiperbol denklemini elde edilecektir. Etiket konumu, bu hiperbollerin kesişim noktasıdır. Lineer olmayan denklem çözümleri için Taylor Serileri kullanılarak lineerleştirme yapılır ve sonrasında iterasyonla çözüme gidilir (Foy, Friedlander). İterasyon kullanılan yöntemlerin temel problemi başlangıç değeridir ve seçilen başlangıç değeri problemin kaç adımda çözüleceğini etkiler. Bu çalışmada, aşağıda anlatılacağı üzere başlangıç değer problemine yeni bir yaklaşım getirilmiştir ve iterasyon adım sayısı önemli oranda azaltılmıştır. Şekil 3.3'ten görülebileceği gibi 3 çapa ile oluşabilecek 2 farklı hiperbol bulunmaktadır. Odak noktaları çapa 1 ve çapa 2 olan hiperbol turuncu renkle, çapa 1 ve çapa 3 olan hiperbol ise mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Üç Çapa ile Oluşabilecek 2 Hiperbol.

Ölçülen zaman farklarının pozitif veya negatif olması, etiketin üzerinde bulunabileceği hiperbol kolunu belirlemektedir. Hiperbollere ait yedek eksenleri, düzlemi 4 parçaya bölen iki doğru olarak düşünürsek, 3 çapa ile elde edilecek 2 zaman farkının işareti etiketin hangi kesişim üzerinde olabileceğini tayin etmektedir.



Şekil 3.6 Etiket Konumunun Asimptot Kesişimi ile Yakınlığı.

Şekil 3.4'te hiperbollere ait asimptot doğruları gösterilmiştir. Şekil 3.4'te siyah nokta hiperbol kesişimlerini (Etiket konumu), kırmızı çember ise asimptot kesişimlerini göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere asimptot kesişimleri ile hiperbol kesişimleri arasındaki Öklit mesafesi yeterince küçüktür. Bu özellik sayesinde, hiperbol kesişim noktasını bulmak için yürütülen iterasyonda, başlangıç değeri olarak asimptot kesişimleri kullanılabilir. Asimptot kesişimleri için aşağıdaki çıkarımlar kullanılmıştır. Genel asimptot denklemini yukarıdaki sistem için yeniden yazalım.

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (3.8)$$

$$y = \frac{b}{a}x \quad (3.9)$$

Denklem 3.8 için c çapalar arasındaki mesafenin yarısını, a ise ölçülen mesafe farkının yarısını ifade etmektedir. Çapa 1 ve Çapa 2 ile oluşacak hiperbola ait asimptot denklemi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$y = \frac{b_{1,2}}{a_{1,2}} \frac{X_1 - X_2}{2} x + (Y_2 - Y_3) \quad (3.10)$$

$$x = \frac{b_{1,3}}{a_{1,3}} \frac{Y_1 - Y_3}{2} y + (X_1 - X_2) \quad (3.11)$$

Çapa 1 ve Çapa 3 ile oluşacak hiperbola ait asimptot denklemi ise Denklem 3.11'de gösterilmiştir. Denklem 3.10 ve Denklem 3.11 kullanılarak asimptot kesişim noktasına ait x ve y değerleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$x = \frac{\frac{b_{1,3}(Y_1 - Y_3)^2}{a_{1,3}^2} + (X_1 - X_2)}{1 - \left(\frac{b_{1,2} \cdot b_{1,3} \cdot (Y_1 - Y_3) \cdot (X_1 - X_2)}{a_{1,2} \cdot a_{1,3}} \right)} \quad (3.12)$$

$$y = \frac{\frac{b_{1,2}(X_1 - X_2)^2}{a_{1,2}^2} + (Y_1 - Y_3)}{1 - \left(\frac{b_{1,2} \cdot b_{1,3} \cdot (X_1 - X_2) \cdot (Y_1 - Y_3)}{a_{1,2} \cdot a_{1,3}} \right)} \quad (3.13)$$

Bulunan x ve y değerleri iterasyon adımında başlangıç değer olarak kullanılacak değerlerdir.

$$R_i' = \sqrt{(X_i - x')^2 + (Y_i - y')^2}, i = 1, 2, 3 \quad (3.14)$$

Denklem 3.14'de (x', y') noktası asimptot kesişimi ile bulunan (x, y) , R_i' ise i 'nci çapanın asimptot kesişimine olan uzaklığını ifade etmektedir. Etiket (x', y') noktasında kabul edilerek hesaplanan mesafe farkları aşağıdaki gibi ifade edilsin.

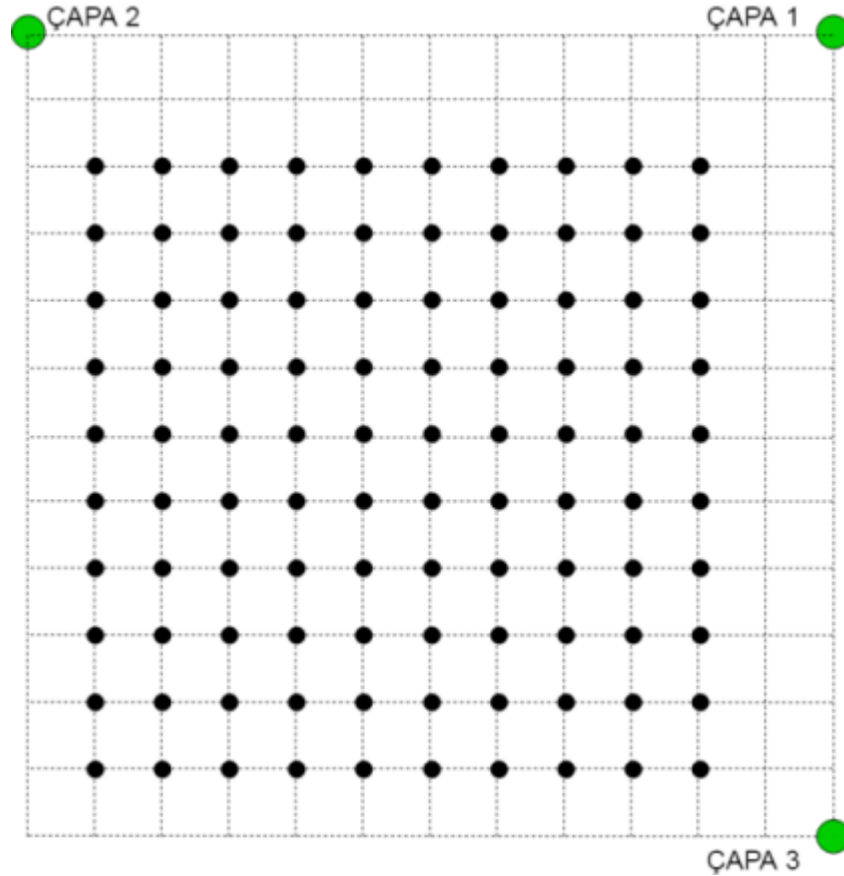
$$R_{2,1}' = R_2' - R_1' \quad (3.15)$$

$$R_{3,1}' = R_3' - R_1' \quad (3.16)$$

Hesaplanan mesafe farkları, ölçülen mesafe farklarına ($R_{2,1}$ ve $R_{3,1}$) yakınsayacak şekilde iterasyon yapılarak etiket konumu (x', y') tahmin edilir. İterasyon adımları ölçülen değer ile hesaplanan değer arasındaki fark 3 cm olana kadar tekrarlanmaktadır.

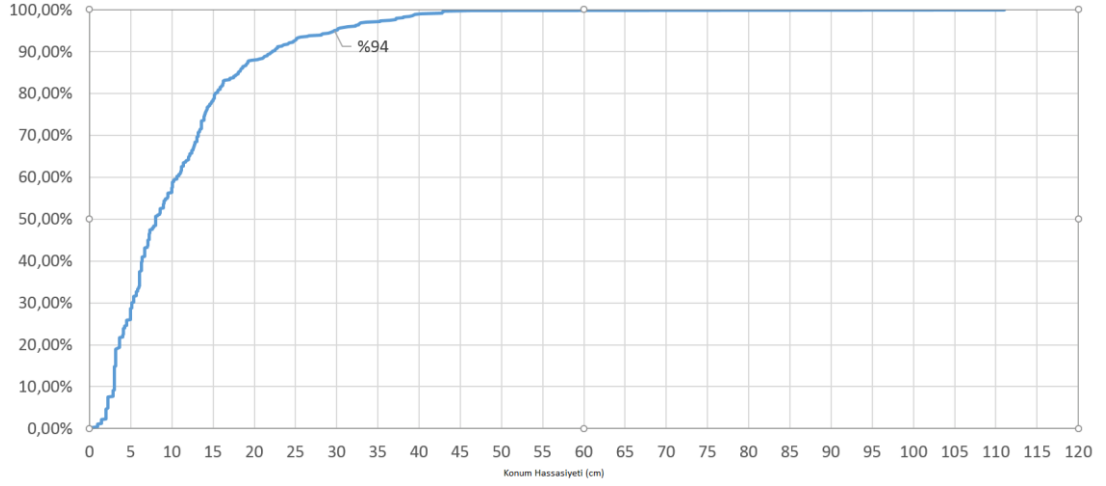
4. SAYISAL ve DENEYSEL SONUÇLAR

Tez çalışması, Miltera firmasının kapalı alan konum kestirimi projesi kapsamında yapılmıştır. Bahsi geçen proje isterleri arasında 30 cm hassasiyetle konum kestirimi yapabilme ve uzun pil ömrü ile çalışabilme kriterleri mevcuttur. Uzun pil ömrü için etiketlerin zamanının büyük bir kısmını uyuyarak geçirmeleri gerekmektedir. Bu amaçla, zaman bazlı Varış Zamanları Farkı (Time Difference of Arrival- TDoA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin sağlıklı çalışabilmesi için çapaların kendi aralarında senkron çalışmaları gerekmektedir. Proje isterlerinin sınanması için hata analizi yapılmıştır. Hata analizi için 100 farklı nokta belirlenmiştir ve her bir nokta için 5'er saniye arayla 6 adet ölçüm alınmıştır.



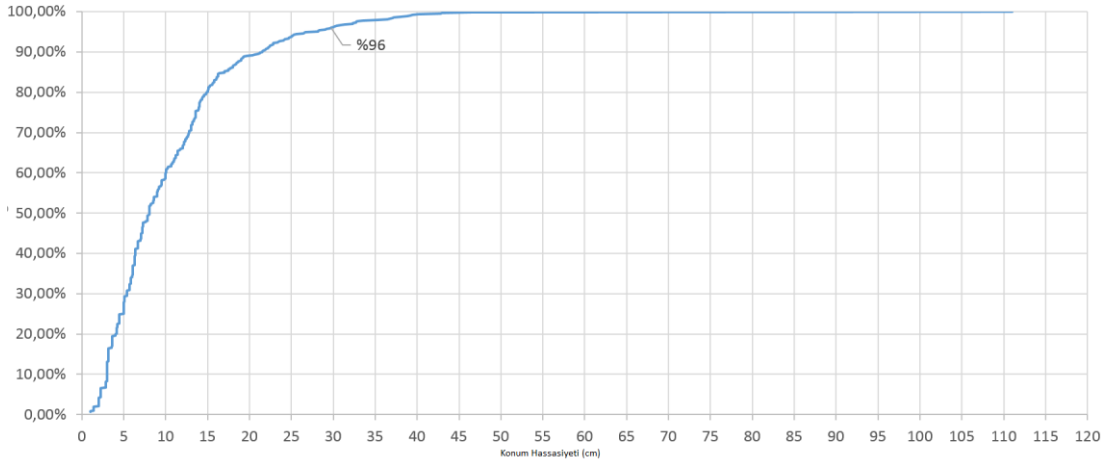
Şekil 3.7 Test Ortamı.

Alınan ölçümler ve gerçek değerler farkı ile kümülatif dağılım fonksiyonu (Cumulative Distribution Function-CDF) çizdirilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki ölçümlerin %94'ü 30 cm veya daha az hataya sahiptir.



Şekil 3.8 TDoA Yöntemi için Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

Hataların birkaç farklı nedeni bulunmaktadır; ortam şartlarından dolayı ölçüm hataları, lineer olmayan denklemlerin çözümü aşamasında ortaya çıkan hesaplama hataları ve senkronizasyon probleminden kaynaklı hatalar. Senkronizasyon probleminin hataları ne oranda etkilediğini görebilmek için senkronizasyon gerektirmeyen Sinyal Gidiş-Geliş Zamanı (Round Trip Time-RTT) yöntemi kullanılarak hata analizi tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9 RTT Yöntemi için Kümülatif Dağılım Fonksiyonu.

Şekil 3.7'den görülebileceği gibi ölçüm hatalarının %96'sı 30 cm veya daha az hataya sahiptir. Bu da göstermektedir ki kullanılan senkronizasyon yöntemi başarıları kabul edilebilir yeterliliktedir.

İterasyon aşamasında başlangıç değeri olarak herhangi bir (x, y) alındığında Foy yöntemi uygulanmış olmaktadır. Yapılan çalışmalarda herhangi bir (x, y) ile iterasyon başlatıldığında 8 tekrarlı bir iterasyonda sonuç alınabilirken, geliştirilen yöntemde iterasyon adımı 3 olmaktadır.

Tablo 4.1 İterasyon Adımları.

	Foy Yöntemi	Geliştirilen Yöntem
İterasyon Adımı	6	3

Kullanılan cihazların anten gücü maksimum değerine getirilerek farklı frekans ve band genişliklerinde sistem başarısı test edilmiştir. 4 farklı kanalla yapılan denemelerde UWB IEEE802.15.4-2011 standardına uyumlu 1, 2, 4, 5 kanalları kullanılmıştır.

Tablo 4.2 Frekans ve Band Genişliği, Erişim Mesafesi İlişkisi.

<i>Kanal</i>	<i>Merkez Frekans (MHz)</i>	<i>Band Genişliği (MHz)</i>	<i>Erişim Mesafesi (m)</i>
1	3494,4	499.2	13,61
2	3993,6	499.2	17,83
4	3993,6	1331.2	17,91
5	6489,6	499.2	18,1

Test edilen 2 ve 4 numaralı kanalların merkez frekansları aynı, band genişlikleri farklıdır, 1 ve 5 numaralı kanalların ise merkez frekansları farklı band genişlikleri aynıdır. Yapılan testlerde engel olarak 15 cm genişliğinde duvar kullanılmıştır.

Test sonuçları göstermektedir ki bant genişliğinin engelleri geçme konusunda çok fazla bir etkisi bulunmamaktadır fakat kullanılan merkez frekans sinyalin engel geçişini etkilemektedir.

5. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki yaklaşık 100 m² bir alan için 3 çapa kullanılarak 30 cm hassasiyetinde konum kestirimi yapılabilmektedir. Çapaların senkronizasyonu, kullanılan osilatörün toleransından dolayı bozulabilmektedir. Senkronizasyondaki bu bozulma ölçüm hatalarına neden olmaktadır. Senkronizasyon kaynaklı ölçüm hatalarını minimize etmek için daha hassas TCXO türü osilatör kullanılabilir. Yapılan saha denemelerinde sinyal yayılımına etki eden ortam şartlarının ölçüm başarısını etkilediği gözlemlenmiştir. Özellikle metal raflı fabrika ortamlarında kestirim başarısı çok etkilenmektedir. Kullanılan sinyalin merkez frekansı ve band genişliği sinyalin engellerden geçiş kabiliyetini ve erişim mesafesini etkilemektedir. 4 farklı kanalla yapılan denemelerde UWB IEEE802.15.4-2011 standardı 1, 2, 4 ve 5 kanalları kullanılmıştır. Bu kanallardan 2 ve 4'ün merkez frekansları aynı band genişlikleri farklıdır. Denemeler göstermiştir ki merkez frekansının artması sinyal deliciliğini iyileştirmektedir. Yürütülen proje için test pratiği oluşturulmuştur ve farklı saha ortamlarında hızlıca test edilerek uygun kanal kullanılacaktır. Saha kurulum aşamasında ilgili band testleri yapılacak ve en doğru çözüm tespit edilerek uygulanacaktır.

Kullanılacak etiket sayısının artması ile birlikte çakışmalar yaşanabilecektir. Bunu engellemek için etiketler 5-10 saniyede bir senkronize edilebilirler. Bu sıklıkta senkronize edilmiş etiketler ms hassasiyetinde senkron kalacaklardır. Etiket seri numarası ile ilintili rastgele eklenmiş bir zaman dilimi ile etiketler farklı zaman aralıklarında kullanılmış olacaklar ve çakışma oranı azalacaktır.

Çalışmanın akademik faydası iteratif yöntemlerde başlangıç değer problemine çözüm sağlamasıdır. Lineer olmayan hiperbol denklemlerinin lineer olan asimptot denklemleri kullanılarak iterasyon için başlangıç değerleri elde edilmektedir. Elde edilen başlangıç değerleri ile başlatılan iterasyon adımları ciddi oranda azalmaktadır. Üç çapa bir etiketten oluşan test ortamında bu iyileşme çok bir şey ifade etmese de onlarca çapa, yüzlerce etiketin olduğu gerçek bir sistem için çok önemlidir. Çalışma göstermektedir ki hiperbol kesişimleri ile asimptot kesişimleri arasında öklit mesafesi olarak yakınlık vardır. Aralarındaki matematiksel ifade kullanılarak hiperbol kesişimleri doğrudan asimptot kesişimleri ile bulunabilir bu da doğrusal olmayan çözümü doğrusal bir yöntemle çözmemizde yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Hameed A., Ahmed H. A., (2018), "Survey on indoor positioning applications based on different technologies", 12th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics, 512-518, Karachi, Pakistan, 5-8 June.
- [2] Shang J., Yu S., Zhu L., (2009), "Location-Aware Systems for Short-Range Wireless Networks", 2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology, 512-518, Wuhan, China, 1-4 October.
- [3] Farid Z., Nordin R., Ismail M., (2013), "Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System", Journal of Computer Networks and Communications, 47 (4), 28-40.
- [4] Zafari F., Gkelias A., Leung K. K., (2019), "A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies", IEEE Communications Surveys, 16 (6), 42-74.
- [5] Collin J., Mezentsev O., Lachapelle G., (2003), "Indoor Positioning System Using Accelerometry And High Accuracy Heading Sensors", Proceedings of GPS/GNSS 2003 Conference, 1-7, Portland, 9-12 May.
- [6] Gu Y., Lo A., Niemegeers I., (2009), "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks", IEEE Communications Surveys, 11(1), 13-32.
- [7] Mišić J., Milovanović B., Vasić N., Milovanović I., (2015), "An Overview of Wireless Indoor Positioning Systems", Infoteh-Jahorina, 23 (14), 301-306.
- [8] Oh J. H., Kim D., Lee B. H., (2014), "An Indoor Localization System for Mobile Robots Using an Active Infrared Positioning Sensor", Journal of Industrial and Intelligent Information, 2 (1), 35-38.
- [9] Want R., (1992), "The Active Badge Location System", ACM Transactions on Information Systems, 10 (1), 91-102.
- [10] Ahmad M. Y., Mohan A. S., (2009), "RFID reader localization using passive RFID tags", 606-609, Asia Pacific Microwave Conference, Singapore, 3-7 August.
- [11] Bagirathi S., Sankar S., (2016), "Tag detection in RFID system based on RSSI technique for LF and HF passive tags", International Conference on Communication and Signal Processing, 452-456, Melmaruvathur, 19-22 June
- [12] Xiao T. T., (2014), "Study Of Fingerprint Location Algorithm Based On Wifi Technology For Indoor Localization", 10th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 604 – 608, Nanchang, China, 11-14 October.

- [13] Zegeye W. K., (2016), "WiFi RSS fingerprinting indoor localization for mobile devices", IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON), 1-6, New York, 6-9 August.
- [14] Yang C., Shao H., (2015), "WiFi-based indoor positioning", IEEE Communications Magazine, 53 (3) 150-157.
- [15] Corral P., (2008), "Distance Estimation System based on ZigBee", 11th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering-Workshops, 405-411, San Paulo, 17-20 June.
- [16] Bjerknes J. D., (2009), "Low Cost Ultrasonic Positioning System for Mobile Robots", IEEE Communications Magazine, 74 (3) 150-157.
- [17] Barua B., (2017), "Indoor Localization With UWB and 2.4 GHz Bands", IEEE Communications Surveys, 43(17), 21-27.
- [18] He J., Li S., Pahlavan K., Wang Q., (2012), "A realtime testbed for performance evaluation of indoor TOA location system", IEEE International Conference on Communications (ICC), 482-486, Ottawa, 23-26 April.
- [19] Ciurana M., Cugno S., (2007), "WLAN indoor positioning based on TOA with two reference points", 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, 23-28, Hannover, 18-21 October.
- [20] Yen C., Voltz P. J., (2007), "Direct Location Estimation using Indoor Wireless Communication Systems", IEEE Long Island Systems Applications and Technology Conference, 1-5, NY, USA, 1-4 May.
- [21] Ciurana M., Barcelo F., Izquierdo F., (2007), "A ranging system with IEEE 802.11 data frames", IEEE Radio and Wireless Symposium, 133-136, Barcelona, Spain, 9-12 August.
- [22] Zhu S., Ding Z., Markarian Z., (2010), "TOA Based Joint Synchronization and Localization", 2010 IEEE International Conference on Communications, 1-5, Cape Town, 11-14 February.
- [23] Xu E., Ding Z., Dasgupta S., (2011), "Source Localization in Wireless Sensor Networks From Signal Time-of-Arrival Measurements", IEEE Transactions on Signal Processing, 59(6), 2887-2897.
- [24] Günther A., Hoene C., (2005), "Measuring Round Trip Times to Determine the Distance between WLAN Nodes", Telecommunication Networks Group Conference, 379-389, Berlin, Germany, 9-12 April.
- [25] Arrue N., (2010), "Design of an IR-UWB Indoor Localization System Based on a Novel RTT Ranging Estimator", International Conference on Sensor Device Technologies and Applications, 52-57, Barcelona, Spain, 19-22 December.

- [26] Wennervirta J., Wigren T., (2010), "RTT Positioning Field Performance", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59(7), 3656-3661.
- [27] Xiong H., (2010), "A Novel Indoor Localization Scheme", IEEE Transactions on Signal Processing, 41(3), 287-295.
- [28] Yu W., Gaubitch N. D., Heusdens R., (2018), "Distributed Tdoa-Based Indoor Source Localisation", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 6887-6891, London, UK, 3-6 July.
- [29] Park C., (2010), "AoA Localization System Design and Implementation Based on Zigbee for Applying Greenhouse", International Conference on Embedded and Multimedia Computing, 1-4, Cebu, 17-20 September.
- [30] Malajner M., Gleich D., Planinšič P., (2015), "Angle of Arrival Measurement Using Multiple Static Monopole Antennas", IEEE Sensors Journal, 15(6), 3328-3337.
- [31] Jameel F., Haider M. A., Butt A., (2017), "Robust localization in wireless sensor networks using RSSI", 13th International Conference on Emerging Technologies, 1-6, Islamabad, 16-19 March.
- [32] Zhu Y., Zhang B., Yu F., (2009), "A RSSI Based Localization Algorithm Using a Mobile Anchor Node for Wireless Sensor Networks", 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 123-126, Sanya, Hainan, 7-10 February.
- [33] Shen X., Yang S., He J., (2016), "Improved localization algorithm based on RSSI in low power Bluetooth network", 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things, 134-137, Dalian, 4-7 November.
- [34] Song L., (1994), "Automatic vehicle location in cellular communications systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 43(4), 902-908.
- [35] Patwari N., Hero A., Perkins M., Correal N., (2003), "Relative location estimation in wireless sensor networks", IEEE Transactions on Signal Processing, 51(8), 2137-2148.
- [36] Liu H., Darabi H., Banerjee P., (2007), "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, 37(6), 145-152
- [37] Ferreira A., Fermanda D., Catarino A. P., (2017), "Localization and Positioning Systems for Emergency Responders: A Survey," in IEEE Communications Surveys and Tutorials, 19(4), 2836-2870.
- [38] Tondwalkar A. V., Vinayakray P., (2015), "Terrestrial Localization by Using Angle of Arrival Measurements in Wireless Sensor Network", International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 188-191, Oslo, Norway, 13-16 June.

- [39] Tekdas O., Isler, V., (2010), "Sensor Placement for Triangulation-Based Localization", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 7(3), 681-685.
- [40] Zafari F., Gkelias A., Leung K. K., (2019), "A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies", IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2(6) 1-32.
- [41] Yang Y. E., Baldwin J., Smith, A., "Multilateration tracking and synchronization over wide areas", IEEE Radar Conference, 419-424, CA, USA, 12-15 April.
- [42] Sidorenko J., Negenborn N., Arens M., (2016), "Multilateration of the Local Position Measurement", International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 1-8, Alcalá de Henares, 18-21 September.
- [43] Lédeczi A., (2005), "Countersniper System for Urban Warfare," ACM Transactions on Sensor Networks, 1(2), 153–177.
- [44] Jan S., Jheng S., (2014), "Evaluation of Positioning Algorithms for Wide Area Multilateration based Alternative Positioning Navigation and Timing using 1090 MHz ADS-B Signals", 27th International Technology Meeting, 13-21, Taiwan, 25-28 May.
- [45] Kaitovic J., Eric M., (2012), "TDOA Localization In Ir Uwb Systems", International Vienna Conference, 118-121, London, UK, 3-6 November
- [46] Yasmine R., Pei L., (2016), "Indoor fingerprinting algorithm for room level accuracy with dynamic database", Fourth International Conference on Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location Based Services, 113-121, Shanghai, China, 21-24 July.
- [47] Thoen B., Wielandt S., Strycker L., (2018), "Fingerprinting Method for Acoustic Localization Using Low-Profile Microphone Arrays", International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 1-7, Nantes, 11-14 September.
- [48] Wang J., Liang X., Wei Shi, Niu Q., Gulliver T., (2015), "Fingerprinting localization based on 60 GHz impulse radio", IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, 491-495, Victoria, BC, 19-22 October.
- [49] Chabbar H., Chami M., (2017), "Indoor localization using Wi-Fi method based on Fingerprinting Technique", International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems, 1-5, Paris, France, 20-23 April.
- [50] Tsai T., Hsu C., Chiang H., (2018), "Mobile Localization-Based Service Based on RSSI Fingerprinting Method by BLE Technology", IEEE 8th International Conference on Consumer Electronics, 1-3, Berlin, Germany, 21-23 August.

- [51] Vuckovic M., Petrovic I., Vidovic D., Kostovic Z., (2011), "Space grid resolution impact on accuracy of the indoor localization fingerprinting", 19th Telecommunications Forum Proceedings of Papers, 321-324, Belgrade, 4-7 May.
- [52] Koweerawong C., Wipusitwarakun K., Kaemarungsi K., (2013), "Indoor localization improvement via adaptive RSS fingerprinting database", The International Conference on Information Networking, 412-416, Bangkok, 8-11 February.
- [53] Luo R. C., Hsiao T. J., (2019), "Dynamic Wireless Indoor Localization Incorporating With an Autonomous Mobile Robot Based on an Adaptive Signal Model Fingerprinting Approach", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(3), 1940-1951.
- [54] Lu X., Ho K. C., (2006), "Taylor-series technique for moving source localization in the presence of sensor location errors", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1075-1078, Island of Kos, 17-20 July.
- [55] Yu K., Guo Y. J., Oppermann I., (2008), "Modified Taylor Series Expansion Based Positioning Algorithms", IEEE Vehicular Technology Conference, 2656-2660, Singapore, 26-29 December.
- [56] Chan Y. T., Ho K. C., (1994), "A simple and efficient estimator for hyperbolic location", IEEE Transactions on Signal Processing, 42(8), 1905-1915.
- [57] Foy W. H., (1976), "Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 12(2), 187-194.
- [58] Fang B. T., (1990), "Simple solutions for hyperbolic and related position fixes", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 26(5) 748-753.
- [59] Friedlander B., (1987), "A passive localization algorithm and its accuracy analysis", IEEE Journal of Oceanic Engineering, 12(1) 234-245.
- [60] Cho S. H., Yeo S. R., Choi H. H., Park C., Lee S. J., (2012), "A design of synchronization method for TDOA-based positioning system", 12th International Conference on Control, Automation and Systems, 1373-1375, JeJu Island, 9-12 March.
- [61] Yoon Y., Kim J., Lee Y., (2012), "A TDoA-based localization using precise time-synchronization", 14th International Conference on Advanced Communication Technology, 1266-1271, PyeongChang, 16-19 June.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KURNAZ 1981 yılında Boyabat'ta doğdu. 2000 yılında başladığı Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2005 yılında başarıyla tamamlayarak, 2006 yılında Adam Elektronik'te gömülü sistem mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2010 yılında Adam Elektronik firmasında yazılım müdürlüğü görevini yürütmeye başladı. Aynı yıl Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında TÜBİTAK UEKAE Enstitüsünde başuzman araştırmacı olarak çalışmaya başladı. 2018 yılı ortasında Miltera Elektronik ve Yazılım Teknolojileri adında kendi firmasını kurdu