



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAPALI ALAN NAVİGASYON SİSTEMLERİ VE KULLANIMINA
YÖNELİK ÖRNEK BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Tufan ALTUNOK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR

TOKAT- 2022

ETİK SÖZLEŐME

Bu belge ile bu tezdeki bütün bilgi toplama ve raporlaştırma sürecinin Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'ne, Lisansüstü Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna, genel akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak gerçekleştirildiğini; bu tez çalışmasının “intihal engelleme” programı ile tarandığını, bana ait olmayan tüm bilgi, düşünce ve bulgulara atıf yaptığımı ve kaynağını gösterdiğimi beyan eder, sorumluluğun tarafıma ait olduğunu kabul ederim.

30/11/2022

Mustafa Tufan ALTUNOK

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR'a, öğrenim hayatım boyunca tercihlerimin, isteklerimin ve hedeflerimin arkasında duran, beni istediğim doğrultuda desteklemekten asla gocunmayan aileme, maddi manevi her zaman yanımda oldukları ve bunu hissettirdikleri için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Tufan ALTUNOK

TOKAT-2022

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mustafa Tufan ALTUNOK

2022

ÖZET

KAPALI ALAN NAVİGASYON SİSTEMLERİ VE KULLANIMINA YÖNELİK ÖRNEK BİR UYGULAMA

Altunok, Mustafa Tufan
Yüksek Lisans Tezi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir YAŞAR
Aralık 2022, x+ 44 Sayfa

Günümüzde hemen her şehirde ve büyük ilçelerde yüzlerce metrakare büyüklüğe sahip alışveriş merkezleri ve özellikle marketler vardır. Özellikle büyük alışveriş merkezlerinde müşteriler aradığı ürünü bulmakta zorluk çekmektedir. Bu geniş alanlarda müşterilerin veya ziyaretçilerin istedikleri lokasyonlara doğrudan, vakit kaybetmeden gitmesi zaman açısından büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla tavandan sarkıtılan veya reyon üzerlerine yapıştırılan yönlendirici levhalar uzaktan okunamamakta ve her açıdan görünmemektedir. Diğer taraftan müşterilerin alışverişlerini hızlıca yapmaları alışveriş merkezindeki yoğunluğu da azaltacaktır. Bu tez çalışmasında yukarıda sayılan bir kısım sorunların önüne geçmek amacı ile mobil bir robot tasarımı gerçekleştirilmiş olup uygulanabilirliği incelenmiştir. Sistemin maliyetini azaltmak için Arduino MEGA mikrodenetleyici kart kullanılmıştır. Motor üzeri enkoder, pusula ve ultrasonik mesafe sensörleri yardımıyla elde edilen veriler navigasyon amaçlı kullanılmıştır. Sensörlerin ürettiği değerleri filtrelemek için Kalman filtresi ve basit hareketli ortalama(SMA) metotları kullanılmıştır. Navigasyon için önce hareket planlama ve sonrasında en kısa yol bulma algoritması kullanılarak gidilecek yol belirlenmiştir. En kısa yol, Dijkstra algoritması yardımıyla bulunmuştur. Kullanıcı robotun üzerindeki tuşlara basmak suretiyle hangi reyona gitmek istediğini seçebilmektedir. Denemelerde seçilen yöntemin robotu en kısa yoldan istenilen reyona yönlendirdiği görülmüştür. Bu çalışmanın ekonomik olarak ileride marketlerde kullanılacak mobil robotlara örnek teşkil edeceği ve kapalı alan konum belirlemeye yönelik yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Konum Belirleme, Kapalı Alan Konum Belirleme, Robot, Arduino Mega, Hareket Planlama, En Kısa Yol Bulma Algoritması

ABSTRACT

A MODEL APPLICATION FOR INDOOR NAVIGATION SYSTEMS AND THEIR USAGE

Altunok, Mustafa Tufan

Master's Thesis, Department of Mechatronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ebubekir Yaşar

December 2022, x+ 44 pages

Today, in almost every settlement, there are shopping centers and especially markets with a size of hundreds of square meters. Especially in big shopping malls, customers have difficulty in finding the product they are looking for. In these large areas, it has a great importance in terms of time that customers or visitors go directly to the locations they want without wasting any time. For this purpose, the guiding boards suspended from the ceiling or pasted on the aisles cannot be read from a far and are not visible from every angle. On the other hand, customers' quick shopping will also reduce the density in the shopping center. In this thesis, a mobile robot design has been carried out in order to avoid some of the above-mentioned problems and its applicability has been examined. Arduino MEGA microcontroller board is used to reduce the cost of the system. The data obtained with the help of encoder, compass and ultrasonic distance sensors on the systems have been used for navigation purposes. Kalman filter and simple moving average (SMA) methods are used to filter the values produced by the sensors. For navigation, the route to be taken is determined by first using the motion planning and then the shortest path finding algorithm. The shortest path is found with the help of Dijkstra's algorithm. The user can choose which department he wants to go by pressing the buttons on the robot. It has been observed that the method chosen in the experiments directs the robot to the desired aisle in the shortest way. It is thought that this study will set an example for mobile robots that can be economically used in the markets in the future and will shed light on the studies to be carried out for indoor location determination.

Keywords: Navigation, Indoor Navigation, Robot, Arduino Mega, Motion Planning, Shortest Path Finding Algorithm.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	4
2.1. Kapalı Alan Konum Belirleme Çalışmaları	5
2.1.1. WLAN/WiFi ile konum belirleme	5
2.1.2.RFID ile konum belirleme	6
2.1.3. UWB ile konum belirleme	8
2.1.4. Bluetooth ile konum belirleme.....	9
2.1.5. ZigBee ile konum belirleme.....	10
2.1.6. Kızılötesi (infrared) ile konum belirleme.....	11
2.1.7. Ultrasonik teknik ile konum belirleme.....	12
2.1.8. Parmak izi tabanlı yöntemler	13
2.1.9. Kameralar ile konum belirleme.....	14
2.1.10. IMU (inertial measurement units) ile konum belirleme.....	15
2.1.11. Lidar ile konum belirleme.....	16
2.2 Performans Ölçütleri	17
2.2.1 Doğruluk	17
2.2.2 Hassasiyet.....	17
2.2.3 Karmaşıklık.....	18
2.2.4 Sağlamlık	18
2.2.5 Ölçeklenebilirlik.....	19
2.2.6 Maliyet	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1. Robotta Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	21
3.1.1. Arduino	21
3.1.2. 12 V 37 mm 330 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor	22
3.1.3. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü.....	24
3.1.4. HW-579 IMU sensörü modülü.....	24

3.1.5. BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü	26
3.1.6. 4x4 Membran tuş takımı – keypad.....	26
3.1.7. LM2596 ayarlanabilir voltaj düşürücü.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	29
4.1 Robotun Kasası	29
4.2. Reyon Yapısı.....	30
4.3. Gürültülerin Giderilmesi	30
4.3.1. Basit hareketli ortalama = Simple moving average (SMA)	30
4.3.2. Kalman filtresi.....	32
4.4. Yapılandırma Alanının Belirlenmesi	32
4.5. Reyonların Belirlenmesi ve Arduinoya Aktarılması.....	33
4.6. En Kısa Yol Bulma Algoritması (Dijkstra).....	36
4.7. Robotun Hareket Ettirilmesi	37
4.8. Robot Gezinme Algoritması	39
5. SONUÇ.....	40
6. KAYNAKLAR	41
7. ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kapalı alan gezinme teknikleri	4
Şekil 2.2. Yakın alanda 100 Mhz'den daha düşük frekanslarda etiketlerin güç/iletişim mekanizması	7
Şekil 3.1. Arduino mega 2560	22
Şekil 3.2. 12 V 37 mm 330 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor	23
Şekil 3.3. DC motora ait redüktör ve enkoder yapıları	23
Şekil 3.4. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü	24
Şekil 3.5. HW-579 IMU sensörü modülü	25
Şekil 3.6. BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü	26
Şekil 3.7. 4x4 membran tuş takımı – keypad	27
Şekil 3.8. LM2596 DC-DC ayarlanabilen gerilim düşürücü	28
Şekil 4.1. Robot kasası	29
Şekil 4.2. Robotu test amaçlı oluşturulan reyon yapıya ait resim ve yapılan testten görüntüler	30
Şekil 4.3. Farklı periyotlara sahip SMA değerlerinin gerçek değerleri temsil etmesi ..	31
Şekil 4.4. Solda yapılandırma alanı ve sağda serbest yapılandırma alanı(C_{free})	33
Şekil 4.5. Reyon adı ve koordinatlarının belirlendiği arayüz	36
Şekil 4.6. Graf gösteriminde düğüm ve kenarlar	37
Şekil 4.7. Robot hareket adımlarına ait şema	38
Şekil 4.8. Robot navigasyon algoritmasına ait şema	39

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Kapalı alan konum belirleme teknolojileri karşılaştırması.....	17
Çizelge 4.1. Reyon koordinatlarının EEPROM'a yüklenmesi	34
Çizelge 4.2. Keypad-Reyon ataması.....	35



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
Cm	Santimetre
g	Gram
GHz	Gigahertz
m	Metre
mA	Miliamper
Mbps	Mega Bits Per Second
MHz	Megahertz
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı
V	Volt

Kısaltmalar	Açıklama
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
DC	Direct Current
ICSP	In-Circuit Serial Programing
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMU	Inertial Measurement Units
IR	Infrared
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LIDAR	Light Detection and Ranging
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strengths
TDOA	Time Difference Of Arrival
TOA	Time Of Arrival
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
US	Ultrasonic
USB	Universal Serial Bus
UWB	Ultra Wide Band
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Networks
WSN	Wireless Sensor Network
3D	Three Dimensional

1. GİRİŞ

Her geçen gün robotların hayatımıza daha çok girmesi, verilen görevleri hızlı ve eksiksiz yapması ile mümkündür. Özellikle mobil robotlar servis amaçlı günlük hayatta daha fazla yer almaktadır. Mobil robotların görevlerini hızlı bir şekilde icra etmeleri kusursuz bir navigasyonla mümkündür. Bu çalışmada büyük bir markette kullanıcıyı istediği reyona hızlı bir şekilde götürebilen mobil bir alışveriş arabası tasarımı yapılacaktır.

Özellikle marketlerde müşterilerin alışverişini hızlı bir şekilde yapmaları, hem marketlerdeki müşteri yoğunluğu açısından önemli, hem de müşterilerin alışveriş için daha az zaman harcamaları anlamına gelmektedir. Hususan büyük market veya alışveriş dükkânlarında insan boyundan daha büyük reyonlar alışveriş zamanında istenilen reyonun doğrudan görülmesini engellediği için istenen reyona gitmek zaman kaybına neden olmaktadır. Bu amaçla özellikle markete yeni gelenlerin, yaşlıların, engellilerin ve alışverişini hızlıca yapmak isteyen kişilerin otonom hareket eden ve en kısa mesafede istenen reyona gidebilen mobil bir alışveriş arabasını kullanması gerekmektedir. Otonom hareket eden alışveriş arabaları aynı zamanda araba yön kontrolünü ve hareketini de içerdiğinden araba itme ve yönlendirmede problem yaşayan hastalar içinde oldukça büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Görme engelli müşterilerin kullanımı için gerekli düzenlemelerle engelleri aşan bir uygulama olacaktır. Son yıllarda bina içi navigasyonlarda pahalı navigasyon bileşenlerinden kamera ve LİDAR kullanımı yerine gelişen navigasyon teknikleriyle daha ucuz bileşenlerle otonom robotlar yapılmaktadır. Örneğin robot süpürgeler enkoder yardımıyla gezinmektedir. Ucuz sensörlerin kullanımı maliyeti azalttığı için bu durum birçok uygulamada otonom robotları daha da tercih edilebilir hale getirmiştir. Bu çalışmada maliyeti düşük sensör çeşitlerinden enkoder, IMU ve uzaklık sensörleri kullanarak daha az maliyetli bir otonom robot yapılacaktır. Robotun dinamik ve statik engellerden sakınması için ise üzerindeki üç yönlü(sağ, sol, ön) uzaklık sensörü ile kullanılmıştır. Engeli gören robot, yön değiştirip engelin yanından geçerek yoluna devam etmektedir.

Literatürde navigasyon çeşitlerine bakıldığında hedef ortama bağlı olarak açık alan, kapalı alan veya karma tip olarak sınıflandırılabilirler. Çalışmamızda alışveriş ortamları kapalı olduğundan alışveriş arabasını yönlendirmek için kapalı alan navigasyon teknikleri kullanılacaktır. En bilinen konumlandırma sistemlerinden Küresel Konum Belirleme Sistemleri / Global Positioning System (GPS), genellikle açık bir alanda nesnelerin konumunu belirlemek için kullanılır. Küresel Konum Belirleme Sistemleri, Küresel Uydu Sistemleri / Global Navigation Satellite System (GNSS) olarak adlandırılan uydulardan gelen sinyallerle çalışırlar. Bu sebeple GNSS'den gelen sinyaller engellerden geçerken zayıfladığı için kapalı alanlarda etkin olarak çalışmamaktadır. Bu nedenle kapalı alanlarda da konum belirleme sistemlerini aktif olarak kullanmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Kapalı alan konum belirleme sistemi; hastane, spor salonu, okul vb. gibi kapalı bir alandaki bir şeyin veya bireyin konumunu sürekli ve gerçek zamanlı olarak belirleyebilen bir sistemdir. Günümüzde açık alanlardan çok evler, ofisler, alışveriş merkezleri, marketler vb. yerler gibi kapalı alanlarda bulunmamız nedeniyle teknolojinin de hızla gelişmesi ile beraber kapalı alan konum belirleme sistemleri daha popüler bir hale gelmiştir. Kapalı alan konum belirleme sistemleri, kızılötesi (IR), ultrasonik sensörler, radyo frekansı tanımlama (RFID), kablosuz yerel alan ağı (WLAN), bluetooth, sensör ağları, ultra geniş bant (UWB), manyetik sinyaller, görüntü analizi gibi teknolojilere dayandırılarak çok sayıda farklı uygulaması mevcuttur.

Tüm kapalı alan navigasyon çeşitlerine bakıldığında sinyal tabanlı ve sensör tabanlı olmak üzere iki grupta sınıflandırabiliriz. Sinyal tabanlı teknolojiler sinyalizasyonun sağlanması için sabit sinyal bileşenlerinin alt yapıya dahil edilmelerini gerektirdiğinden ve bina içi duvarlar arası geçişlerde sinyal zayıflamaları dolayısı ile uygulamada pratik değildir. Tüm sensörlerin mobil robot üzerinde olduğu yaklaşım ise daha kullanımı kolay ve uygulanabilir görülmektedir. Sensörlerden LİDAR ve kamera kullanımı hem kendi hem de gerektirdiği bileşenler açısından diğer sensör tiplerine göre daha maliyetli olduğundan çalışmada bu sensörler kullanılmamıştır.

Yapılan çalışmada robot üzerinde bulunan uzaklık sensörleri, IMU ve enkoder yardımıyla robotun otonom şekilde gezinmesi sağlanacaktır. Alışveriş arabasının üzerine konulacak reyonları gösteren butonlarla beraber kullanımı kolay bir uygulama yapılması

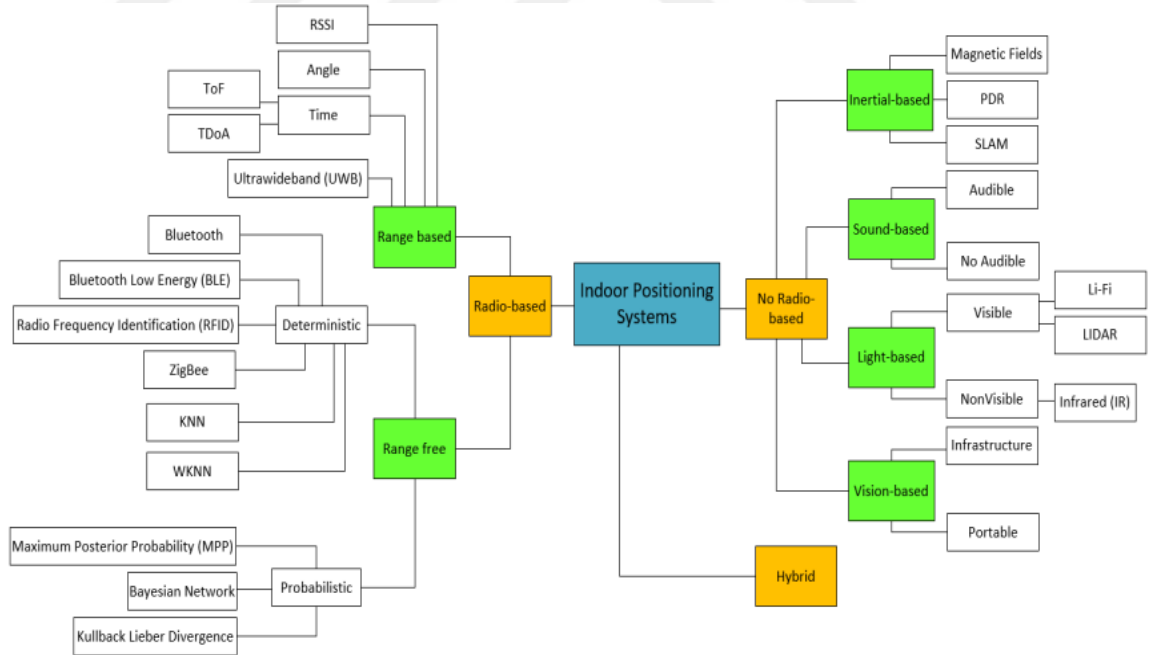
amaçlanmıştır. Kullanıcı gitmek istediği reyonun adının yazılı olduğu butona basarak en kısa yoldan o reyona gidebilecektir.

Bilindiği üzere her marketin iç düzeni birbirinden farklıdır. Kullandıkları reyon sayısı, boyutları, iç mekan alanı ve reyonların dizilimi gibi temel farklılıklar bulunmaktadır. Robotun markete uyarlanması amacıyla PC üzerinde marketin temsili planını oluşturmak için bir arayüz kullanılacaktır. Bu arayüz robota aktarılarak robotun markete adaptasyonu sağlanacaktır.



2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Kapalı alan konum belirleme sistemlerinde sinyal tabanlı ve sensör tabanlı birçok çalışma yapılmıştır. Tezin konusuna dair genelde hasta ve görme engeline sahip bireylerin hayatını kolaylaştırmak amaçlı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmada kapalı alan navigasyon için pahalı olmayan bileşenlerden oluşan bir gezinme tekniği geliştirilmiştir. Bu sayede bir çok market ve benzeri yerlerin geliştirilen ürünleri alabilmesi amaçlanmıştır. Ekonomik ürünlerle geliştirilmiş sistemler şüphesiz daha çok kişi ve kurum tarafından tercih edilir. Giriş bölümünde de değinildiği gibi örneğin robot süpürgelerin maliyeti ucuzladıkça daha da yaygınlaştığını görülmektedir. Kapalı alan navigasyonlarında LİDAR ve kamera kullanımını içeren teknikler diğerlerine göre daha pahalı bileşenler içerdiğinden bu çalışmada daha ucuz bileşenleri içeren bir navigasyon sistemi geliştirilmiştir. Aşağıda günümüze kadar yapılan navigasyon çalışmalarının bir sınıflandırması görülmektedir.



Şekil 2.1. Kapalı alan gezinme teknikleri (Simões ve arkadaşları 2020)

Bu tez çalışması kapsamında kapalı alan konumlandırma sistemi bir mobil robot üzerinde örneklendirilmiştir. Çalışmada mobil robotun üzerine yerleştirilmiş sensörler vasıtasıyla engellerden kaçarak yön tayini yapılması sağlanmıştır.

2.1. Kapalı Alan Konum Belirleme Çalışmaları

Literatürde Şekil 1’de gösterildiği üzere kapalı alan navigasyon çalışmaları temelde iki bölüme ayrılmaktadır. Sinyal tabanlı yöntemlerde sinyalizasyon alt yapı zorunluluğu olduğundan ve bina içi duvar, kolon ve eşyaların sinyal gücünü negatif yönde etkilemeleri sebebiyle çalışmamızda sensör tabanlı IMU ve enkoder kullanılmıştır. Literatürde geçen çeşitli kapalı alan navigasyon teknikleri başlıklar altında aşağıda verilmiştir.

2.1.1. WLAN/WiFi ile konum belirleme

WiFi tabanlı kapalı alan konum belirleme sistemlerini kullanmanın avantajlarından biri, ekstra yazılım yüklemeyen veya donanımı değiştirmeden hemen hemen her WiFi uyumlu cihazın konumunu bulmaktır. Bu avantaj nedeniyle, WiFi konum belirleme sistemleri, kapalı alan konum belirleme sistemleri arasında en yaygın yaklaşım haline gelmiştir. Günümüz teknolojisi, küçük boyutlu, hafif ve karmaşık olmayan kurulum ve ayarlarla kablosuz ağ kartı ürettiğinden, taşınabilir cihazlarla uyumlu hale getirilmesi de mümkündür. (İsmail ve ark., 2008)

2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) bandında çalışan WLAN (Wireless Local Area Networks, IEEE 802.11) standardı son yıllarda kurumsal ve kamu kuruluşlarında konum belirleme sistemleri arasında popüler hale gelmiştir. Tipik brüt bit hızı 11, 54 veya 108 Mbps ve 50-100 m aralığı ile IEEE 802.11 şu anda en yaygın yerel kablosuz ağ standardıdır. Bu nedenle, bir konum sunucusu ekleyerek kapalı alanda konum belirleme için de mevcut bir WLAN altyapısını kullanmak caziptir. RSS (received signal strengths) kullanan tipik WLAN konumlandırma sistemlerinin doğruluğu, birkaç saniye aralığındaki bir güncelleme hızı ile yaklaşık 3 ila 30 m arasındadır. (Liu ve ark., 2007)

Yan ve Shao (2015), yaptıkları çalışmada WiFi tabanlı bir konum belirleme tekniği sunmuşlardır. WiFi teknolojisinin kapalı ortamlarda yaygın olarak kullanılması sebebiyle önerilen sistemi, yakındaki çapa olarak birden fazla anteni olan bir erişim noktasına sahip bir WiFi sistemine uygulamışlardır. Konum belirleme cihazları olarak WiFi özelliğine

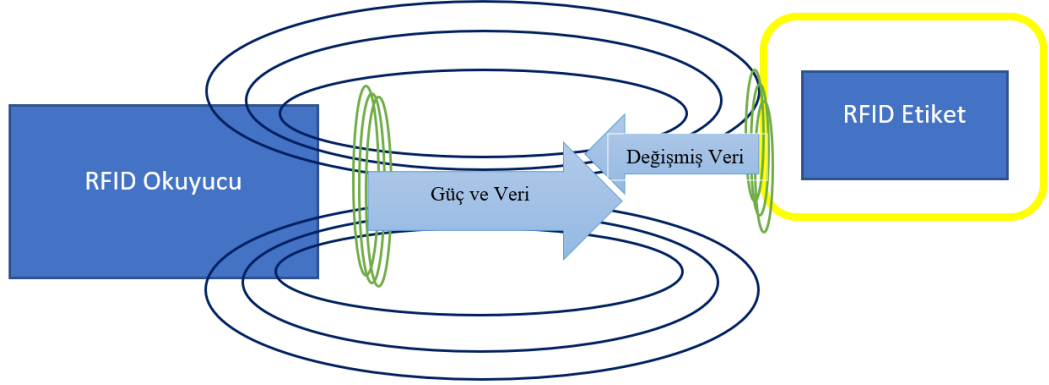
sahip akıllı telefonlar ve tabletlerin kullanılabilceği öngörmüşlerdir. Çalışmadaki simülasyon sonuçları, WiFi tabanlı kapalı alan konum belirleme sisteminin, ticari WiFi ürünlerinde herhangi bir donanım değişikliğine gerek duymaksızın 1 m doğruluk elde edebileceğini göstermiştir. Bu sonuç, maliyet ve sistem karmaşıklığının dengelenmesi açısından hem akademik hem de endüstrideki geleneksel çözümlerden çok daha iyi olduğu görölmüştür.

Lashkari ve ark. (2010), yapmış oldukları çalışmada WiFi teknolojisini kullanarak bir kullanıcının bina içindeki konumunu tahmin edebilecek bir mobil uygulama geliştirmişlerdir. Geliştirilen uygulama çevrimiçi ve çevrimdışı olarak iki aşamadan oluşmuştur. Çevrimdışı aşama, tüm erişim noktalarından RSS değerlerinin dağıtımlarını, işaretleme konumları olarak bilinen belirli noktalarda saklayan bir radyo haritası oluşturmayı içerir. Çevrimiçi aşamada, ise kullanıcı mobil uygulamayı başlattığında, sniffer bileşeni, algılanan tüm erişim noktalarından RSS değerlerinin örneğini toplar. Kullanıcının konumunu tahmin etmek için de toplanan bu veriler radyo haritasında karşılaştırılır. Prototip olarak geliştirilen bu uygulamanın gelecekte kapalı alan konum belirleme sistemleri arasında yer edinebilmesi için daha da geliştirilmesi gerektiği görölmüştür.

2.1.2.RFID ile konum belirleme

Radyo frekansı ile tanımlama (RFID), radyo frekans uyumlu bir entegre devreye elektromanyetik iletim yoluyla veri depolama ve geri getirmenin bir yoludur.

RFID teknolojisi, bir RFID okuyucu kullanılarak alınan bir kimlik numarasını kaydetmek için etiket veya aktarıcı adı verilen bir elektronik eleman kullanır. Okuyucu cihaz, bir mobil veya bir masaüstü bilgisayardan yönetilebilir (Tesorio ve ark., 2008). Şekil 2.2'de RFID teknolojisinin temel çalışma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yakın alanda 100 Mhz'den daha düşük frekanslarda etiketlerin güç/iletişim mekanizması (Want, 2006)

RFID etiketleri, sinyalin indüklenme şekline bağlı olarak pasif veya aktif olabilir (Tesorio ve ark., 2008). Pasif RFID etiketler pilsiz çalışır. Bir okuyucudan kendilerine iletilen RF sinyalini yansıtırlar ve yansıyan sinyali modüle ederek bilgi eklerler. Pasif etiketler esas olarak geleneksel barkod teknolojisinin yerini almak için kullanılır ve aktif etiketlerden çok daha hafif ve daha ucuzdur. Neredeyse sınırsız bir çalışma ömrü sunar, ancak okuma aralıkları çok sınırlıdır. Aktif etiketler hem bir radyo alıcı vericisi hem de alıcı-vericiye güç sağlamak için bir düğme pil içerir. Etiketle yerleşik bir radyo olduğundan, aktif etiketlerin pasif etiketlerden daha fazla menzili vardır. Aktif etiketler, zorlu bir montaj sürecinden geçen yüksek birim değerli ürünlerin tanımlanması için idealdir. Ayrıca, sabit ürün taşıyıcılarının kalıcı olarak tanımlanması için gerekli olan dayanıklılığı da sunarlar. (Ni ve ark., 2003)

Yapılan çalışmalar RFID teknolojisinin birçok avantajı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu teknolojinin temassız olması ve görüş hattında olmaması, tüm RFID sistem türleri arasında ortak olan önemli avantajlardır. Olağanüstü hızlarda çalışabilirler. Bazı durumlarda, RF etiketleri 100 milisaniyeden daha kısa sürede okunabilir. Gelecek vaat eden iletim aralığına sahiptirler ve maliyetleri uygundur. (Ni ve ark., 2003)

Saab ve Nakad (2010), yaptıkları çalışmada RFID teknolojisini kullanan bağımsız bir kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde nesne yolunun yanına

yerleştirilmiş düşük maliyetli pasif etiketleri okuyan bir RFID okuyucu modülü taşıyan bir nesne kullanılmıştır. Kalman filtresi kullanılan bu sistemle, birbirini izleyen iki etiket arasındaki boşluğun 1.2 m'ye ayarlandığı ve okuyucu yolu ile etiket düzeni yolunun 2 m'ye ayarlandığı bir deney yapılmıştır. Elde edilen mutlak konum hatalarının ortalaması yaklaşık 0.1 m ve mutlak etiket okuyucu mesafesi hatalarının ortalaması yaklaşık 0.055 m olarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ting ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada RFID pasif etiketleri kullanarak kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistemi test etmek amacıyla yapılan 90 denemeden sadece 6'sı yanlış sonuç vermiştir. Yani sistemin genel doğruluk payını %93 olarak hesaplamışlardır. Bu, kapalı alan konum belirleme sistemlerinde pasif RFID etiketleri kullanılmasında tatmin edici bir sonuçtur.

2.1.3. UWB ile konum belirleme

Ultra geniş bant (UWB), frekans spektrumunun merkez taşıyıcı frekansının % 20'sinden daha büyük bir bölümünü kaplayan veya 500 MHz'den daha büyük bir bant genişliğine sahip bir RF sinyali olarak tanımlanır. (Alarifi ve ark., 2016)

UWB ile konum belirleme teknolojisi, hedef ile referans noktası arasındaki mesafeyi elde etmek için esas olarak RF sinyallerinin varış zamanını (TOA) veya varış zaman farkını (TDOA) kullanır. Hassas aralıklandırma için çok uygundur. 10 cm'ye kadar sistemin doğruluğu olsa da UWB ekipmanının yüksek maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır. (Song ve ark., 2011)

Ridolfi ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada UWB teknolojisi ile sporcular için kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. İlk olarak, izlenecek mobil etiketin insan vücudundan en ideal yerleşim yerinin baş bölgesi olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmanın ikinci aşamasında, gerçek hayattaki ölçümlerden toplanan verileri kullanarak bir konum belirleme algoritması tasarlamışlardır. Bu algoritmayla sabit hızda koşma ve yürüme, hızlanma ve zıplama gibi çeşitli aktiviteler test etmişlerdir. 20 cm'lik konum tahminlerinde ortalama hatalarla birlikte, konum belirlemenin doğruluğu açısından iyi

sonuçlar göstermiştir. Bunun, UWB'yi dinamik atletik aktiviteleri izlemek için uygun bir yöntem olduğunu grmuşlerdir.

Kaniewski ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada UWB teknolojisi ile kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem iki grup modülden oluşur: işaretçiler (beacon) ve mobil istasyonlar. UWB modüllerinin bir kapalı konum belirleme sisteminde ne kadar başarılı çalışacağını görmek için deneyley yapmışlardır. Sonuçlar, UWB tabanlı konum belirleme sisteminin çeşitli koşullar altında başarılı bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir.

2.1.4. Bluetooth ile konum belirleme

Hemen hemen her Wi-Fi zellikli cep telefonu veya bilgisayar gibi cihazda yerleşik bir bluetooth modülü bulunur. Bluetooth, 2.4 GHz ISM bandında çalışır. Aygıtlar arasında bilgi alışverişi için bluetooth sağlamanın avantajı, bu teknolojinin yüksek güvenlikli, düşük maliyetli, düşük güçte ve küçük boyutlu olmasıdır. Her bluetooth etiketinin, bluetooth etiketini bulmak için kullanılabilen benzersiz bir kimliği vardır (Farid ve ark., 2013). Kapalı ortamda belirli alanlara yerleştirilen bu bluetooth etiketlerinden alınan sinyal güçleri, hareketli cihaz ile bluetooth etiketleri arasındaki uzaklığı tahmin etmek için kullanılır.

Bluetooth sensörü 10 saniyelik döngü sırasında 5 saniye boyunca sorgulama modunda kalamadığından, bluetooth cihazının gerçek zamanlı konum belirleme sistemleri için uygun olmayan bir gecikme süresi vardır. (Mautz, 2012)

Zhou ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada bluetooth 4.0'ı kullanarak kapalı alan konum belirleme sistemi tasarlamışlardır. 17 bluetooth işaretçisi kullanılarak yapılan deneyde, RSSI sinyal kaymasını ve çok problemini azaltmak için Bluetooth sinyalini yumuşatmak amacıyla Kalman filtresi kullanılmıştır. Geliştirilen sistem parmak izi tabanlı sistemle karşılaştırıldığında, doğruluğu ona çok yakın olduğu ve parmak izi tabanlı sisteme göre çok fazla kaynak tasarrufu sağladığı grlmüştr.

Bai ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada yaşlılar ve engelliler için bluetooth tabanlı bir kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. İzleme hedefi olarak kullanıcıya sürekli olarak sinyal gönderen bluetooth işaretçisi takılır. Algılama sistemi için de üzerine bluetooth antenleri monte edilen raspberry pi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar kapalı alan konum belirleme sistemleri için iyi bir doğruluk göstermiştir ayrıca sistemin yaklaşık maliyetinin 200 ABD doları olması onu ucuz maliyetli bir sistem yapmaktadır.

2.1.5. ZigBee ile konum belirleme

ZigBee, kısa mesafeli, düşük hızlı bir kablosuz ağ teknolojisidir. Bu teknoloji, binlerce küçük sensör tarafından iletişimin koordinasyonu ile konumlandırmayı başarır. Bu sensörler, radyo dalgaları tarafından benimsenen sensörler arasında geçen verileri aktarmak için çok az enerji gerektirir, bu nedenle iletişim çok verimli olur. (Song ve ark., 2011)

Şu anda, birçok kapalı alan konum belirleme sistemi WiFi, Ultrawideband, Bluetooth ve ZigBee gibi farklı kablosuz ağlara dayalı olarak çalışmaktadır. Bunların arasında, ZigBee, sensör ağları için çekici bir çözümdür çünkü lisanssız bir spektrumda ve düşük maliyetli bir şekilde çalışır ki bu, çoğu sensör uygulamasının ana düşüncesini oluşturur. Bir ZigBee ağı, bilinen fiziksel konumlara sahip birden fazla referans sensörü içerir. Kör sensör olarak da adlandırılan hedef düğüm, kablosuz bir cihaz olup referans sensörlere sinyaller gönderir (Yang ve ark., 2011). ZigBee teknolojisi, özellikle düşük güç tüketimi gerektiren ancak büyük veri hacmi gerektirmeyen uygulamalar için uygundur. Bir ZigBee düğümünün sinyal kapsama alanı açık alanda 100 m'ye kadar çıkarken kapalı ortamlarda 20 m ila 30 m'dir. (Mautz, 2012)

Uradzinski ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada ZigBee kullanarak parmak izi veri tabanında kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyde, konum belirleme sisteminin doğruluğu artırılabilir ve optimum durumda 0.51 m olarak hesaplanmıştır, böylece sistem binalarda, yeraltı madenlerinde veya diğer konum tabanlı hizmetlerde daha büyük bir alanda uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Larranaga ve ark (2010), yaptıkları çalışmada ZigBee teknolojisine dayalı hassas bir kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem, kalibrasyon ve lokalizasyon olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İstenen düğümün konumu merkezi sunucuda tahmin edilir ve daha sonra ağa dağıtılabilir. Merkezi bir işlem sunucusunun kullanılması, karmaşık algoritmaların uygulanmasına izin verirken, ZigBee ağı, sinyal seviyesi değerlerinin toplanmasına izin verir ve aynı zamanda, lokalizasyon hesaplaması için merkezi sunucuya veri sağlamak için kullanılır. Kör bir düğümün bulunması gerekiyorsa, sistem kalibrasyonu gerçekleştirir, böylece ortamdaki değişiklikler lokalizasyon aşamasında dikkate alınır ve böylece sistemi daha sağlam ve doğru hale getirir. Yapılan deneyde 3 m ortalama hata hesaplanmıştır yani geliştirdikleri sistemin umut verici sonuçları olduğu görülmüştür.

2.1.6. Kızılötesi (infrared) ile konum belirleme

Kızılötesi radyasyon (IR) konum belirleme sistemleri, kablosuz teknolojiyi kullanan en yaygın konumlandırma sistemlerinden biridir (Farid ve ark., 2013). Kızılötesi dalga boyları, görünür ışıktan daha uzun, ancak terahertz radyasyonunkinden daha kısadır. Bu nedenle, kızılötesi ışık çoğu koşulda insan gözü tarafından görülmez ve bu teknolojiyi, görünür ışığa dayalı kapalı alan konum belirleme sistemlerine kıyasla daha az müdahaleci kılar. (Mautz, 2012)

Kızılötesi ile konum belirleme yönteminin diğer kapalı alan konum belirleme sistemlerine göre avantajları mevcuttur. İlk olarak, IR ışını duvarların içinden geçmez, ardından sinyallerin oda içinde hapsedilmesi mümkündür. Dahası, IR teknolojisi, radyo elektromanyetik parazitinin olmamasıyla karakterize edilir ve iletilen IR sinyalinin gücü, yalnızca ilgilenilen alanı kapsayacak şekilde kolayca ayarlanabilir. Bununla birlikte, bazı dezavantajlar da vardır. Çok yönlü hatalar, konum belirleme sisteminin doğruluğunu büyük ölçüde azaltır ve IR tabanlı kapalı alan konum belirleme sistemleri, pahalı sistem donanımı ve bakım maliyetlerine sahiptir. Ayrıca, IR teknolojisinin düzgün çalışması için verici ve alıcı arasında bir görüş hattı gerekir. (Mainetti ve ark., 2014)

Lee ve ark (2004), yapmış oldukları çalışmada kızılötesi ışığı kullanarak kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu konum belirleme sisteminde, bilinen sabit konumlarda üç kızılötesi yayıcı yerleştirilir ve geliş açısı sensörü, her üç yayıcıdan gelen kızılötesi ışığın geliş açılarını ölçer. Böylece konumunu ölçmeye çalışan herkes, dış yardım olmadan mutlak konumlarını tahmin edebilir. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda sistemin mutlak konum bilgisine ihtiyaç duyan herhangi bir kapalı alan için uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Arai ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada kızılötesi işaretçileri kullanarak kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Bir perakende mağazası düşünülerek geliştirilen bu sistem, alternatif olarak bluetooth tabanlı bir sistemle karşılaştırılmış ve geliştirilen sistemin doğruluğunun 147 mm'lik hata ile daha iyi olduğu hesaplanmıştır.

2.1.7. Ultrasonik teknik ile konum belirleme

Elektromanyetik dalgaların aksine, ses, bir ortamdan iletilen bir basınç salınımı olan mekanik bir dalgadır. Konumlandırma sistemleri, hava ve yapı malzemesini yayılma ortamı olarak kullanır. (Mautz, 2012)

Ultrasonik (US) konum belirleme sistemleri, düşük sistem maliyeti, güvenilirlik, ölçeklenebilirlik, yüksek enerji verimliliği ve en önemlisi odalar arasında sıfır sızıntı olması açısından diğer kapalı alandaki konum belirleme sistemlerine göre daha avantajlıdır. US kapalı alan konum belirlemeleri, santimetre düzeyinde doğrulukla ince taneli konum sağlar. US sistemleri, aynı anda birden fazla mobil düğümü de izleyebilir, yani birçok kullanıcıya aynı anda hizmet verebilir. (Ijaz ve ark., 2013)

Yücel ve ark. (2012), 4 m²'lik bir kapsama alanı içerisinde ultrasonik ve kızılötesi sinyalleri beraber kullanan bir konum belirleme sistemi tasarlamış ve uygulamışlardır. 2 boyutlu olarak tasarladıkları bu sistemde yaklaşık 20 ölçüm yapmışlar, sistemin maksimum hatasını 2 cm'den az olarak bulmuşlardır.

Priyantha ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışma ile MIT’de geliştirilen CRICKET adında kapalı alan konum belirleme sistemini incelemişlerdir. CRICKET radyo frekansı ve ultrason teknolojilerini beraber kullanarak konum belirleme işlemini yapar. Sistemin çalışabilmesi için biri işaretçi ve diğeri dinleyici olmak üzere en az iki cihaza ihtiyaç duyulur. Konum belirleme yapılacak alanda herhangi bir yere monte edilebilen küçük cihazlar olan işaretçiler, bulunduğu alan bilgilerini dinleyicilere göndermekle görevlidir. İşaretçiler ise gelen bu bilgileri konum belirleme işlemi için kullanır. Yapılan çalışmada CRICKET sisteminin en önemli özelliğinin merkezi bir kontrol birimine ihtiyaç duymaması olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin ucuz ve hata toleransının düşük olduğu görülmüştür.

Schweitzer ve Syafrudin (2010), yapmış oldukları çalışma ile LOSNUS (localization of sensor nodes by ultrasound) adı verilen kapalı alan konum belirleme sistemini incelemişlerdir. LOSNUS 10 mm’ye kadar yüksek doğruluk sunar. Özellikle, sistemi iyileştirmeye olanak sağlayan sensör / aktüatör cihazlarıyla bir kablosuz sensör ağında (WSN) statik cihazların konum belirleme işlemi için tasarlanmıştır.

2.1.8. Parmak izi tabanlı yöntemler

Parmak izi tabanlı yöntem, ortamda var olan sinyal kaynaklarını kullanarak nesnenin konumunu sınıflandırma yöntemleri ile tespit eder. Parmak izi yöntemi, maliyeti düşük ve uygulama alanı geniş olduğundan kapalı ortamlarda çok fazla tercih edilmektedir (Karabey, 2015). Parmak izi yöntemi için iki aşama mevcuttur: çevrimdışı aşama ve çevrimiçi aşama. Çevrimdışı aşamada, bir ortamda bir saha araştırması yapılır. Yakındaki baz istasyonlarından / ölçüm birimlerinden konum koordinatları / etiketleri ve ilgili sinyal güçleri toplanır. Çevrimiçi aşamada ise, bir konum belirleme tekniği, tahmini bir konumu bulmak için hali hazırda gözlemlenen sinyal güçlerini ve önceden toplanan bilgileri kullanır. (Liu ve ark., 2007)

Diğer tekniklerle ilişkili fiziksel ve teknolojik sınırlamalar sebebiyle, parmak izi şemaları, kapalı alanlarda konum belirlemek için en uygun çözüm olmaya devam etmektedir. Nesnelerin konumu, pasif gözlem ve geometrik açılara veya mesafelere karşılık gelmeyen

özellikler kullanılarak bulunabilir. Geometrik niceliklerin ölçülmesi genellikle hareket veya sinyallerin yayılmasını gerektirir, her ikisi de mahremiyeti tehlikeye soakabilir ve daha fazla güç gerektirebilir. Ve ayrıca mobil cihazlarda herhangi bir donanım değişikliği gerektirmemesi bir başka önemli avantajıdır. Dezavantajı ise; üzerinde çalışılan alanda yapılacak herhangi bir değişiklik, oluşturulan veri tabanında da bazı değişiklikler yapılmasına ya da veri tabanının tamamen değiştirilmesine sebep olur. (Kolodziej ve Hjelm, 2006)

Othman ve ark. (2018), yapmış oldukları çalışmada radyo frekansları kullanılarak parmak izi tabanlı kapalı alanda konum belirleme yöntemlerini çevrim içi ve çevrim dışı olarak karşılaştırdılar. İki boyutlu olarak gerçekleştirilen deneylerde, çevrim içi parmak izi yöntemi çevrim dışı parmak izi yöntemine göre %23'e varan oranda daha iyi bir doğruluk sağlamıştır. Yine yapılan deneyler sonucunda çevrim içi parmak izi yöntemi çevredeki yapı değişikliklerine daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.

2.1.9. Kameralar ile konum belirleme

Kameralar yardımıyla konum belirleme yöntemi, görüntülerdeki nesnelere algılanmasına ve bu nesnelere kapalı alanın iç kısmının konum bilgilerini içeren veri tabanı ile eşleştirilmesine dayanır. Bu yöntemin en önemli avantajı, sensör işaretçilerinin yerleştirilmesi gibi altyapı kurulumuna gerek duyulmamasıdır. Başka bir deyişle, referans düğümleri bir dijital referans noktası listesi ile değiştirilir. Buna göre, bu sistemler, çok fazla bir maliyet artışı olmaksızın geniş ölçekli kapsama potansiyeline sahiptir. (Mautz, 2012)

Ravi ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada akıllı bir telefonda anlık olarak alınan görüntülerden kullanıcının konumunu saptamışlardır. Uygulama için en pahalı kısım uzak sunucu ve depolaması gereken veri miktarı yeterince büyük olan, fotoğraf ve fotoğrafların konum bilgilerinin tutulduğu veritabanı olmuştur. Uygulamayı kullanacak kişilerin farklı fiziki özelliklerde olacağı düşünülerek her bir noktanın farklı yüksekliklerden ve açılardan çekilen fotoğrafları, konum bilgileri ile beraber oluşturulan bu veri tabanına kaydedilmiştir. Kullanıcı hareket ederken anlık olarak telefonda çekilen

fotoğraflar ve konum bilgisi uzak sunucuya göndermişlerdir. Gelen fotoğraf ve konum bilgileri veritabanında karşılaştırılmakta ve eşleşme gerçekleştiğinde konum belirlenebilmektedir. Çalışmada, kullanıcının konumunun %80'den fazla başarı olasılığı ile doğru bir şekilde belirlemişlerdir.

Elloumi ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışma ile akıllı bir telefonun kamerasını kullanarak kapalı alanda konum belirleme için mobil uygulama geliştirmişlerdir. Görüntü yakalama, konumu hesaplamak ve kullanıcıyı yönlendirmek için kullanılan tek bilgidir. Geliştirilen algoritma, kapalı alan konum belirlemeyi iki adımda gerçekleştirir: ilki çevrimdışı bir eğitim aşaması, eğitim yolu boyunca anahtar çerçeveler seçerek bir referans rota tanımlar. Daha sonra konum belirleme aşamasında, mevcut görüntüdeki ve referans görüntüdeki kamera yönelimleri karşılaştırılarak kullanıcının yaklaşık fakat gerçekçi bir konumu gerçek zamanlı olarak tahmin eder. Ayrıca bu sistem, yalnızca boyuna asılan veya vücut koşum takımına sabitlenen bir akıllı telefon gerektirdiği ve eller serbest bir şekilde kullanılabilirdiği için başta görme engelliler olmak üzere engellilerin de rahatlıkla kullanabileceği araç olabileceği görülmüştür.

2.1.10. IMU (inertial measurement units) ile konum belirleme

IMU'lar (atalet ölçüm birimleri) tipik olarak sırasıyla açısal hız ve doğrusal ivmeyi ölçen üç ortogonal hız jiroskopu ve üç ortogonal ivmeölçer içerir. Bu cihazlardan gelen sinyalleri işleyerek, bir cihazın konumunu ve yönünü izlemek mümkündür (Woodman, 2007).

Woodman ve Harle (2008), yapmış oldukları çalışma ile ayağa monte edilmiş IMU ile kapalı alanda konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Üç kata yayılan 8725 m²'lik bir binada zamanın %75'inde 0.5 m'ye ve zamanın %95'inde 0.73 m'ye kadar hassasiyette kullanıcının takip edilebileceğini göstermişlerdir.

Lu ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada, göğüse monte edilmiş IMU ile geliştirdikleri kapalı alan konum belirleme sistemi sunmuşlardır. Ayrıca, konum belirleme ve yön doğruluğunu iyileştirmek için partikül filtrelemeye dayalı verimli bir

harita eşleştirme algoritmasını da sisteme entegre etmişlerdir. Mevcutta kullanılan çoğu algoritmadan farklı olarak, geliştirdikleri bu harita eşleştirme algoritması çok katlı binalarda kullanılabilen 3 boyutlu navigasyon için tasarlanmıştır. Ve geliştirdikleri bu sistemde 800 metrelik yürüme mesafesinde 5.2 m hata elde etmişlerdir.

2.1.11. Lidar ile konum belirleme

Lidar (Light Detection and Ranging), çevresindeki nesnelerin yerlerini ışık kullanarak belirleyen radar benzeri bir sensördür. Açık havada, GPS için daha az uydu sinyali engelleme potansiyeli varken, lidar sınırlı tarama aralığı nedeniyle daha az ölçüm yapma eğilimindedir. Kapalı ortamlarda ise GPS, uyduların görüş hattını kaybederken, lidar ölçümleri zengindir. Bu nedenle, lidarı kapalı alan konum belirleme sistemlerine entegre etmek ve üzerinde düzeltmeler yapmak mümkündür (Gao ve ark., 2015).

Xiong ve ark. (2016), yapmış oldukları çalışmada, düşük maliyetli lidar ve ucuz bir web kamerasına dayalı uygun maliyetli bir kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Aynı zamanda, sistem, yüksek verimliliğe sahip olan ve ışık girişiminin yoğunluğundan vb. etkilenmeyen, navigasyon engelinden kaçınmada lidar konumlandırma ve navigasyonun avantajlarını kullanır. Görev yürütme sürecinde herhangi bir manuel müdahale, konum hatası ve konum kaybına karşı iyi bir sağlamlığa sahip olduğu görülmüştür.

Li ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada, 2B çizgi taramalı lidar ile basit bir dijital kamera kullanarak bir kapalı alan konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Her iki cihaz da robotik bir servo üzerine sağlam bir şekilde monte edilmiştir. Lidar ve kamera arasındaki dönüşüm matrislerini elde etmek için referans hedef tabanlı dışsal kalibrasyon uygulanmıştır. Dönüşüm matrisine dayanarak, kameradan gelen renkli görüntüleri lidar'dan gelen 3D nokta bulutuyla birleştirmek için kayıt oluşturmuşlardır. Tüm sistem kurulumu, 3D lidar ve çok yönlü kamera kullanan sistemlere kıyasla çok daha ucuzdur. Ofis binası gibi kapalı ortamlarda gerçekleştirilen deneyler, çalışmanın umut verici sonuçlarını göstermiştir.

Kapalı alanda konum belirlemek için kullanılan teknolojilerin karşılaştırılması çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Kapalı alan konum belirleme teknolojileri karşılaştırması (Farid ve ark., 2013)

Sistem	Doğruluk	Güç tüketimi	Maliyet	Açıklama
Wi-Fi	1 m – 5 m	Yüksek	Düşük	1. Her yerde altyapı mevcut. 2. İlk kurulumu maliyetli. 3. Çoklu yola az duyarlı.
RFID	1 m – 2 m	Düşük	Düşük	1. Gerçek zamanlı konum tespiti. 2. Tepki süresi yüksek. 3. Manuel programlama.
Bluetooth	2 m – 5 m	Düşük	Yüksek	1. Veri aktarım hızı yüksek. 2. Hareketlilik sınırlamasına sahip.
ZigBee	3 m – 5 m	Düşük	Düşük	1. Düşük veri aktarım hızı. 2. Düğümler çoğunlukla uykuda.
Kızılötesi	1 m – 2 m	Düşük	Orta	1. Kısa mesafe tespiti. 2. Çoklu yola duyarsız.
Ultrasonik	3 cm – 1 m	Düşük	Orta	1. Çevreye duyarlı. 2. Çoklu yola duyarsız.

2.2 Performans Ölçütleri

Kapalı sistemlerde konum belirlemede performanslar incelenirken konum tespit doğruluğunun yanında hassasiyet, karmaşıklık, sağlamlık, ölçeklenebilirlik, ve maliyet gibi ölçütlere bakılmaktadır. Bu ölçütler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.1 Doğruluk

Doğruluk, gerçek konum ile hesaplanan konum arasındaki hataların ortalaması olarak ifade edilebilir ve en önemli performans ölçütüdür (Yücel ve ark, 2014). Bulunan değerler ne kadar düşükse o kadar yüksek doğruluk var demektir. Doğruluk da ne kadar yüksekse sistem o kadar kaliteli demektir.

2.2.2 Hassasiyet

Doğruluk, yalnızca ortalama mesafe hatalarının değerini dikkate alırken hassasiyet, sistemin ne kadar tutarlı çalıştığını göz önünde bulundurur; yani, birçok denemede

performansındaki farklılığı ortaya çıkardığı için konum belirleme sisteminin sağlamlığının bir ölçüsüdür. (Liu ve ark., 2007). Hassasiyet diğer bir deyişle aynı giriş değerleri için sistemin çıkış değerlerinin birbirine olan yakınlığını ifade eder.

2.2.3 Karmaşıklık

Karmaşıklık, konum belirleme sisteminde kullanılan teknikler ve altyapısı ile ilgilidir. Bazı ölçümler için konum belirleme sisteminin karmaşık bir yapısı olması gerekebilir. (Yücel ve ark, 2014)

Bir konum belirleme sisteminin karmaşıklığı, yazılımı, donanımı ve operasyon faktörleri ile ilgilidir. Konum belirleme algoritmasının hesaplanması, merkezi bir sunucu tarafından gerçekleştirilirse, güçlü işleme kapasitesi ve yeterli güç kaynağı sayesinde konum belirleme hızlı bir şekilde hesaplanabilir. Mobil birim tarafında gerçekleştirilirse, karmaşıklığın etkileri ortaya çıkabilir. Mobil birimlerin çoğu güçlü işlem gücünden ve uzun pil ömründen yoksundur; bu nedenle, düşük karmaşıklığa sahip konumlandırma algoritmalarını tercih ederiz. Genellikle, farklı konum belirleme tekniklerinin analitik karmaşıklık formülünü türetmek zordur; bu nedenle hesaplama süresi dikkate alınır. Konum oranı, karmaşıklığın önemli bir göstergesidir. İkili konum oranı, bir mobil hedefin yeni bir konuma hareket etmesi ve bu hedefin yeni konumunu sistem tarafından bildirmesi arasındaki gecikme olan konum gecikmesidir. (Liu ve ark., 2007)

2.2.4 Sağlamlık

Konumlan belirleme için kullanılan bir vericinin sinyali bloke olması, veya arızalanması, ortamdaki nesnelere yerlerinin değişmesi gibi sistemde oluşabilecek hatalardan ya da ortam değişimlerinden en az etkilenmek şeklinde ifade edilebilir. (Yücel ve ark, 2014)

Yüksek sağlamlığa sahip bir konum belirleme sistemi, bazı sinyaller mevcut olmadığında veya RSS değerinin veya açı karakterinin bir kısmı daha önce hiç görülmediğinde bile normal şekilde çalışmaya devam edebilir. Bazen, bir verici ünitesinden gelen sinyal tamamen engellenir, bu nedenle sinyal bazı ölçüm birimlerinden alınamaz. Konumu

tahmin etmek için tek bilgi, diğer ölçüm birimlerinden gelen sinyaldir. Bazen bazı ölçüm birimleri zorlu bir ortamda çalışmayabilir veya hasar görebilir. Konum belirleme sistemleri, konumu hesaplamak için bu eksik bilgileri kullanmak zorundadır. (Liu ve ark., 2007)

2.2.5 Ölçeklenebilirlik

Ölçeklenebilirlik, hemen hemen her sistemde, sistemin daha fazla sayıda konum isteği ve daha geniş bir kapsam ile çalışırken ne kadar iyi performans gösterdiğini öneren istenilen bir özelliktir. Yetersiz ölçeklenebilirlik, sistemlerin yeniden tasarlanmasını veya tekrarlanmasını gerektirecek şekilde zayıf sistem performansına neden olabilir. Ölçeklenebilir bir konum belirleme sistemi, gereksiz baskı olmadan çok sayıda etiketi işleyebilmelidir. (Farid ve ark., 2013)

Bir sistemin ölçeklenebilirlik karakteri, konumlandırma kapsamı genişlediğinde normal konum belirleme işlevini sağlar. Genellikle, verici ile alıcı arasındaki mesafe arttığında konum belirleme performansı düşer. Bir konum belirleme sistemi, coğrafya ve yoğunluk olarak iki eksende ölçeklenmesi gerekir. Coğrafi ölçek, sistemin kapsama alanını ifade eder. Yoğunluk ise bir zaman periyodunda birim coğrafi alan başına düşen birimlerin sayısı anlamına gelir. Diğer bir ölçeklenebilirlik ölçüsü, sistemin boyutsal alanıdır. Mevcut sistem nesnelere 2 boyutlu veya 3 boyutlu uzayda bulabilir. Bazı sistemler hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu alanları destekleyebilir. (Liu ve ark., 2007)

2.2.6 Maliyet

Maliyet, özellikle ticarileştirilmesi düşünülen konum belirleme sistemleri için en önemli performans ölçütüdür. Sadece para maliyeti olarak değil, zaman, hacim, ağırlık ve enerji tüketimi boyutları ile de ele alınmalıdır (Yücel ve ark., 2014). Bir konum belirleme sisteminde kazanılan maliyet, ekstra altyapı maliyeti, ek bant genişliği, kullanım ömrü, ağırlık, enerji ve uygulanan teknolojinin doğasından kaynaklanabilir. Maliyet, dağıtım süresi boyunca kurulum ve araştırma süresini içerebilir. (Farid ve ark., 2013)

Enerji, bir sistemin önemli bir maliyet kalemidir. Elektronik ürün koruma (EAS) etiketleri ve pasif RFID etiketleri gibi bazı mobil birimlerde enerji tamamen pasiftir. Bu birimler yalnızca dış alanlara yanıt verir ve bu nedenle kullanım ömrü sınırsızdır. Diğer mobil ünitelerin (ör. şarj edilebilir pilli cihazlar), şarj edilmeden birkaç saatlik kullanım ömürleri vardır. (Liu ve ark., 2007)

Kapalı alan navigasyon sistemlerinin yaygınlaşmasını sağlamak ve avantajlarından faydalanmak için ekonomik olarak üretilmesi gerekmektedir. Bu tür sistemlerin maliyetleri düştükçe kullanım alanlarının ve oranlarının artacağı açıktır. Bu noktadan hareketle bu çalışmada uzaklık sensörleri ve pusula yardımıyla arduino kullanarak düşük maliyetli bir kapalı alan navigasyon sistemi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada önceden lokasyonları bilinen bir alanda engellerin ve çalışma alanının içerisinde otonom gezebilen bir robot prototipi geliştirilmiştir. Bu robot üzerindeki butonlardan girilen reyon numarasına göre müşteriyi ilgili reyonlara götüren bir görevi üstlenmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Robotta Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Arduino

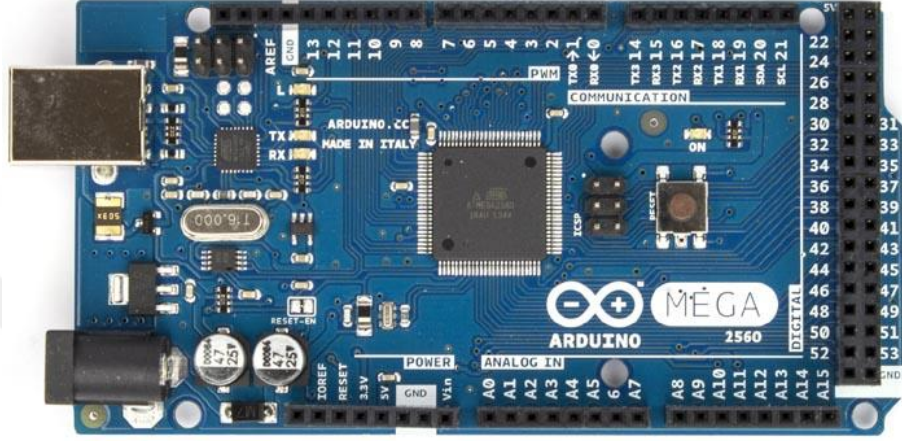
Arduino, üzerinde 8 bit ve 32 bit mikrodenetleyici bulunan açık kaynak kodlu çeşitli sistemlerin tasarlanabildiği bir platformdur. Analog ve dijital verileri işleyebilen girişlere sahiptir. Diğer cihazlardan gelen verileri alıp ışık ses gibi yeni veriler üretebilir. Kolay programlanabilirliği, düşük maliyeti, zengin kütüphane desteği, çeşit zenginliği ve donanım eklentisi gibi avantajlarından ötürü mühendislik ve temel bilim projelerinde sıklıkla tercih edilir. Uno, mega, nano, yun ve leonardo gibi çeşitleri vardır (Uysal, 2019).

Arduino, birlikte uyum içerisinde çalışan yazılım ve donanım katmanlarından oluşur. Programlanabilir giriş ve çıkışlarını kullanarak etrafındaki dünyayla etkileşime girebilen oldukça standart bir yerleşik mikro denetleyiciye sahiptir. Ayrıca bilgisayarlarla kolayca iletişim kurmak için bir USB bağlantı noktasına ve denetleyiciye sahiptir. Bu USB bağlantısı ve bağlantı kablolarının kolayca sökülüp takılması için uygun soketler, arayüz kartı tasarımında yüksek düzeyde kullanılabilirlik sağlar (Evans, 2011).

Arduino bileşenleri, geliştirme ortamı olarak arduino bootloader, arduino kütüphaneleri ve arduino üzerinde bulunan yazılım ve denetleyicilerden oluşmaktadır. Arduino yazılımı, kütüphanelerden ve geliştirme ortamlarında oluşmaktadır. C, C++ ve java dilinde yazılmış olup GNU derleyicisi tarafından derlenmesiyle oluşur. Donanımı ucuzdur, yazılımı açık kaynaklıdır. Bluetooth kullanılarak veri yolu üzerinden gerekli bağlantılar yapılarak kurulumu gerçekleştirilmektedir. Örnek prototipler oluşturmada oldukça kullanışlıdır. Hem dijital hem de analog sinyaller işlenebilir. Bilgisayarlar ile de çok hızlı bir şekilde haberleşebilmesi arduinoyu çok avantajlı kılmaktadır (Aksu, 2010).

Hazırlanan robotta Arduino uno'dan sonra en çok tercih edilen ve robotun ihtiyacını karşılayabilecek pin sayısına sahip Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Meganın 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilen 54 tane dijital giriş çıkış pini vardır. Bunun yanı sıra 16

adet analog girişi, 4 UART (donanım seri port), USB bağlantısı, bir adet 16 MHz kristal osilatörü, power jakı, ICSP başlığı ve reset tuşu mevcuttur. Arduino Mega 2560 bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenin tümünü içermektedir. Arduino uno gibi bir bilgisayara bağlanarak, bir adaptör ile ya da pil ile çalıştırılabilir (Anonim, 2021). Şekil 3.1’de bir arduino mega 2560 gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Arduino mega 2560 (Anonim, 2021)

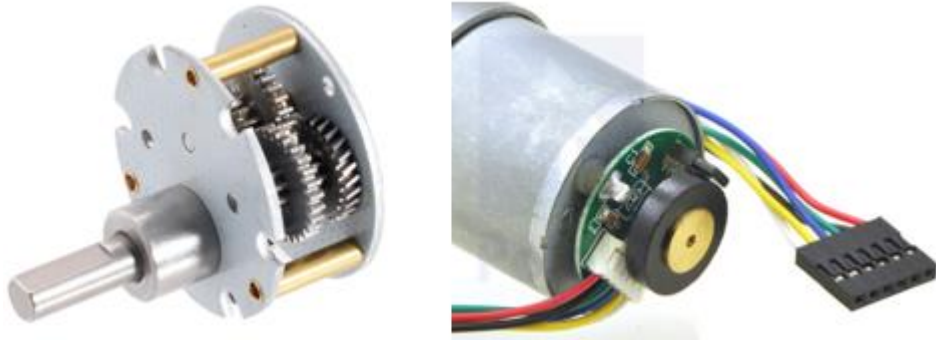
3.1.2. 12 V 37 mm 330 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor

Robotta sağ arka ve sol arka tekerlerde 2 adet olarak kullanılan bu motor; 330 RPM tur sayısına, 30:1 redüksüyon oranına sahip ve 12 voltta çalışmaktadır. Motorun dönme hızı ve tur sayısı arttırılarak hassas şekilde kontrol edilmesini sağlayan enkoder motorun arka kısmında bulunmaktadır. 6 mm motor mil çıkışına sahip bir şafta sahiptir. Boştayken motor 150 mA akım eker ve zorlanma torqu 8 kg.cm’dir ve bu değer robotun tüm ihtiyaçlarını karşılar. Şekil 3.2’de kullanılan motor gösterilmiştir.



Şekil 3.2. 12 V 37 mm 330 RPM Enkoderli 30:1 Redüktörlü DC Motor

Motor yapısında pozisyon kontrolü için enkoder ve hızı düşürmek ve torku artırmak için ise bir redüktör kullanılmıştır. Bunlar, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. DC motora ait redüktör ve enkoder yapıları

3.1.3. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

Robotun sağ ön köşesine, sol ön köşesine ve önüne olmak üzere 3 adet yerleştirilen HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü, arduino geliştiricileri arasında en fazla tercih edilen uzaklık sensörüdür. 5V ile çalışan 15mA akım çeken bu sensör, diğer ultrasonik sensörler gibi ses dalgalarının gidip gelme sürelerini ölçerek mesafe ölçümü yapar. Minimum 2 cm ve maksimum 400 cm görme menziline sahiptir. Şekil 3.4’de kullanılan ultrasonik sensör gösterilmiştir.



Şekil 3.4. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

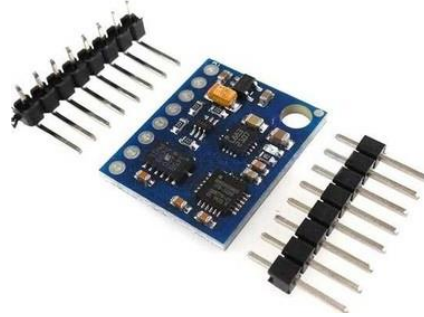
Ultrasonik sensörler, ses dalgalarını kullanarak mesafe ölçen devre elemanlarıdır. Hedef nesneye ses dalgaları gönderir ve geri yansımayı elektrik sinyallerine dönüştürür. Yolladığı ses dalgalarını frekans aralığı 20 kHz ile 500 kHz arasındadır. Bizim kullandığımız HC-SR04’ün ses dalga frekansı ise 40 kHz’dir. Bir ultrasonik sensör mesafe hesaplamasını $Yol=Hız * Zaman$ formülünde türetilen;

$$L = 1/2 \times T \times C$$

Yukarıdaki formülde L: mesafe, T: zaman, C: ses dalga hızı olan 343 m/s sabit değerdir(Akgul, 2021).

3.1.4. HW-579 IMU sensörü modülü

IMU, merkezi işlem birimine gönderilen açısal hız ve doğrusal ivme verilerini tek bir modülde birleştiren bir elektronik birimdir. Robotta kullanılan HW-579 IMU sensörü modülü; jiroskop modülü, açı sensörü ve ivme sensörü kombinasyonundan oluşur. Şekil 3.5’de kullanılan HW-579 IMU sensörü modülü gösterilmiştir.



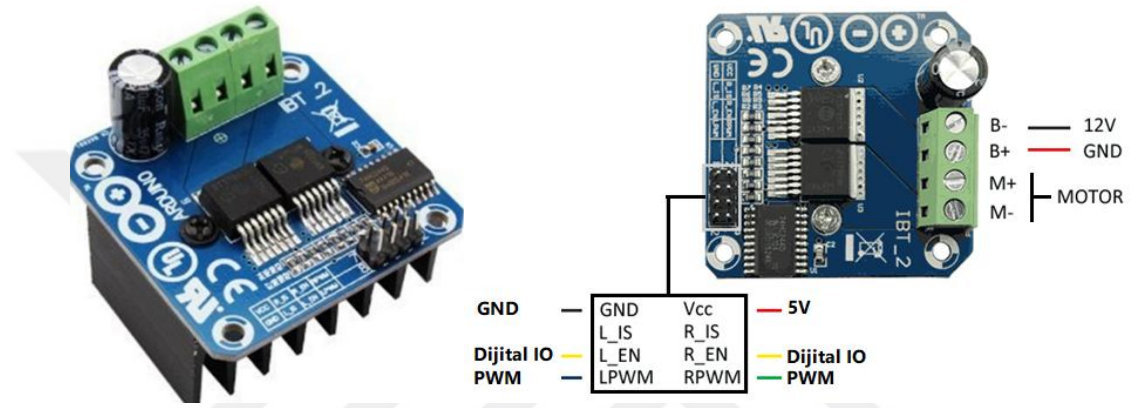
Şekil 3.5. HW-579 IMU sensörü modülü

HW-579 sensörü yapısında üç adet sensör içeren ve toplamda 9 eksenli bir paket sensördür. Yapısında ITG3200 + ITG3205 + ADXL345 + HMC5883L alt sensörleri vardır.

- **ITG3200:** Oyunlar ve 3 boyutlu uzaktan kontrol uygulamaları için geliştirilmiş dünyanın ilk tek çipli, dijital çıkışlı ve 3 eksenli MEMS gyro IC'sidir. Kullanıcı kalibrasyonu ihtiyacını azaltan hassas sıcaklık kararlılığı ve gelişmiş sapmaya sahiptir. Ek özellikleri arasında gömülü bir sıcaklık sensörü ve %2 doğruluğa sahip dahili osilatör bulunur.
- **ADXL345:** Yüksek çözünürlüklü ölçüme sahip küçük, ince, düşük güçlü ve 3 eksenli bir ivmeölçerdir. Dijital çıkış verileri, 16 bitlik ikili tamamlayıcı olarak biçimlendirilir ve bir SPI (3 veya 4 telli) veya I2 C dijital arabirimi aracılığıyla erişilebilir. Mobil cihaz uygulamaları için çok uygundur. Eğim algılama uygulamalarında yerçekiminin statik ivmesini ve ayrıca hareket veya şoktan kaynaklanan dinamik ivmeyi ölçer. Yüksek çözünürlüğü, 1.0°'den daha az eğim değişikliklerinin ölçülmesini sağlar.
- **HMC5883L:** Düşük maliyetli pusula ve manyetometri gibi uygulamalar için dijital bir arayüze sahip düşük alanlı manyetik algılama için tasarlanmış yüzeye monte, çok çipli bir modüldür. Diğer manyetik sensör teknolojilerine göre avantajlar sağlayan Anizotropik Manyetoresistif (AMR) teknolojisini kullanır. Bu anizotropik, yönlü sensörler, eksen içi yüksek hassasiyet ve doğrusallık özelliğine sahiptir. Bu sensörlerin çok düşük çapraz eksen hassasiyetine sahip katı hal yapısı, mili-gauss'tan 8 gauss'a kadar dünya'nın manyetik alanlarının hem yönünü hem de büyüklüğünü ölçmek için tasarlanmıştır.

3.1.5. BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü

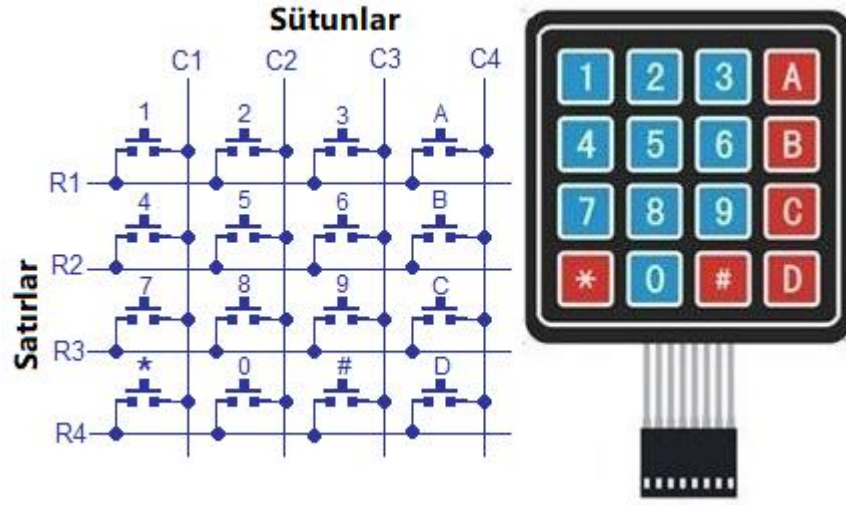
40 ampere kadar olan motorları sürebilen BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü hazırlanan robotta kullanılmıştır. Büyük soğutucusuyla ek bir soğutucuya ihtiyaç duymayan bu sürücüye 28 V'a kadar voltaj uygulanabilir. Şekil 3.6'da kullanılan BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü gösterilmiştir.



Şekil 3.6. BTS7960B 40 amper motor sürücü modülü

3.1.6. 4x4 Membran tuş takımı – keypad

Müşterinin istediği reyonu gidebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Üzerindeki reyon tuşuna basarak robotun navigasyon sistemi için girdi sağlanır. Boyutları 68,9x76x0,8mm olan 4x4 membran tuş takımı montaj kolaylığı sebebiyle hazırlanan robotta kullanılmıştır. 4 satır ve 4 sütun toplam 16 butona sahiptir. 16 buton 8 pin ile arduionun dijital io uçlarına bağlanarak kullanılır. Satır ve sütun tarama şeklinde çalışır. Kablo uzunluğu 85 mm ve ağırlığı 7 g olan keypad Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

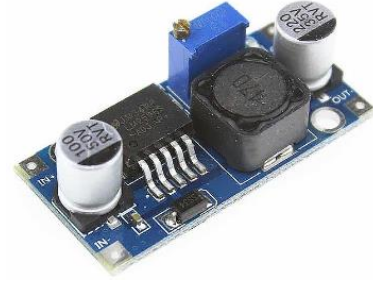


Şekil 3.7. 4x4 membran tuş takımı – keypad

Tuş takımının 4 pini giriş ve 4 pini çıkış olarak bağlanır. Çıkış olan satır pinleri tek tek aktif edilerek sütunlardan gelen bilgiye bakılır. Bu bilgiye göre kullanıcının hangi tuşa bastığı anlaşılır.

3.1.7. LM2596 ayarlanabilir voltaj düşürücü

Sensörlerin besleme gerilimini sağlamak ve bir de aküden gelen 12 voltu 7 volta dönüştürerek arduinoyu beslemek amaçlı iki adet kullanılmıştır. Kullanılan 6 adet sensörü Arduino üzerindeki 5 V pininden beslemek arduinonun fazla ısınmasına neden olacağından ayrıca beslemek yerinde olacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalarda arduino üzerindeki gerilim regülatörü AMS1117 SMD 5 V çipinin arduino boşta iken bile ısındığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak >12 V akü geriliminin arduino çalışma geriliminden daha fazla olması olarak saptanmış ve arduino beslemesi 7,5 V civarına düşürülerek bu sorun giderilmiştir. Kullanılan LM2596 ayarlanabilir voltaj düşürücü Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. LM2596 DC-DC ayarlanabilen gerilim düşürücü

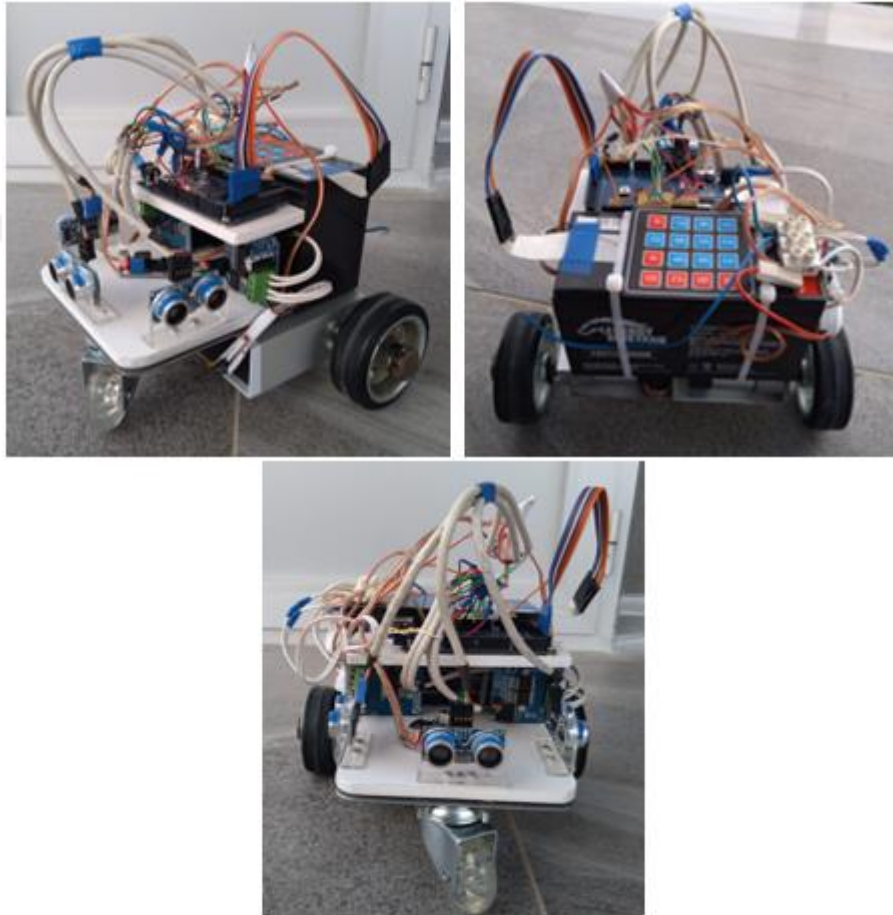


4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Robotun yapısı ve çalıştırılması için hazırlanan ortama ait bilgiler aşağıda yer almaktadır.

4.1 Robotun Kasası

Robot önünde bir adet sarhoş teker, arka kısmında enkoderli servo motorları monte ettiğimiz 7,4 cm çapında iki adet teker ve iki katlı kasadan oluşmaktadır. Ön teker civatalarla monte edilmiş olup arka tekerler ise klips ve sıcak silikonla sabitlenmiştir. Robot iki katlı olarak tasarlanmış ilk katta devre elemanlarını taşımaktadır. Şekil 4.1'de robotun kasası gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Robot kasası

4.2. Reyon Yapısı

3X3 = 9 m²'lik bir alanda karton kolilerle oluşturulmuş olan reyonlar Şekil 4.2'te gösterilmiştir. Robotun rahatlıkla gezinebilmesi amacı ile reyonlar arası boşluk ortalama 48 cm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.2. Robotu test amaçlı oluşturulan reyon yapıya ait resim ve yapılan testten görüntüler

4.3. Gürültülerin Giderilmesi

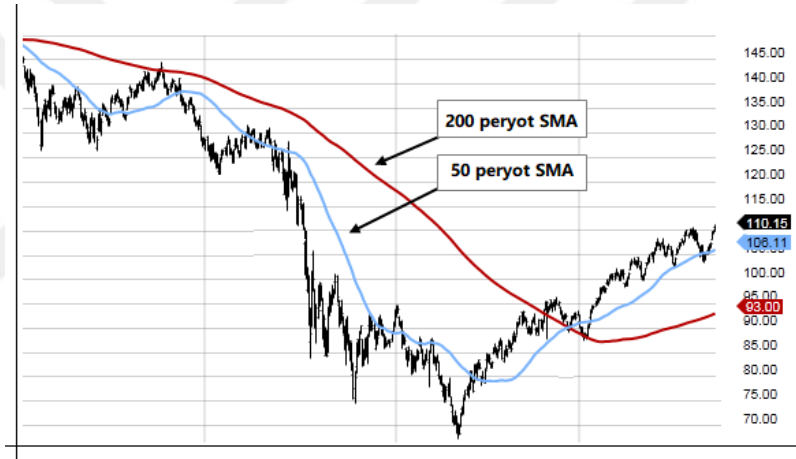
Çalışmada kullanılan sensörlerden pusula ve mesafe ölçerlerle yapılan ardışıl ölçümlerde ortamdan ve devrenin kendi yapısından kaynaklanan gürültülerin giderilmesi için iki farklı filtre kullanılmıştır.

4.3.1. Basit hareketli ortalama = Simple moving average (SMA)

Hareketli ortalamalar, teknik analizdeki temel göstergelerden biridir ve çeşitli farklı versiyonları vardır. SMA, inşa edilmesi en kolay hareketli ortalamadır. Sadece belirtilen n sayıda ortalama değerden oluşur. Ortalamaya "hareketli" denir, çünkü ortalama değer

değiştikçe grafik boyunca hareket eden bir çizgi oluşturarak grafik çubuğunda çubuklarla değişken ortalama değerler çizilir.

SMA basit olarak istenen sayıda verinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanır. SMA değeri kaç değerın ortalamasından oluşuyorsa yanına sayısal olarak yazılarak bu değer ifade edilir. Örneğin SMA50 yazımı, 50 verinin toplanarak 50'ye bölünmesini(ortalamasını) ifade eder. SMA periyodunun değerinin) uzun tutulması istenmeyen gecikmelere neden olabilir ve ani değişimlerin çıkışa yansımaması veya etkisinin azalması sonucunu doğurur. Veriye ve birim zamandaki ihtiyaca göre periyodun belirli bir seviyede bırakılması gerekir.



Şekil 4.3. Farklı periyotlara sahip SMA değerlerinin gerçek değerleri temsil etmesi

Şekil 4.3'te farklı periyotlara sahip SMA değerlerinin gerçek değerleri temsil etmesi gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında düşük periyoda sahip SMA değerinin değişimleri daha iyi temsil ettiği görülmekle beraber iki noktada uzun periyotlu değer ile çakıştığı görülmektedir. Periyot değeri düşükçe gürültü giderme performansı düşerken, yüksek periyotlarda gürültü giderme performansı artar, bunun yanında aşırı periyot değerlerinde ise gerçek değerleri izleyememe durumu ortaya çıkmaktadır.

4.3.2. Kalman filtresi

Macar asıllı olan ve Amerikalı matematikçi Rudolf Kalman tarafından bulunmuştur. Kalman Filtresi, dinamik değişen parametrelerin durumlarına göre, bir sonraki durumlarını tahmin etmek üzere tasarlanmıştır. Kalman filtresi dinamik çıkışlara sahip ve kesin kanının mümkün olmadığı durumlarda kullanılır. Bir nevi tahmin amaçlı kullanılır. Burada kalman filtresi giriş ve çıkışlara bakarak sistemin çalışmasının anlaşılmasına yardımcı olur. Doğrudan ölçülmeyen ve kesinliği elde edilememiş parametrelerin gerçek değere yakın tahmin edilmesini sağlar. Kalman filtresinde bir önceki çıktı, bir sonraki iterasyonun girdisini oluşturur. Aslında filtreden çok tahmin edicidir.

4.4. Yapılandırma Alanının Belirlenmesi

Matematikte bir konfigürasyon uzayı, fizikteki durum uzayları veya faz uzayları ile yakından ilişkili bir yapıdır. Fizikte bunlar, tüm sistemin durumunu yüksek boyutlu bir uzayda tek bir nokta olarak tanımlamak için kullanılır. Durum uzayında robotun engellere çarpmadan güvenli bir şekilde ilerlemesi ve istenen noktaya gidebilmesi için yol planlamada robotun hacmini nokta büyüklüğüne çeviren bir yaklaşımdır. Matematikte, bir topolojik uzaydaki konumlara bir nokta koleksiyonunun atamalarını tanımlamak için kullanılırlar. Daha spesifik olarak, matematikteki konfigürasyon uzayları, birkaç çarpışmayan parçacığın özel durumunda, fizikteki konfigürasyon uzaylarının belirli örnekleridir.

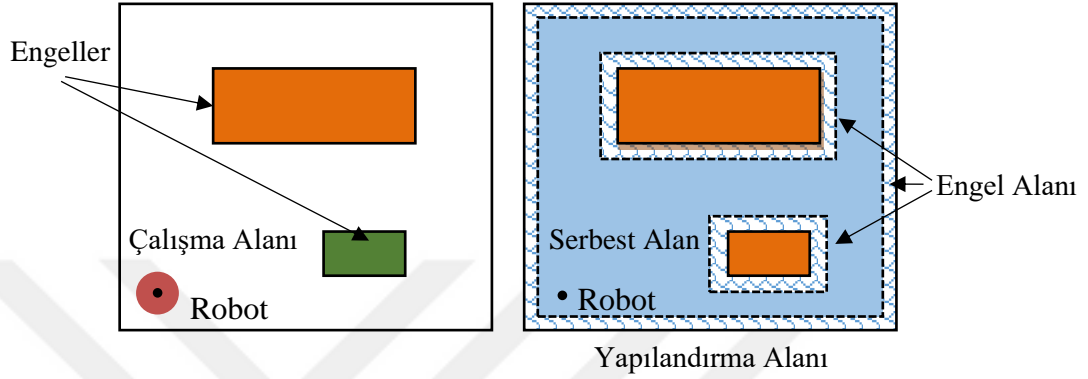
Robota ait yapılandırmayı tanımladığımızda aşağıdaki ifade oluşmaktadır.

$$R(x, y) = \{(x', y') \mid (x - x')^2 + (y - y')^2 \leq r^2\} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki ifadeden (x, y) parametrelerinin dairesel robota ait yapılandırmayı hesaplamak için yeterli olduğu görülmektedir (Choset ve ark, 2005). Yapılandırma alanı, çalışma alanında engellerin ve çalışma alanını çevreleyen kenarlara sıfır mesafede kaydırılarak elde edilir.

Yuvarlak geometriye sahip örnek robotun referans noktası merkezi seçilmiştir. Yapılandırma alanı iki bileşenden; engel alanı ve serbest alandan oluşur. Bu cümle matematiksel olarak yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$C_{Space} = C_{Free} + C_{Obstacles} \quad (4.2)$$



Şekil 4.4. Solda yapılandırma alanı ve sağda serbest yapılandırma alanı(C_{free})

Şekil 4.4'te gösterilen serbest alan robot için olası hareket alanıdır. Robot noktasal cisim kabul edildiği takdirde, serbest alanda her (x,y) noktası, robotun hareket planlamaya dahil edilebilecek olası gidilebileceği koordinatlardır (Yaşar, 2016).

4.5. Reyonların Belirlenmesi ve Arduinoya Aktarılması

Reyon koordinatları Arduino üzerindeki EEPROM hafızaya yazılmaktadır. Arduino Mega toplamda 4096 Byte EEPROM hafızaya sahiptir. Bir hafıza en fazla 255 tamsayısını alabildiğinden cm cinsinden düşünüldüğünde en fazla 255 cm mesafe yazılabilir. Bunu artırmak için 10 cm hata ile en fazla 25.5 m bir mesafe hafızanın gözlerine yazılabilir. Dolayısı ile bir reyonun orta kısmı x ve y ile tanımlanarak EEPROM hafızaya yazılmıştır.

Çizelge 4.1. Reyon koordinatlarının EEPROM'a yüklenmesi

EEPROM adresi	Saklanan veri
0	Reyon sayısı
1	Engel reyon sayısı
2	X eksenine derece karşılığı LSB
3	X eksenine derece karşılığı MSB
4-5	Reyon1-X,Y değeri
6-7	Reyon2-X,Y değeri
...	...

Reyonlardan sonraki hafızalar engel oluşturan reyonların sol üst ve sağ alt köşe koordinatları

.....

4Byte	Engel Reyon1(X ₁ Y ₁)(X ₂ Y ₂)
4Byte	Engel Reyon2(X ₃ Y ₃)(X ₄ Y ₄)
...	...

EEPROM hafızanın ilk iki baytın birincisi, dış kenarlarda olan ve ikincisi ise ortada olan toplam reyon sayısıdır. Diğer iki bayt ise pusula sensörü X eksenini gösterirkenki derece miktarıdır. Bu sayede hafızadaki engel olan reyonların nerede başladığı ve bittiği belirlenmiştir. Mağazanın kenarlarında bulunan reyonlar dışında ortada kalan reyonları birer dikdörtgen yapıda düşünerek tüm reyonların hafızada tanımlanmasından sonra EEPROM da tanımlanmıştır. Çizelge 4.1'de EEPROM adresi ve saklanan veri gösterilmiştir.

Kullanıcı tarafında ise tuş üzerlerine reyon isimlerinin yazılması ve arka planda sırasıyla o reyonlara tuş takımından dönen sayıların atanması sağlanmıştır. Çizelge 4.2'de keypad-reyon ataması gösterilmiştir. EEPROM daki reyon adresi aşağıdaki formül ile hesaplanır. EEPROM daki Reyon adresi = (Reyon no x 2) + 4 formülü ile hesaplanır.

Çizelge 4.2. Keypad-Reyon ataması

Reyon adı(Tuş adı)	Reyon No	KeyPad No
Süt Ürünleri	0	0
Soslar	1	1
Cipsler	2	2
Makarnalar	3	3
Bakliyat	4	4
İçecekler	5	5
Çay - Şeker	6	6
Yağlar	7	7
Şarküteri	8	8
Bisküvi-Çikolata	9	9
Temizlik Ürünleri	10	10
Peçete Havlu	11	11
Yumurta-Sucuk	12	12
Konserve-Salça	13	13
Bal-Reçel	14	14
Pasta Malzemeleri	15	15

Robot için uygulanacak mekanda reyonların konumlarının belirlenmesi amacıyla arayüz oluşturulmuş olup Şekil 4.2’de örnek bir reyon yerleşim düzeni gösterilmiştir. Arayüz C#’da hazırlanmıştır. Arayüz çalıştırılırken ilk olarak odanın ölçüleri “ODA ÇİZİMİ” kısmından en ve boy ölçüleri girilerek oda bir panel olarak çizilmektedir. Daha sonra reyon boyutları “REYON BOYUTU” bölümünden girilmekte olup yerleştirilecek reyonun en ve boyu girilerek gerçekleştirilmektedir. Bir panel üzerine reyonlar butonlar ile sürüklenilerek yerleştirilmektedir. Reyonların konumları panel ölçüleri oda büyüklüğü olarak kabul edilmiş, odanın sol üst köşesi X=0, Y=0 noktasına göre konum bilgisi yerleştirilen buton üzerinde otomatik olarak görüntülenmektedir. İkinci kısımda Arduino Mega bilgisayara bağlanarak konum bilgileri yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Arayüz üzerinden port numarası ve bant genişliği seçilerek “Bağlan” butonuna tıklanarak

hat açılmaktadır. Herhangi bir bağlantı olmadığı durumlarda ya da Arduino dan bilgi alınmadığında “Hat Kapalı” durumu Label üzerinde gösterilmiş olup hat kapalı iken “Gönder” butonuna basılarak konum bilgisi gönderilmek istediğinde mesajbox ile uyarı mesajı görüntülenmekte hat kapalı iken yükleme yapılamamaktadır bilgisi ekranda çıkmaktadır. Arduino bilgisayar bağlanıp “Bağlan” butonuna basıldığında sağda bulunan Label da “Hat Açık” bilgisi görüntülenebilmektedir. Konumlarına yerleştirilen reyonların X ve Y koordinat bilgisi “Konumları Çek” butonu ile listbox da görüntülenmektedir. Ayrıca “Konumları Temizle” butonu ile konum bilgileri sıfırlanabilmekte herhangi bir reyonda değişiklik yapıldığında tekrar konum bilgileri “Konumları Çek” butonu ile tekrar çekilebilmektedir. Şekil 4.5’te oluşturulan arayüz gösterilmiştir.

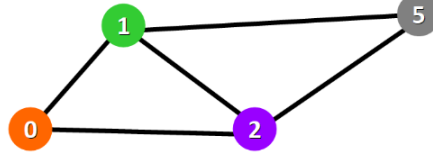


Şekil 4.5. Reyon adı ve koordinatlarının belirlendiği arayüz

4.6. En Kısa Yol Bulma Algoritması (Dijkstra)

Literatürde en kısa yol bulma algoritmaları arasında A*, Bellman–Ford, Euclidean, Floyd–Warshall, Johnson ve Dijkstra algoritmaları sayılabilir. Bu algoritmalar düğümler arası mesafelere bakarak başlangıç noktasından hedef noktaya doğru en kısa yolu bulmaktadır. Dijkstra'nın algoritması, bir grafiğin herhangi iki köşesi arasındaki en kısa yolu bulmamızı sağlar. Bu algoritmaya girdi olarak graph yapı uygulanır. Graflar, eleman çiftleri arasındaki "bağlantıları" temsil etmek için kullanılan veri yapılarıdır. Bu

elemanlara düğüm denir. Gerçek hayattaki nesnelere, kişileri veya varlıkları temsil ederler. Düğümler arasındaki bağlantılara kenar denir.



Şekil 4.6. Graf gösteriminde düğüm ve kenarlar

Şekil 4.6'da gösterilen şekle göre düğümler renkli dairelerle, kenarlar ise bu daireleri birbirine bağlayan çizgilerle temsil edilir. Bir market içerisinde reyonların yeri sabit olduğundan düğüm değerleri ve kenarlar arduino'ya yüklenmelidir ve bu işlem reyon tanımlama uygulaması arayüzü üzerinden yapılmaktadır.

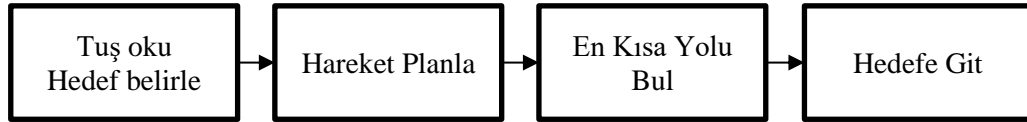
Dijkstra algoritmasının temelleri;

- Dijkstra Algoritması temel olarak seçtiğiniz düğümde (kaynak düğüm) başlar ve bu düğüm ile grafikteki diğer tüm düğümler arasındaki en kısa yolu bulmak için grafiği analiz eder.
- Algoritma, her bir düğümden kaynak düğüme şu anda bilinen en kısa mesafeyi takip eder ve daha kısa bir yol bulursa bu değerleri günceller.
- Algoritma, kaynak düğüm ile başka bir düğüm arasındaki en kısa yolu bulduğunda, bu düğüm "ziyaret edildi" olarak işaretlenir ve yola eklenir.
- İşlem, grafikteki tüm düğümler yola eklenene kadar devam eder. Bu şekilde, her bir düğüme ulaşmak için mümkün olan en kısa yolu izleyerek kaynak düğümü diğer tüm düğümlere bağlayan bir yolumuz olur.

4.7. Robotun Hareket Ettirilmesi

Robota ait hareket adımları Şekil 4.7'de gösterilmiştir. İşin yazılım tarafında hareket planlama ve en kısa yol bulma algoritmaları yoğun olarak yer tutmaktadır. Kullanıcı gitmek istediği reyonu tuş yardımıyla yazılıma girdi olarak uygular. Ardından gitmek istediği yer için bir hareket planlama gerçekleştirilir. Hareket planlama masaüstü uygulamasında yapılan bir adım olup reyonlar yerleştirildikten sonra icra edilir. Hareket planlama sonrasında robotun serbestçe hareket edeceği noktalar belirlenir. Bu noktalara

düğüm (nodes) ismi verilmektedir. Ardından bu düğümler en kısa yol bulma algoritmasına girilir ve birbirine bakan en kısa yolu oluşturan düğümler belirlenir. Robot bu aşamada bulunduğu pozisyonu ayarlar ve gereken kadar döner. Sonrasında ise ilk iki düğüm arasını kat eder ve düğümler bitene kadar bu işlem devam eder.



Şekil 4.7. Robot hareket adımlarına ait şema

Şekil 4.7’de gösterilen adımların icrası sırasında kullanılan hazırlanan robot üzerinde üç adet ultrasonik sensör bir adet Arduino Mega 2560, bir adet pusula içeren IMU sensörü, bir adet keypad bulunmaktadır. Robot konumunu, üzerindeki uzaklık sensörleri ve pusula yardımıyla bulmaktadır. Tuş takımı ile girilen reyon seçimine ait koordinatlar EEPROM üzerinden alınarak bulunulan yerden o koordinatlara gidilmektedir.

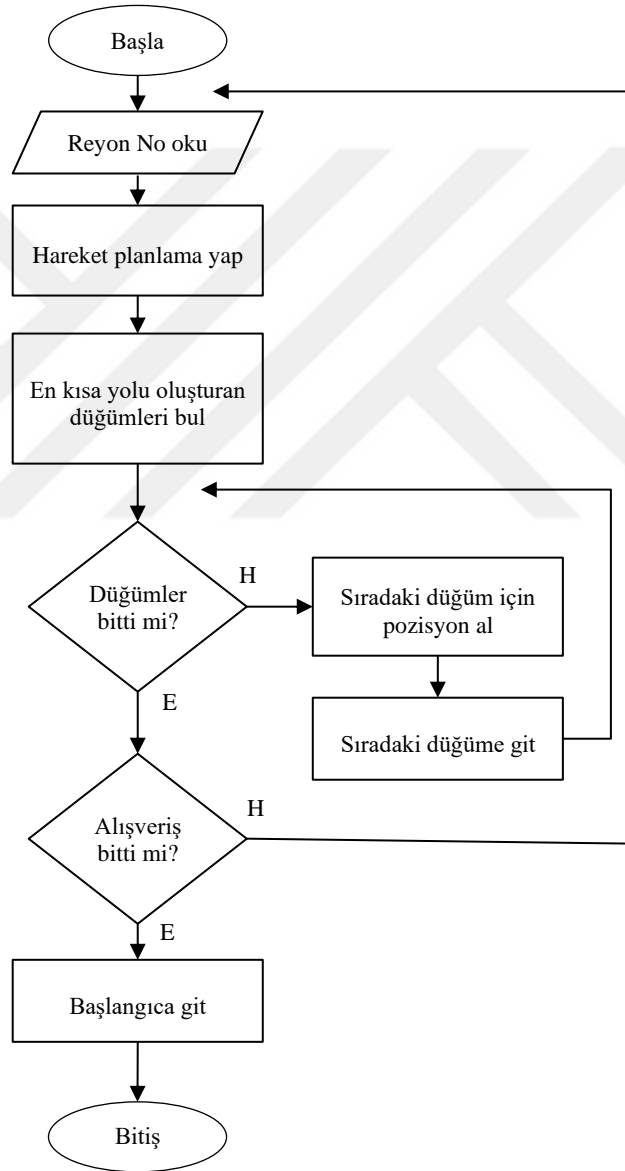
X ve Y koordinatları bilinen reyonlara butona basıldığında robotun ilk konumu olan $X=20$, $Y=20$ noktasından hareketi başlamaktadır. Enkoderle robotun aldığı mesafe tayin edilmiş olup konumlar arası x ve y ’ler arası fark azaltılarak hedef noktaya gidilmesi sağlanmıştır.

Örneğin robotun önünde engel olmadığı düşünüldüğüne $(20, 20)$ koordinatlarından $(90,100)$ olan koordinata gidilmek istenilsin. Robot, ilk olarak X ekseninde $90-20=70$ cm ilerler. Sonrasında Y yönünde $100-20=80$ cm ilerler ve durur. Robot X ve Y koordinatlarında hareket etmek için pusula sensörü sayesinde uygun yöne döner. Burada pusulanın döndürdüğü yön ve koordinat eksen takımları dönüşümü EEPROM içerisine arayüz yardımıyla saklanır. Örneğin X eksenini Güney Batı olabilir veya herhangi bir derece olabilir.

Robot hareketi sırasında orta reyonlar engel gibi davranacaktır. Bu durumda özellikle çapraz geçişlerde robotun engelleri dikkate alması gerekmektedir. Bu amaçla düğüm noktaları önceden belirlenmiş bir graf yapıyı kullanarak engelden uzak en kısa yolu

bulabilen bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla reyonların belirlendiği yazılımda manuel olarak engelden uzak yollar belirlenirken burada önemli noktalarda düğüm olarak en kısa yol bulma algoritması yardımıyla robot istenen reyona yönlendirilir. En kısa yol bulma algoritmasının çıktısı olan koordinatlara robotu yönlendirirken yukarıda anlatıldığı (X ve Y deki hataları azaltma yolu ile) yöntem kullanılır.

4.8. Robot Gezinme Algoritması



Şekil 4.8. Robot navigasyon algoritmasına ait şema

5. SONUÇ

Bu çalışmada örnek bir market reyonu düzeni oluşturularak market içerisinde reyonlar arasında istenilen reyona gitmek amacıyla bir mobil robot tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tür sistemlerin geniş alanlara hitap edebilmesi şüphesiz etkin ve ucuz maliyetle mümkündür. Bu amaçla yapılan çalışmada ekonomik bileşenlerden tertip edilen robotun verilen görevleri herhangi bir kısıt söz konusu olmaksızın yaptığı görülmüştür. Robota reyon tanımları masaüstü yazılımı sayesinde gerçekleştirilerek sistemin sadece belirli bir market yerleşimine değil farklı market yapıları ve düzenlerine göre de yapılandırılması sağlanmıştır. Robot sadece istenilen yere gitmemiş kullanılan algoritmalarla en kısa yol üzerinden hedefe ulaşmıştır. Literatürde Arduino gibi kısıtlı parametrelere sahip bir kart üzerinde sayılı ve kısıtlarla dolu örneklere sahip en kısa yol bulma algoritması bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışma ile ileride market ve benzeri kapalı alanlarda navigasyon yardımıyla farklı görevleri icra edecek robot çalışmalarına örnek olması düşünülmektedir.

Bu çalışmada yapılan market robotunda kullanıcı robot üzerindeki hangi butona basarsa robot o reyona gitmektedir. Fakat daha hızlı bir alışveriş için kullanıcı robota uğrayacağı reyonları ilk başlangıçta girip robot kullanıcıyı istediği reyonlara en kısa sürede ve en kısa mesafe içerisinde götürme fonksiyonu eklenebilir. Bu fonksiyon için literatürde gezgin satıcı problem çözümlerinden faydalanılabilir. Gezgin satıcı algoritmasının arduino üzerine eklenebilmesi için kullanıcı ile etkileşim içerisine girecek bir arayüz hazırlanması gerekmektedir. Bu arayüzün gelişmiş ve dokunmatik ekran üzerinden kullanıcı ile etkileşimde bulunması gerekmektedir.

İlerleyen çalışmalarda robot, internet üzerinden alınan siparişleri, üzerine eklenebilecek bir mekanizma yardımıyla otomatik olarak mağazada ilgili reyonlardan alarak sepete ürünleri ekler ve siparişi hazırlayabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akgul, F.T., 2021. Ultrasonik (Ultrasonic) Sensör Nedir? Nasıl Çalışır? Ne İşe Yarar?. <https://maker.robotistan.com/ultrasonic-sensor/>-(13.11.2022).
- Aksu, C., 2010. Arduino ile Çalışan Çok Fonksiyonlu Robot.(Yüksek Lisans Tezi), Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M. A., ve Al-Khalifa, H. S., 2016. Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, 16(5), 707.
- Anonim, 2021, Arduino/Genuino Mega 2560. <https://www.robotiksystem.com/arduino-mega-2560-ozellikleri.html> (14.05.2021).
- Arai, T., Yoshizawa, T., Aoki, T., Zempo, K. ve Okada, Y., 2019. Evaluation of indoor positioning system based on attachable infrared beacons in metal shelf environment. 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas.
- Bai, L., Ciravegna, F., Bond, R. ve Mulvenna, M., 2020. A low cost indoor positioning system using bluetooth low energy. *IEEE Access*, 8, 136858-136871.
- Chikurtev, D., Yovchev, K., Chivarov, N., ve Rangelov, I., 2019. Indoor Navigation Using Existing Infrastructure for Professional Service Robots. International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, Cham.
- Choset, H., Lynch, K. M., Hutchinson, S., Kantor, G. A., ve Burgard, W., 2005. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations. MIT press, 603 p, London, England.
- Elloumi, W., Guissous, K., Chetouani, A., Canals, R., Leconge, R., Emile, B., ve Treuillet, S., 2013. Indoor navigation assistance with a Smartphone camera based on vanishing points. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Montbeliard.
- Evans, B. 2011. Beginning Arduino Programming. Apress, 271 s, New York.
- Farid, Z., Nordin, R., ve Ismail, M., 2013. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013, 1-13.
- Fidelity Investments, 2022, Simple Moving Average (SMA), <https://www.fidelity.com/learningcenter/tradinginvesting/technicalanalysis/technicalindicatorguide>, (06.11.2022)
- Gao, Y., Liu, S., Atia, M. M. ve Noureldin, A., 2015. INS/GPS/LiDAR integrated navigation system for urban and indoor environments using hybrid scan matching algorithm. *Sensors*, 15 (9), 23286-23302.
- Ijaz, F., Yang, H. K., Ahmad, A. W., ve Lee, C., 2013. Indoor positioning: A review of indoor ultrasonic positioning systems. 15th International Conference on Advanced Communications Technology, PyeongChang.
- İsmail, M.B., Fathi, A., Boud, A., Nurdiana, W. ve İbrahim, W., 2008. Implementation of location determination in a wireless local area network (WLAN) environment. 10th International Conference on Advanced Communication Technology, Gangwon-Do.
- Karabey, I., 2015. Wi-Fi Tabanlı Parmak İzi Yöntemi Kullanarak İç Ortam Konumlandırma.(Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

- Kolodziej, K.W. ve Hjelm, J., 2006. Local positioning systems: LBS applications and services. CRC press, 463, Amerika Birleşik Devletleri.
- Kaniewski, P., Kazubek, J. ve Kraszewski, T. 2017. Application of UWB modules in indoor navigation system. International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS), Tel Aviv.
- Larranaga, J., Muguira, L., Lopez-Garde, J. M. ve Vazquez, J. I., 2010. An environment adaptive ZigBee-based indoor positioning algorithm. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich.
- Lashkari, A. H., Parhizkar, B. ve Ngan, M. N. A., 2010. WIFI-based indoor positioning system. 2010 Second International Conference on Computer and Network Technology, Bangkok.
- Lee, C., Chang, Y., Park, G., Ryu, J., Jeong, S. G., Park, S. ve Lee, M. H., 2004. Indoor positioning system based on incident angles of infrared emitters. 30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, Busan.
- Li, J., He, X. ve Li, J., 2015. 2D LiDAR and camera fusion in 3D modeling of indoor environment. National Aerospace and Electronics Conference (NAECON), Dayton.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. ve 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.
- Lu, C., Uchiyama, H., Thomas, D., Shimada, A. ve Taniguchi, R. I., 2019. Indoor positioning system based on chest-mounted IMU. Sensors, 19 (2), 420.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Sergi, I., 2014. A survey on indoor positioning systems. 22nd international conference on software, telecommunications and computer networks, Split.
- Mautz, 2012. Indoor Positioning Technologies.(Habilitation Tezi), Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Zurich.
- Ni, L.M., Liu, Y., Lau, Y.C., ve Patil, A.P., 2003. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. International Conference on Pervasive Computing and Communications, Fort Worth.
- Othman, H., At, N. ve Topal, C., 2018. Effectiveness of online RF fingerprinting for indoor localization. 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), İzmir.
- Priyantha, N. B., Chakraborty, A. ve Balakrishnan, H., 2000. The cricket location-support system. 6th annual international conference on Mobile computing and networking, New York.
- Ravi, N., Shankar, P., Frankel, A., Elgammal, A. ve Iftode, L., 2005. Indoor localization using camera phones. Seventh IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications, Orcas Island.
- Ridolfi, M., Vandermeeren, S., Defraye, J., Steendam, H., Gerlo, J., De Clercq, D., ve De Poorter, E., 2018. Experimental evaluation of UWB indoor positioning for sport postures. Sensors, 18 (1), 168.
- Saab, S. S. ve Nakad, Z. S., 2010. A standalone RFID indoor positioning system using passive tags. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(5), 1961-1970.
- Schweitzer, H. ve Syafrudin, M. 2010. LOSNUS: An ultrasonic system enabling high accuracy and secure TDoA locating of numerous devices. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich.

- Simões, Walter C.S.S., Guido S. Machado, André M.A. Sales, Mateus M. de Lucena, Nasser Jazdi, ve Vicente F. de Lucena Jr., 2020. A Review of Technologies and Techniques for Indoor Navigation Systems for the Visually Impaired. *Sensors*, 20(14), 1-35.
- Song, Z., Jiang, G., ve Huang, C., 2011. A survey on indoor positioning technologies. *International Conference on Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science*, Berlin.
- Tesoriero, R., Gallud, J.A., Lozano, M., ve Penichet, V.M.R., 2008. Using active and passive RFID technology to support indoor location-aware systems. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54 (2), 578-583.
- Ting, S. L., Kwok, S. K., Tsang, A. H. ve Ho, G. T., 2011. The study on using passive RFID tags for indoor positioning. *International journal of engineering business management*, 3 (1), 9-15.
- Uradzinski, M., Guo, H., Liu, X. ve Yu, M., 2017. Advanced indoor positioning using zigbee wireless technology. *Wireless Personal Communications*, 97 (4), 6509-6518.
- Uysal, B., 2019. Arduino ve Bluetooth Kullanılarak Uzaktan Kontrollü Robot Tasarım, Yazılım ve Uygulamasının Yapılması.(Y.Lisans Tezi), Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova.
- Want, R., 2006. An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, 5(1), 25-33.
- Woodman, O. J., 2007. An introduction to inertial navigation. University of Cambridge, Computer Laboratory.
- Woodman, O., ve Harle, R., 2008. Pedestrian localisation for indoor environments. *Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing*, Seoul.
- Xiong, J., Liu, Y., Ye, X., Han, L., Qian, H. ve Xu, Y., 2016. A hybrid lidar-based indoor navigation system enhanced by ceiling visual codes for mobile robots. *International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Qingdao.
- Yang, C. ve Shao, H. R., 2015. WiFi-based indoor positioning. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), 150-157.
- Yang, C., Huang, Y., Fang, S., ve Chen, Y., 2011. A ZigBee indoor positioning system using a multi-expert approach. *3rd International Conference on Machine Learning and Comouting*, Sigapore.
- Yaşar, E., 2016. Yılan Tipi Robot Tasarımı ve Yörünge Analizi. (Doktora Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Yücel, H., Edizkan, R., Ozkır, T., ve Yazıcı, A., 2012. Development of indoor positioning system with ultrasonic and infrared signals. *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Trabzon.
- Yücel, H., Yazıcı, A., ve Edizkan, R., 2014. A survey of indoor localization systems. *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference*, Trabzon.
- Zhou, C., Yuan, J., Liu, H. ve Qiu, J., 2017. Bluetooth indoor positioning based on RSSI and Kalman filter. *Wireless Personal Communications*, 96 (3), 4115-4130.