

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEZGİN ROBOTLARDA OTONOM DEVRİYE SİSTEMİ
VE
ALGILAYICI FÜZYONU**

COŞKUN TAŞDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KONTROL ve OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONTROL ve OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. KAYHAN GÜLEZ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEZGİN ROBOTLARDA OTONOM DEVRİYE SİSTEMİ VE ALGILAYICI
FÜZYONU**

Coşkun TAŞDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması --.---.---- tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Kayhan Gülez
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kayhan Gülez
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Kayhan GÜLEZ, Arş. Gör. Tarık Veli MUMCU ve Öğr. Gör. Dr. Gürkan TUNA'ya teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren aileme ve çalışmalarımda her zaman yanımda olan değerli eşim Ferhan Başar TAŞDEMİR'e de teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık, 2012

Coşkun TAŞDEMİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez	9
BÖLÜM 2	
GEZGİN ROBOTLARDA OTONOM DEVRİYE SİSTEMİ	11
2.1 Önerilen Sistem Hakkında Bilgiler.....	14
2.2 Tasarım Unsurları.....	15
2.3 Koordinasyon ve Görev Paylaşımı.....	15
2.4 Gezgin Robot Gruplarında İletişim.....	17
2.5 Harita Oluşturma ve Devriye Sistemi.....	18
BÖLÜM 3	
EŞ ZAMANLI KONUM BELİRLEME VE HARİTALAMA (SLAM)	20
3.1 Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama.....	20
3.2 Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalamada Karşılaşılan Problemler.....	22
3.3 Veri İlişkilendirme Problemi.....	22
3.4 Hesaplama Süresi Problemi	23
3.5 Gürültü Problemi	23
3.6 Çevrenin Zamanla Değişmesi	24
3.7 EZHKB sürecinde kullanılan algılayıcılar.....	24
3.8 Kalman Filtresi.....	28
3.9 Genişletilmiş Kalman Filtresi.....	31

3.10 Çoklu Algılayıcı Algılayıcı Füzyonu	33
BÖLÜM 4	
BENZETİM ÇALIŞMALARI	36
4.1 Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Araçlar	36
4.2 OpenCV Görüntü İşleme Kütüphanesi	36
4.3 Microsoft Robotics Developer Studio	38
4.4 Prowler Kablosuz Ağ Modelleme Aracı ile Yapılan Benzetimler	39
4.5 Microsoft Robotics Developers Studio ile Gerçekleştirilen Çalışmalar	40
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGE LİSTESİ

$\alpha_{i,j}$	Çoklu robot sistemleri uzlaşma problemindeki düğümlere sahip grafin yay seti
$\nabla F_x(k)$	Durum geçiş matrisinin Jacobieni
$\nabla H_x(k)$	Gözlem modelinin Jacobieni
C_L^i	Lazer mesafe ölçer verileri kovaryans matrisi
C_C^j	Kamera verileri kovaryans matrisi
z_L	Lazer mesafe ölçerden alınan ölçümler
z_C	Kamerada alınan ölçümler

KISALTMA LİSTESİ

CSV	Comma Separated Values
EKF	Extended Kalman Filter
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LMÖ	Lazer Mesafe Ölçer
MRDS	Microsoft Robotic Development Studio
SLAM	Synchronized Localization and Mapping
SNR	Signal to Noise Ratio

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Security warrior robotu [3]	2
Şekil 1.2 Chung-cheng-1 robotu [3].....	3
Şekil 1.3 Çoklu algılayıcı füzyonu uygulanan mobil robot [4].....	4
Şekil 1.4 Örnek robot projeleri a) Hilare b)Lias c) Mars pathfinder sojourner [5]	7
Şekil 2.1 Pioneer 3DX robotu [6]	13
Şekil 2.2 Coroware firması tarafından geliştirilen corobot [7]	13
Şekil 2.3 Corobot’larla çoklu grup uygulaması [8].....	14
Şekil 2.4 Katmanlı kontrol mimarisi [10]	16
Şekil 3.1 Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) [11]	21
Şekil 3.2 Dairesel bir ortamda oluşan veri ilişkilendirme hatası [12]	22
Şekil 3.3 Ölçüm hatası sonucu haritalamada oluşan kayma [12].....	24
Şekil 3.4 Hokuyo lazer mesafe ölçüm algılayıcısı [13]	25
Şekil 3.5 Lazer mesafe ölçer tarama bölgesi	26
Şekil 3.6 Maxbotix sonar algılayıcı [14]	26
Şekil 3.7 GPS modülü ve teker pozisyon kodlayıcı algılayıcılar	27
Şekil 4.1 OpenCV kullanılarak gerçekleştirilmiş kenar belirleme örneği [17]	37
Şekil 4.2 MRDS yazılımı arayüzü [18].....	38
Şekil 4.3 Prowler benzetim arayüzü [19].....	40
Şekil 4.4 Sinyal gücünün mesafeye göre değişimi	40
Şekil 4.5 MRDS ortamında yapılan benzetim çalışması.....	41
Şekil 4.6 MRDS için oluşturulan yazılımın genel blok diyagramı	43
Şekil 4.7 MRDS ortamındaki Pioneer 3DX gezgin robot.....	43
Şekil 4.8 Robotun takip ettiği gerçek yörünge	44
Şekil 4.9 Robotun tek algılayıcılı uygulamasındaki hata değerleri	45
Şekil 4.10 Robotun çoklu algılayıcı uygulamasındaki hata değerleri	46

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1 Algılayıcı füzyonu kullanılarak geliştirilmiş başlıca robot çalışmaları [5] 5

GEZGİN ROBOTLARDA OTONOM DEVRİYE SİSTEMİ VE ALGILAYICI FÜZYONU

Coşkun TAŞDEMİR

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kayhan GÜLEZ

Günümüzün dünyasında tehditlerin artmasıyla beraber hem ulusal hem de bireyler bazında güvenlik sistemlerinin önemi artmıştır. Can ve mal güvenliğinin sağlanması için insan gücüne dayalı veya özel sistemlerle çalışan birçok güvenlik sistemi bulunmaktadır. Bu çalışmada insanlı veya kamera ve algılayıcı sistemlerinden oluşan sistemlere alternatif olarak kablosuz ağ bağlantısı üzerinden birbirleriyle haberleşen insansız robot araçlarla tasarlanmış bir güvenlik sistemi sunulmuştur. Çoklu-algılayıcı füzyonu kullanan sistemin mevcut güvenlik sistemlerine göre daha etkin sonuçlar sunduğu görülmüştür.

Mobil robot gruplarıyla oluşturulan devriye sistemlerinde algılayıcı füzyonunun önemi oluşturulan haritanın ve ortamdan elde edilen verilerin doğruluğu ve hassasiyetinde ortaya çıkar. Bu çalışmalarda mobil robot gruplarıyla oluşturulan devriye sistemlerinde birden fazla kullanılan algılayıcıların elde edilen verilerdeki hata oranını nasıl ve ne kadar iyileştirdiği benzetim çalışmalarında gözlemlenmiştir.

Benzetimi yapılan algılayıcı ortamında lazer, ultrasonik, kamera algılayıcıları kullanılarak veriler ortamdan toplanmış, bu algılayıcıların değişik kombinasyonları ele alınarak veri değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Kullanılan ana iki algılayıcı lazer ve kamera olarak belirlenmiştir. Benzetim ortamı olarak Microsoft Robotics Development Studio kullanılmış, ayrıca OpenCV kütüphanelerinden görüntü işlemede

yararlanılmıştır. Ayrıca mobil robotlar arasındaki veri iletişimi de benzetim ortamında modellenerek incelenmiştir. Benzetim çalışmalarında Prowler kablosuz ağ benzetim paketi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kablosuz ağ ile haberleşen gezgin robotlar, sensör füzyonu, SLAM

**AUTONOMOUS PATROLLING SYSTEM WITH MOBILE ROBOTS AND
SENSOR FUSION**

Coşkun TAŞDEMİR

Department of Control and Automation Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Dr. Kayhan GÜLEZ

With the increasing threats of today's world, both national and individual level has increased the importance of security systems. There are many security systems, both manned and unmanned, to ensure the safety of life and property. In this study, a security system based on mobile robots that communicates each other over a wireless network is designed as an alternative to manned or camera based security systems. Proposed system, which is using multi-sensor fusion, has been observed to offer more effective results compared to existing security systems.

The importance of sensor fusion in Localization and Mapping Extraction is then realized once sensor fusion improves the sensitivity and accuracy of the obtained map or data. With this study it is seen and observed how the error enhancement of the data obtained by the robots via having sensor fusion scenario in a simulation environment.

In the simulation environment laser, ultrasonic and camera sensors are applied. Different combinations are exercised and studied to see how the data and errors obtained by sensors are changed. The applied main two sensors are signed as camera and the laser. For the simulation environment Microsoft Robotics Development Studio is used and benefited from OpenCV libraries in image processing. In addition, data communication between mobile robots are modeled in the simulation environment

are examined. Prowler wireless network simulation package was used in the simulation studies.

Keywords: wireless networked mobile robots, sensor fusion and SLAM

1.1 Literatür Özeti

Robotik teknolojisi artık hayatın hemen her alanında kendine yer bulmaktadır. Son dönemde robotların insan hayatını kolaylaştırmak amacıyla günlük işlerde, ofislerde ve güvenlik sistemlerinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

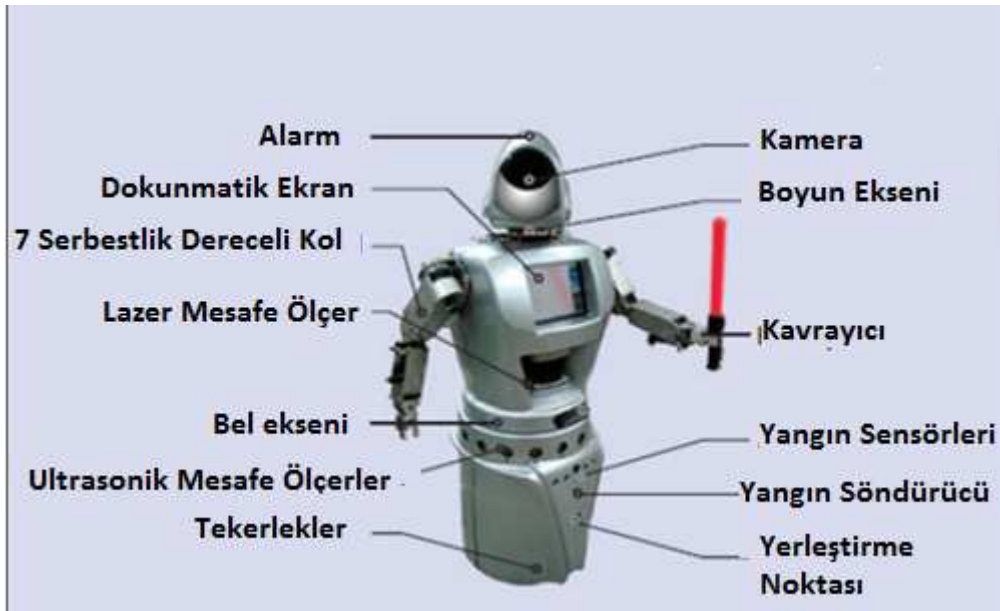
Robotların verilen görevleri otonom olarak yerine getirmesi konusunda en önemli unsurlardan birisi de kendi konumlarını bulmaları ve bulundukları ortamın haritasını çıkarmalarıdır. SLAM yani eş zamanlı konumlandırma ve harita çıkarma adı verilen bu süreç ile robotlar daha önce bilinmeyen bir ortama girerek o ortamda otonom olarak hareket edebilirler [1],[2].

Tek bir robotun birden fazla fonksiyon üstlenerek görev gerçekleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar popüler olsa da sistemin son derece karmaşık hale gelmesi ve geliştirme çalışmalarının daha çok çaba gerektirmesi açısından son dönemde çoklu robot kullanımı konusundaki çalışmalar hızlanmıştır. Robotlar bir arada çalışarak birçok görevi tek bir robottan daha hızlı ve verimli şekilde gerçekleştirebilirler.

Son dönemde hem çoklu robot sistemleri hem de çoklu algılayıcı füzyonu uygulamaları konusunda çalışmalar artmıştır. Tayvan'daki National Chung Cheng Üniversitesi'nde çoklu algılayıcı füzyonu kullanılarak "Chung-Cheng" ve "Security Warrior" adlı robotlar geliştirilmiştir [3]. Sözkonusu robotlar üzerinde lazer ve kızılötesi mesafe ölçerler, ve

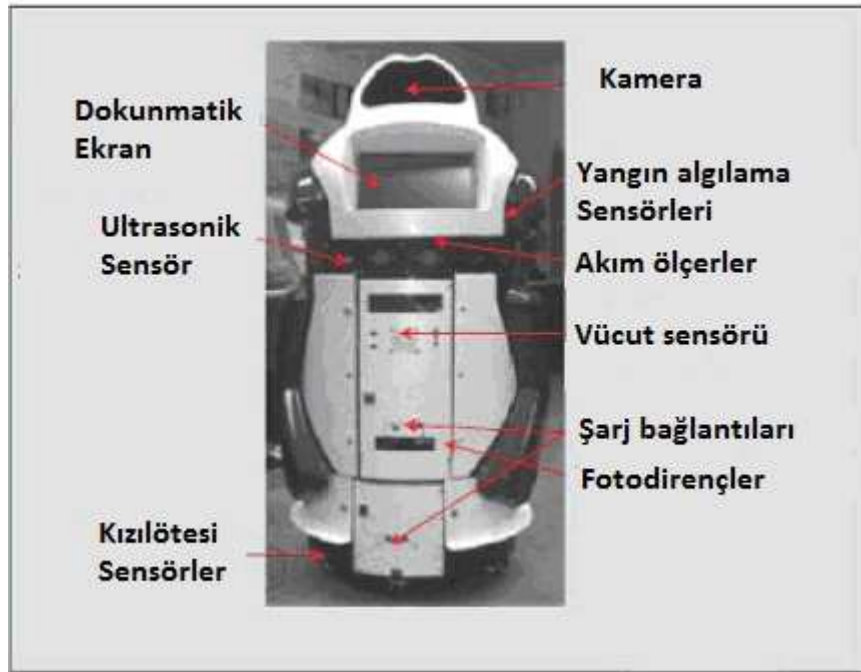
CCD kameralar gibi algılayıcılar bulunmaktadır. Robotlar üzerinde tasarımcı ekibin kendi geliştirdiği algılayıcı füzyonu teknikleri kullanılmıştır.

Bunlardan Security Warrior adlı robot Wu-Feng Teknoloji Enstitüsü, Tayvan da geliştirilmiştir. Temel olarak altı farklı sistemden meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla algılayıcı sistemleri, güç kestirimi, robot kollar, görüntü sistemi, hareket sistemi ve uzaktan kontroldür. Hareket sistemi gerçek zamanda hareketi sağlamak için gömülü sistemlerden oluşturulmuştur. Görüntü sistemi ortamdaki insan varlığını tanımak ve izlemek için kullanılmıştır. Robotu her daim çalışır kılmak için güç kestirimi kullanılırken, mimik hareketlerine cevap vermede robot kollar kullanılmıştır. Security Warrior adlı robotta kullanılan en önemli sistem algılayıcı sistemleridir. Yangın detektörü, güvenlik, yol planlaması çoklu algılayıcı füzyonu ile gerçekleştirilmiştir. Hareket planlama sisteminde engel tanıma ultrasonik algılayıcılar kullanılmıştır. 3D Laser Range Finderlar robotla hedef arasındaki mesafe bilgisinin aralıksal açı değeri ile belirlemede kullanılmıştır. Gövde ve yangın algılayıcıları engel ve ısı, yangın belirlemede kullanılırken, Kameradan elde edilen görüntüler yüz tanıma kullanılmıştır. Mesafe ve konum bilgisinin güncellenmesinde, görüntü kareleri arasındaki yüz bölgesinin geçişlerinde Kalman Filtresi uygulanmıştır.

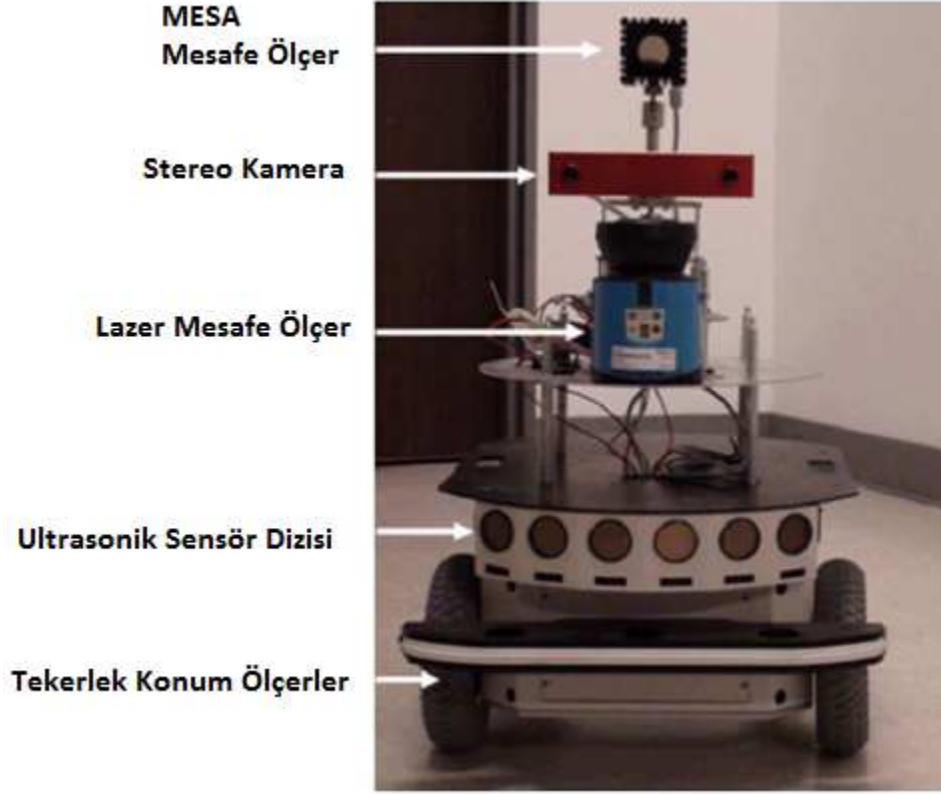


Şekil 1.1 Security warrior robotu [3]

Chung-Cheng #1 ismi ile geliştirilen çoklu algılayıcı tabanlı akıllı koruma robotu önceden belirlenmiş ve tehlikeli durumları belirleyerek kullanıcıyı bilgilendirmektedir. Robotun dış yüzeyi silindirik biçimli olup çapı 50 cm yüksekliği ise 150 cm dir. Robotu meydana getiren başlıca sistemler hareket planlama sistemi, görüntü sistemi, engel kaçınma, uzaktan kullanıcı kontrolü ve algılayıcı sistemidir. Kullanılan CCD görüntü algılayıcıları ile elde edilen görüntüler internet üzerinden ana kontrol birimine gönderilmektedir. Ultrasonik algılayıcılar ise hareket planlamada ve mesafe bilgisinin elde edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 1.2 Chung-cheng-1 robotu [3]



Şekil 1.3 Çoklu algılayıcı füzyonu uygulanan mobil robot [4]

Ren C. Luo ve Chun C. Lai adlı araştırmacılar tarafından geliştirilen servis robotu üzerinde Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) kullanılarak uygulanan algılayıcı füzyonu tekniklerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur [5]. Servis robotunun amacı otonom olarak bulunduğu bölgeyi anlayabilmesidir. Bunu lazer, kamera, ultrasonik algılayıcıları kullanarak ortamın zenginleştirilmiş görüntüsünü elde eder. Ayrıca bu çalışmada harita çıkarımı sırasında kullanılabilecek bir SLAM metodu önerilmiştir. Bu metod kısaca birbirine komşu olan iki lazer algılayıcı ölçümünden yararlanır. Bu verileri CI adı verilen Covariance Intersection metodu ile birleştirir. Böylelikle birbirine komşu olan layer bilgilerinden ortamın görüntüsü elde edilir. Bu metodun uygulaması sırasında algılayıcı gürültüleri ve belirsizlik bileşenleride elde edilen görüntünün doğruluk değerini artırmada kullanılmıştır.

Algılayıcı Füzyonu kullanılarak tasarlanan diğer başlıca robotlar çizelge-1’de belirtilmiştir.

Çizelge 1 Algılayıcı füzyonu kullanılarak geliştirilmiş başlıca robot çalışmaları [5]

Robot İsmi	Algılayıcılar	Çalışma ortamı, alanları	Füzyon algoritması
HILARE	Ultrasonik algılayıcılar ve CCD mesafe bulucuları	Bilinmeyen insan yapımı ortamlarda	Ağırlıklı ortalama metodu
Crowley	Ultrasonik algılayıcılar, dokunsal algılayıcılar	Bilinen insan yapımı ortamlarda	Güvenilir katsayı eşleşmesi algoritması
DAPPAALV	Ultrasonik algılayıcılar, mesafe bulucuları	Bilinmeyen doğal çevreler	Küçük ölçekteki ortalama karşılaştırmaları
NAVLAB&Teregator	Renkli kamera, sonar, lazer mesafe bulucuları	Bilinmeyen otoyol ortamları	Olasılık çıkarımları
Stanford	Ultrasonik Algılayıcılar, dokunsal algılayıcılar, lazer mesafe bulucuları	Bilinmeyen insan yapımı ortamlarda	Kalman Filtresi
HERMIES	CCD-Sonar Mesafe Bulucuları	Bilinmeyen insan yapımı ortamlarda	İlişkilendirme kuralları

Çizelge 2 Algılayıcı füzyonu kullanılarak geliştirilmiş başlıca robot çalışmaları (devamı)

LIAS	Ultrasonik algılayıcılar, Kızılötesi algılayıcılar	Bilinmeyen dış ortamlarda	Çoklu füzyon algoritması
Oxford Series	Ultrasonik Algılayıcılar, lazer mesafe bulucuları	Fabrika ortamlarında	Kalman Filtresi
Sojourner	CCD ivme ölçerler, manyetometreler, mesafe bulucuları	Ay	Kalman Filtresi, Yön Kestrimi algoritması
Alfred	Ses algılayıcıları, sonar-renkli kameralar	Bilinmeyen iç mekanlarda	Mantık çıkarımı
ANFM	Ultrasonik algılayıcılar, Kızılötesi algılayıcılar, CCD GPS	Doğal ortamlarda	Bulanık sinir ağları
Ranger	Ultrasonik algılayıcılar, ultrasonik-lazer mesafe bulucuları	Bilinmeyen dış mekanlarda	Jakobiyen Tensörü, Kalman Filtresi



a)



b)



c)

Şekil 1.4 Örnek mobil robot projeleri a) Hilare b)Lias c) Mars pathfinder sojourner [5]

Otonom robotlarda farklı algılayıcılardan alınan verilerle gerçekleştirilen çoklu algılayıcı füzyonunun başlıca avantajları şunlardır:

- Veri kalitesinin artırılması
- Belirsizliğin azaltılması
- Sistemin doğruluğun arttırılması
- Algılayıcılardan herhangi birinden veri gelmese bile diğerlerinden gelen verileri kullanarak sistemin güvenilirliğinin korunması
- Tek algılayıcı kullanarak tam ifade edilemeyecek cisimlerin verilerinin elde edilmesi
- Farklı veri işleme teknikleri kullanarak paralel veri hızının artırılması
- Üzerinde çalışılan veri bilgisinin hata oranının düşürülmesi

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde güvenlik son derece önemli bir konu haline gelmiştir. Gerek bireysel gerek kamu seviyesinde güvenlik tehditleri oldukça artmış ve değişik çözümler gerektirir hale gelmiştir. Robotik alanındaki gelişmeler robotların güvenlik sistemlerinde kullanımına olanak sağlamaya başlamıştır. Özellikle askeri alanda insansız araçlar güvenlik güçleri için oldukça yararlı yardımcıları haline gelmiştir. Artık birçok güvenlik operasyonu otonom robotlar ile sağlanmaktadır.

Son dönemde önemi giderek artan robotların otonom olarak çalışmaları konusunda en önemli noktalardan birisi olan eş zamanlı konumlandırma ve haritalama alanında çoklu algılayıcı füzyonu tekniğiyle gezgin robot için mesafe bilgisinin hata oranını düşürmektir. Bu hata oranını düşürmek için robot üzerinde yer alan farklı algılayıcılardan gelen bilgiler çoklu algılayıcı füzyonu tekniği kullanılarak birleştirilmiş, mesafe bilgisinin hata oranı düşürülmüştür.

Gezgin robotların birbirleri arasında bilgi alışverişi için aralarında kurulan bir şebekeye ihtiyaç vardır. Robot uygulamalarında kablosuz ağlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Çalışma içerisinde kablosuz ağlar üzerinde veri iletimi incelenerek benzetim ortamında çeşitli veri iletim algoritmaları modellenmiştir.

1.3 Hipotez

Çoklu-algılayıcı füzyonu kullanarak bir ortamın haritasının gezgin robotlarla daha etkin olarak çıkarmak mümkündür. Günümüzde artık robotların girmediği bir kullanım alanı bulunmamaktadır. Restoranlardan, hayvan çiftliklerine kadar akla gelebilecek her yerde farklı kullanım amaçlarını, görevleri yerine getirmek üzere robotlardan yararlanılır. Bir robotun istenilen görevleri yerine getirebilmesi için, dış dünya ile iletişimde bulunabilmesi için algılayıcı sistemleri, yol planlamadan, güç tüketimine kadar hayati rol oynar. Nasıl insan için duyu organları vazgeçilmez bir rol oynuyorsa, robotlar içinde algılayıcı sistemleri aynı rolü oynamaktadır. Bu nedenle algılayıcı sistemlerinden gelecek bilgiler hayati rol oynar. Bilginin doğruluğu ve hassasiyeti robotun performansını artırmada en önemli faktördür.

Böylelikle bu çalışmada algılayıcılardan gelen verileri birleştirme yoluyla robotun harita çıkarımında daha fazla performans göstermesi sağlanmıştır. Bunun için Pioneer 3-DX robotu, Microsoft Robotics Developer Studio ortamına tanıtılmıştır. Sonrasında algılayıcı olarak kamera 'renkli Point Gray Chameleon' modeli yine aynı ortamda robot üzerine eklenmiştir. Lazer mesafe ölçer olarak Hokuyo URG-04-LX-UG-01 modeli seçilerek Microsoft Robotics Developer Studio ortamında robota eklenmiştir. Benzetim ortamında robot için 8mX8m bir alan seçilerek robotun bu alan sınırlarında gezinmesi görev olarak tanıtılmıştır. Robot bu alanda gezinesini yaparken bulunduğu noktayı ve bir sonraki noktayı belirlemede genişletilmiş Kalman filtresinden yararlanmıştır.

Bu çalışma içerisinde gezgin robotlar arasındaki iletişim sisteminin modellenmesi için Prowler adlı kablosuz ağ modelleme aracı kullanılmıştır. MATLAB yazılımı üzerinde çalışan bu modelleme paketi ile robotlar arası ad-hoc şebeke iletişimindeki farklı algoritmalar incelenmiştir.

Bu çalışmada Genişletilmiş Kalman Filtresinin yanında aynı zamanda çoklu algılayıcı füzyonu algoritması kullanılmıştır. Algılayıcılardan gelen bilgilerin birleştirilmesinde çoklu algılayıcı füzyonu algoritması kullanılırken, robotun bulunduğu durumların güncellenmesinde Genişletilmiş Kalman Filtresi kullanılmıştır.

GEZGİN ROBOTLARDA OTONOM DEVRIYE SİSTEMİ

Bu çalışmada kablosuz şebeke üzerinden birbiriyle haberleşen gezgin robot gruplarıyla fiziki güvenliğin sağlanmasına yönelik bir otonom devriye sistemi incelenmektedir. Önerilen sistem özellikle dâhili koruma, çevre koruması, değerli varlık ve mal koruması gibi alanlar için tasarlanmıştır. Fiziki güvenliğe yönelik geleneksel sistemler genellikle kablolu veya kablosuz bağlantı üzerinden birbirine bağlı çeşitli algılayıcı ve kameralardan oluşmaktadır. Bu sistemler temel olarak denetimli veya denetimsiz olarak iki grupta incelenebilir. Denetimli sistemlerde herhangi bir güvenlik saldırısı durumunda denetim merkezi uyarılır ve denetim merkezi alarmin gerçek olup olmadığını görsel olarak (kamera ile veya yerinde) kontrol eder. Denetimsiz sistemlerde ise saldırı sonrasında yüksek siren sesi oluşturulur. Güvenlik sistemleri ayrıca kablolu veya kablosuz bağlantılı olarak da iki ana grupta incelenebilir. Kablosuz güvenlik sistemlerinde batarya ile beslenen radyo alıcı-vericileri ve IP ya da CCD kameralar, hareket algılayıcıları ve sirenler kullanılır. Kablosuz uygulamaların en büyük avantajı kurulumlarının çok kolay olması ve herhangi bir kablolama işlemi gerektirmemeleridir. Tekrar kurulumları da sisteme yeni bileşenler eklenmesi de kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Kablolu çözümlerdeki algılayıcı ve kameralara kablolar üzerinden güç sağlanmaktadır ve güç kesilmelerine karşı ayrıca bataryalar kullanılmaktadır. Varolan fiziki güvenlik sistemlerinin temel kısıtlamaları şunlardır:

- Yüksek başlangıç yatırımı ve bakım maliyetleri

- Alarmların görsel olarak doğrulanması ve kontrolü için insan operatörlerin çalıştırılması gerekliliği
- Sistemin kurulacağı alanın iyice analiz edilerek dikkatlice kurulum yapılması gerekliliği. Hem kablolu hem kablosuz uygulamalar için dikkatli bir analiz çalışması gerekmektedir. Aksi takdirde denetlenmeyen bölgeler kalabilir ve bu da güvenlik sistemi açısından ciddi güvenilirlik sorunları yaratabilir.
- Kablolu sistemlerde elektrik ve haberleşme altyapısı kurulumunun gerekliliği.

Varolan sistemlerin aksine bu çalışmada yukarıdaki problemlere sahip olmayan maliyet-etkin bir sistem önerilmektedir. Önerilen sistem donanım ve yazılım çözümlerinden oluşmaktadır. Üzerinde kamera, lazer mesafe ölçer, sonar mesafe ölçer gibi algılayıcılar ve kablosuz arabirim kartı bulunan ve özellikle dış ortamlarda çalışmak üzere tasarlanmış 4 tekerlekli bir kara robotu sistemin donanım bölümünü oluşturmaktadır. Sistem haberleşme, koordinasyon ve görev dağılımı olarak üç ana bölümde incelenmektedir.

Günümüzde hem çeşitli benzetim ortamlarında hem de saha testlerinde kullanılan robotların başında Pioneer 3-DX ve Coroware firmasının ürettiği Corobot adlı robotlar gelmektedir [6,7]. Bunlardan Pioneer 3-DX robotu Adept Mobile Robots firmasının geliştirdiği benzetim ortamında geniş kullanım alanına sahipken aynı zamanda sahip olduğu modeli ile de diğer ortamlarla bütünleştirmek mümkündür. Coroware firmasına ait olan Corobotlar ise yine Windows tabanlı kendi yazılımlarına sahiptir. Bu robotlar üzerinde lazer, kamera, ultrasonik algılayıcılar bulunmakta olup çoklu robot grupları ile otonom devriye sisteminde kullanılmaktadırlar. Bunlardan sırası ile Pioneer firmasına ait olan DX-3 robotu şekil 2.1’de ve Coroware firmasına ait olan Corobot ise şekil 2.2’de görülmektedir. Şekil 2.3’de ise Corobot grupları ile gerçekleştirilen bir çoklu robot uygulaması örneklendirilmiştir.



Şekil 2.1 Pioneer 3DX robotu [6]



Şekil 2.2 Coroware firması tarafından geliştirilen corobot [7]



Şekil 2.3 Corobot’larla çoklu grup uygulaması [8]

2.1 Önerilen Sistem Hakkında Bilgiler

Kontrol merkezi birimi önerilen sistemin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Genel sistem yönetimi, koordinasyonun sağlanması, görev dağılımı, haberleşme ve saldırı tespiti alt sistemleri kontrol merkezinin sorumluluğu altındadır. Sistemdeki bütün diğer robotlar kontrol merkezi tarafından yönlendirilir ve temel olarak iki görevleri vardır:

1. Her robot bulunduğu çevrenin alt-haritasını oluşturur ve haritayı ana kontrol merkezine yollar. Kontrol merkezi bu alt haritalardan korunan bölgenin genel haritasını oluşturur. Kontrol merkezi genel haritayı oluşturduktan sonra bu haritayı diğer robotlara yollar. Bu işlem önerilen sistemin ilk adımıdır.
2. Genel harita hazır olduğunda, her bir robot kontrol merkezinden aldığı komutlarla belirli bir bölgede devriye gezmeye başlar. Eğer bir saldırgan robot tarafından tespit edilirse robot derhal bunu kontrol merkezine bildirir. Şüpheli nesnenin koordinatları saldırgan olup olmadığını tespit etmek amacıyla kontrol edilerek karar verilir. Karar verme sürecinin doğruluğunu artırmak ve yanlış alarmları önlemek için çoklu algılayıcı füzyonu da ayrıca uygulanmaktadır.

2.2 Tasarım Unsurları

Sistemde koordinasyon ve görev dağılımı, haberleşme, harita oluşturma ve saldırgan tespiti alt-sistemleri yer almaktadır.

2.3 Koordinasyon ve Görev Paylaşımı

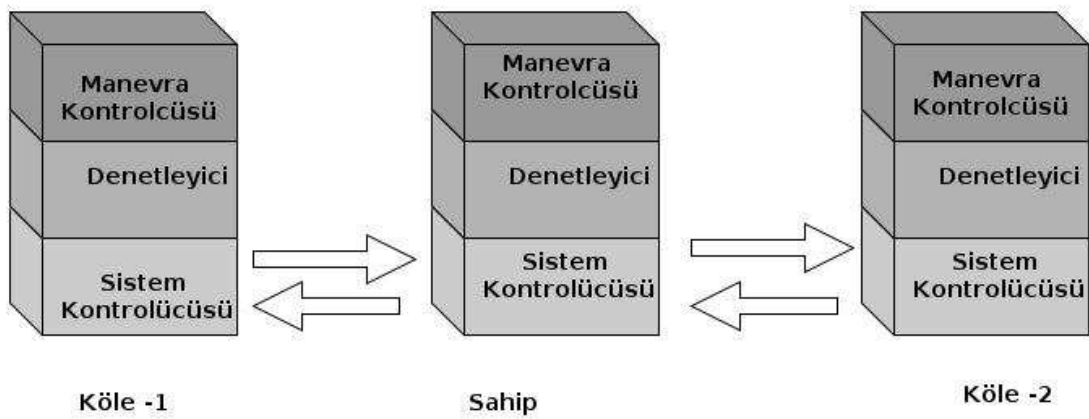
Çoklu robotlar arasında gerçekleştirilecek koordinasyon ve görev dağılımı gibi işlemler için robotlar arasında bilgi paylaşımı yapılabilmesi gerekmektedir. Bu da hem robotlar arası bir iletişim sistemini gerekli kılmakta hem de robotların bu iletişim sistemi üzerinden uzlaşabileceği altyapıyı zorunlu kılmaktadır [9]. Çoklu-robot uygulamasında robotlar arasında paylaşılan veriler uygulanan senaryoya göre robotların durumları, pozisyonları, algılayıcı bilgileri veya ortamın yerel haritası gibi veriler olabilir. Genel olarak çoklu robotlar arasındaki uzlaşma problemi x_i i robotunun veri durumunu, yani robotları koordine etmek için gereken veriyi, t zaman adımını ve N de robot sayısını göstermek üzere (2.1) nolu denklemle ifade edilebilmektedir:

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^N \alpha_{i,j}(t) x_j(t) \quad (2.1)$$

Uzlaşma noktası bütün robotların yakınsadığı bilgi durumu değeridir. Robotlar arası haberleşme ağı bir graf ile modellenmektedir.

$\alpha_{i,j}$ grafın yay setini tanımlamaktadır. Graftaki her bir düğüm robotları ifade etmektedir. Eğer $\alpha_{i,j} = 0$ ise robot i ve robot j arasında haberleşme mevcut değil demektir. Burada hedeflenen temel amaç performans ölçümü için uzlaşma mekanizması için atanan maliyet fonksiyonunu minimize etmektedir. Bunun için de yakınsamayı garanti eden $\alpha_{i,j}$ değerleri belirlenmelidir. Son dönemde veri haberleşmesi alanında büyük gelişmeler yaşanmış olsa da önerilen koordinasyon mimarisinde haberleşme kayıpları ve gecikmeler de göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla önerilen senaryoda bu tür durumlar da göz önüne alınarak daha gerçekçi bir yöntem sunulmuştur.

Bu çalışmada, geniş alanlı güvenlik uygulamalarında haberleşmenin bazı bölgelerde kaybolabileceği düşünülerek haberleşme fazı ve hareket fazı olmak üzere iki bölümden oluşan bir haberleşme sistemi kullanılmıştır. Sistemin haberleşme fazında robotlar hedef noktalarını belirlemek üzere aralarında mesajlaşmaktadırlar. Hareket fazında ise robotlar belirlenen hedef noktalarına yönelmektedirler. Robotların koordinasyonu 3 ayrı durumdan oluşan bir geçiş sistemi olarak tanımlanmıştır. Bu durumlar Koordinasyon, Konfigurasyon yenileme ve hareket durumlarıdır. Devriye görevi de koordinasyon, hareket ve koordinasyon şeklinde bir döngü olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.4 Katmanlı kontrol mimarisi [10]

Bu çalışmada bir grup gezgin robotu belirli bir görev için koordine etmek hem ayrıklı hem de sürekli dinamik davranışlarını içermektedir. Dolayısıyla Şekil 2.4’de gösterilen katmanlı bir kontrol yapısı gerektirmektedir. Önerilen kontrol sisteminde her bir robot için sistem denetleyici, yerel yönetici ve manevra denetleyicisinden oluşan üç katmanlı bir kontrol yapısı bulunmaktadır. Sistem denetleyicisi robotların durum-tabanlı koordinasyonunu sağlamakta ve devriye sırasında hedef noktalarını belirlemektedir. Yerel yönetici gerçekleştirilecek olan manevraları belirleyip aynı zamanda sistem denetleyicisine hata durumlarının idaresinde yardım etmektedir. Manevra denetleyicisi yerel yönetici tarafından belirlenen manevraları yorumlayarak bunları gerçekleştirmekte ve yerel yöneticiye manevranın başarılı olarak gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği hakkında bilgi vermektedir. Önerilen mimaride birçok robot bulunduğundan her bir robotun sistem denetleyicisi diğer robotlarla koordinasyondan sorumludur. Ayrıca önerilen sistemde bir kontrol merkezi bulunduğundan robotların

sistem denetleyicilerinin uydu modunda çalıştığı farzedilmektedir. Kontrol merkezinde çalışan sistem denetleyicisi uydu modunda çalışan sistem denetleyicilere komutlar göndermekte ve sistem denetleyicileri de kontrol merkezine raporlamaktadırlar. Dolayısıyla haberleşme altyapısı önerilen sistemin en önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır.

2.4 Gezgin Robot Gruplarında İletişim

Önerilen sistemin ağ mimarisi hareketli çoklu düğümlerden oluşan bir kablosuz ağa dayanmaktadır. Düğümler gezgin robotları, sabit bir düğümü ve kontrol merkezini içermektedir. Önerilen sistem otonom ve kendi kendini konuşlandıran bir sistem olduğundan sistemde erişim noktaları (access points) bulunmamaktadır. Dolayısıyla koordinasyon ve görev dağılımı alt sistemleri kullanılan kablosuz hattın sinyal/gürültü oranını (SNR) hesaba katmalıdır. Düğümler arasında ad-hoc yapıda bir kablosuz ağ oluşmaktadır. Sistemin fiziki ve veri link katmanlarında IEEE 802.11g standardı kullanılmaktadır. Bu standart saha testlerinde kullanılması planlanan Corobot [7] adlı mobil robotlar tarafından da desteklenmektedir. Kablosuz ağ 2.4 GHz kanalını kullanmakta ve 54 Mbps iletişim hızına sahiptir. Kablosuz kanalın zayıflaması boşluk yayılımı farzedilerek hesaplanmıştır. Robotlar tarafından oluşturulan alan haritasında engeller bulunuyorsa, gerçek dünya şartlarının benzetimini tam olarak yapabilmek için fazladan bir zayıflama faktörü koordinasyon ve görev dağılımı alt sistemi tarafından otomatik olarak eklenmektedir. Ayrıca haritada bulunmayan engelleri ve kablosuz sinyalin dağılma ve yansımaları ifade etmesi için küçük bir logaritmik-normal gölgeleme faktörü de modele ilave edilmektedir.

Önerilen sistemin ağ katmanında “flooding routing” protokolü kullanılmaktadır. Her bir robot aldığı bütün paketleri kendisi hedef birim olmadığı veya paket daha önceden iletilmemiş olduğu sürece komşu robotlara iletmektedir. “Flooding routing” algoritması paketlerin fazladan kopyalarının oluşmasıyla ağı fazladan yükleyen basit bir model olmasına rağmen [14] ve [15]’de gösterildiği gibi kısıtlı sayıda paket gönderilen küçük ağlarda kabul edilir seviyelerde performans gösterebilmektedir.

Mobil robotlarda iletişim genel olarak mesh ve ad-hoc şebekeler olarak iki sistem üzerinden incelenebilir. Mesh şebekelerde iletişim kurulurken belli düğümler kendi

verilerini şebekeye iletme yanında diğer düğümlerin verilerini de iletme görevi görürken ad-hoc şebekelerde önceden yapılmış böyle bir görev dağılımı yoktur. Ad-hoc şebekelerde diğer düğümlerden gelen verilerin iletilip iletilmemesi şebeke içerisinde ve dinamik olarak belirlenir. Ad-hoc şebekeler her bir düğümün eşit statüde olduğu ve herhangi bir düğümlerle iletişime geçebildiği dinamik şebekelerdir.

Kablosuz ağ yapılarının modellenenbilmesi için hem uygulama katmanında hem de iletim (MAC) katmanında belirli modellere ihtiyaç vardır. Bu modeller deterministik veya olasılıksal olabilir. Yapılacak uygulamalarda elde edilmek istenen sonuçlara göre model seçimi yapılabilir [16].

Çalışmada kullanılan Prowler aracı MATLAB yazılımı üzerinde çalışabilen bir olay-güdümlü kablosuz ağ benzetim paketidir [17]. Paket içerisinde çeşitli veri yönlendirme algoritmaları modellenenbilmektedir. Algoritmaların test edilmesi ve prototip geliştirilmesi için görsel bir arayüze ve veri görselleştirme araçlarına sahiptir.

2.5 Harita Oluşturma ve Devriye Sistemi

Önerilen sistemin harita oluşturma ve devriye alt sistemi ortamın haritasının oluşturulmasından ve saldırgan tespitinden sorumludur. Harita oluşturma bütün sürecin ilk bölümünü, saldırı tespiti de son bölümünü oluşturmaktadır. Robotik harita oluşturma uygulamaları için farklı algoritmalar bulunmaktadır. Robotik harita oluşturma Eş Zamanlı Konumlama ve Harita Oluşturma (SLAM) probleminin bir parçasıdır. SLAM bilinmeyen bir çevrenin haritasını hareketli bir robot ile elde edilen gürültülü yer işareti ölçümlerinden çıkarma sürecidir [1],[6]. Çoklu robotların kendi aralarında koordineli çalışması tek bir robotun harita çıkarmasından daha büyük bir potansiyel barındırmaktadır [2]. Bu süreç Çoklu-robot SLAM olarak bilinmektedir. Bu çalışmadan genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) tabanlı SLAM uygulanmıştır. EKF birden fazla algılayıcıdan gelen ölçümlerin kolay entegrasyonunu sağlamaktadır. []Harita oluşturma ve saldırgan belirleme süreçlerinde kesinliği artırmak ve yanlış alarmları önlemek için çoklu-algılayıcı füzyonu kullanıldığından bu çalışmada EKF tercih edilmiştir. EKF yer işareti (landmark) tabanlı bir harita kullanmakta ve iki aşamada çalışmaktadır: kestirim ve güncelleme aşamaları. Kestirim aşamasında komut $u(k)$ ve

robotun hareket modeli kullanılarak robotun konumu kestirmeye çalışılır. Ardından güncelleme aşamasında yer işaretinin konumunun güncellenmesi ve robotun konum kestiriminin iyileştirmek amacıyla yeni gözlem değeri $z(k)$ ve ultrasonik mesafe ölçer algılayıcılar kullanılmaktadır.

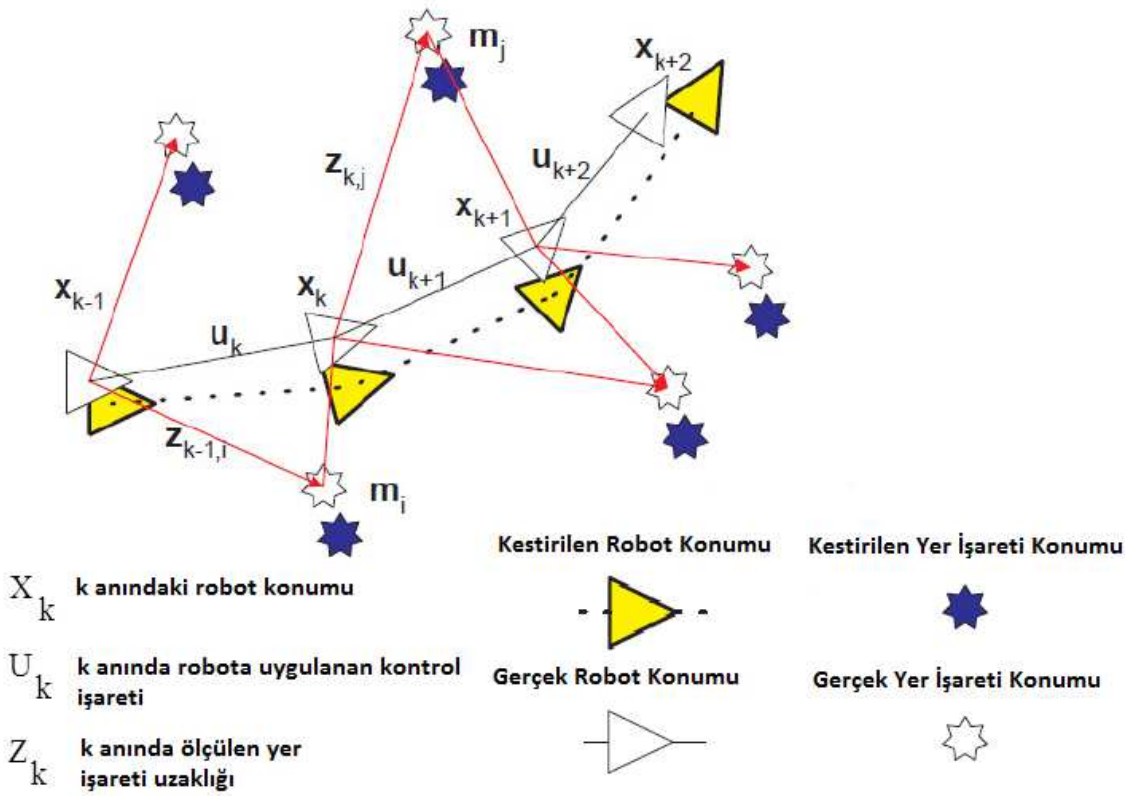
EŞ ZAMANLI KONUM BELİRLEME VE HARİTALAMA (SLAM)

3.1 Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama

Robotik alanında son yıllarda en çok araştırma yapılan alanlardan birisi eşzamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) konusudur. SLAM genel olarak bir gezgin robotun üzerindeki algılayıcılar aracılığıyla otonom olarak bulunduğu ortamın haritasını çıkarması ve bu harita üzerinden de kendi konumunu belirlemesi olarak ifade edilebilir. SLAM robotların tamamen otonom hale gelmeleri açısından en önemli problemlerden birisidir. Otonom bir robot şu üç soruyu cevaplamak zorundadır:

- Nereden başladım?
- Neredeyim?
- Nereye gidiyorum?

Otonom robot başlangıçta boş bir harita ile başlar. Üzerindeki konum algılayıcıları ile istenilen noktaya ulaşmak için kendi konumunu belirlerken bir yandan da çevresindeki cisimleri algılayarak haritaya işler. Bu işlemi sürekli olarak gerçekleştirerek konumunu günceller. Konum ve haritalandırmadaki hatalar algılayıcılarının doğruluğuna ve hassasiyetine bağlıdır.



Şekil 3.1 Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (SLAM) [11]

Şekil 3.1’de otonom bir araçtaki SLAM süreci görülmektedir. X_{k-1} aracın başlangıç konumunu, u_k aracın k anındaki konumuna gelmesi için uygulanan kontrol işaretini ve $X_{k,j}$ aracın k anında j. cisme ait ölçüm sonuçlarını gösterir. Koyu renkli yıldız şekilleri cisimlerin gerçekte bulunduğu konumu, koyu renkli üçgenler de aracın gerçek konumunu belirtmektedir. Açık renkli şekiller ise gerçek konumları göstermektedir. Araç belirli hata payları ile algılayıcıları ile algıladığı cisimleri haritaya eklemekte ve aynı zamanda konumunu güncelleyerek belirtilen yolu takip etmektedir.

Eş zamanlı konum belirleme ve haritalama işlemlerinde genel olarak veri ilişkilendirme, çevrenin zamanla değişmesi ve hesaplama ve gürültü problemleri gibi sorunlar bulunmaktadır.

Araç haritalandırma sırasında aynı cisme ait birden fazla ölçüm yapabilir. Yaptığı ölçümleri aynı cisimle ilişkilendiremediği durumlarda haritada hatalar oluşabilir. Ayrıca kestirim algoritmasında oldukça büyük boyutlu matrisler ortaya çıkacağından bu hesaplamaların yapılmasında da büyük işlem gücü gerekebilmektedir. Ölçüm yapılan

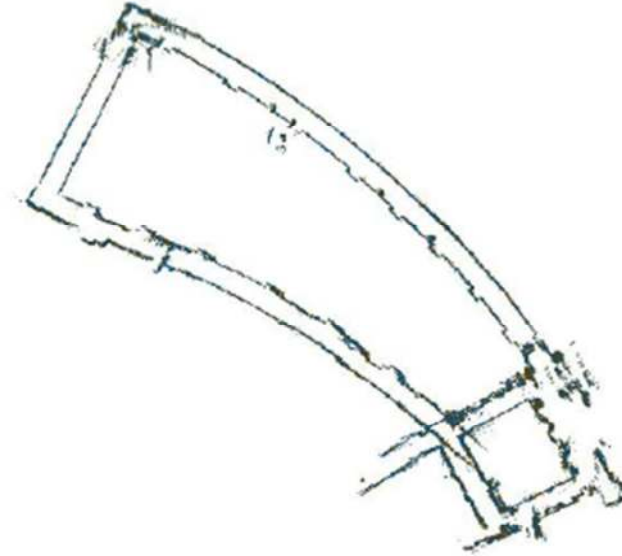
algılayıcılarının hassasiyetleri ve gürültü seviyeleri de ölçüm hatalarına sebep olur. Son olarak da haritalaması yapılan ortamın zamanla değişmesi, ortama giren veya çıkan cisimlerin bulunması haritalandırmayı zorlaştıran etkenlerdendir.

3.2 Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalamada Karşılaşılan Problemler

EZHKB sürecinde algılayıcılardan ve aracın kendi yapısından kaynaklanan bazı problemlerle karşılaşılır. Bunların en önemlileri veri ilişkilendirme, hesaplama süresi, gürültü ve çevrenin zamanla değişmesi problemleridir.

3.3 Veri İlişkilendirme Problemi

Veri ilişkilendirme problemi aracın daha önce geçtiği bir noktadan tekrar geçtiğinde daha önceden tanımladığı cisimleri tanıyabilmesi ve aynı cisimler olduğunu fark edebilmesidir. Araç aynı cisimlerle tekrar karşılaştığında bu cisimlerin farklı cisimler olduğunu bilebilmesine veri ilişkilendirme denilmektedir. Eğer araç kapalı bir döngü tamamladıktan sonra başladığı noktaya geldiğini anlayamazsa hatalı bir yörünge oluşur.



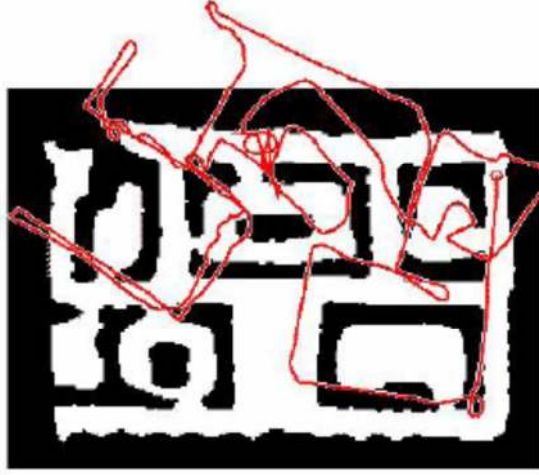
Şekil 3.2 Dairesel bir ortamda oluşan veri ilişkilendirme hatası [12]

3.4 Hesaplama Süresi Problemi

EZHKB sırasında kestirim algoritmalarının hesaplanması işlemci üzerinde çok uzun sürebilmektedir. Özellikle büyük boyutlu matrisler üzerinde ters alma gibi işlemler oldukça fazla işlem gücü gerektirmektedir. SLAM sürecinde yeni cisimler algılandıkça bunlar haritaya eklenmekte ve her seferinde yeni hesaplamalar yapılmaktadır. SLAM sürecinde haritalama ve konum belirleme işlemleri eş zamanlı olarak yürütüldüğünden bu işlemlerin hızlıca gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Hızın yetersiz kaldığı durumlarda hesaplama hataları oluşabilir.

3.5 Gürültü Problemi

Her ne kadar teknolojiye gelişmelerle daha kesin ve doğru sonuçlar üreten algılayıcılar üretilmeye başlansa da hala algılayıcı ölçümlerinde belirli hatalar mevcuttur. SLAM sürecinde ölçüm yapılan algılayıcılarının oluşturduğu hatalar da temel problemlerden birisidir. Ayrıca sistemin yapısından ve çevresel etkilerden kaynaklanan gürültüler de algoritmaların yanlış çalışmasına ve haritalama işleminde hatalara neden olabilmektedir. Gürültü problemine karşı kullanılan çözümlerden birisi ileriki bölümlerde ele alınacak olan Genişletilmiş Kalman Filtresidir. GKF lineer olmayan sistemlere uygulanabilmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta gürültülerin yapısının Gauss yapıda olmasıdır. Ayrıca ölçüm hataları arasındaki korelasyona da dikkat edilmelidir. Ölçümlerdeki hataların birbirine bağımlılığı, hangi hatanın sonuçta daha etkin olduğu gibi noktalar belirlenmelidir.



Şekil 3.3 Ölçüm hatası sonucu haritalamada oluşan kayma [12]

3.6 Çevrenin Zamanla Değişmesi

SLAM sürecinde aracın bulunduğu çevrede düzgün geometriye sahip olmayan farklı cisimler bulunabilir. Algılayıcılar belirli mesafe ve açı değerleri elde ederler. Haritadaki noktalar birleştirilerek cisimler oluşturulur. Çoğu zaman robotların bulunduğu ortamdaki cisimlerde değişiklikler meydana gelebilir. Ortamdaki cisimlerin yer değiştirmesi sonucu oluşan dinamik ortam SLAM sürecini zorlaştırır. Literatürde kullanılan algoritmaların çoğunluğu ortamın statik olduğu varsayımına göre çalışmaktadır.

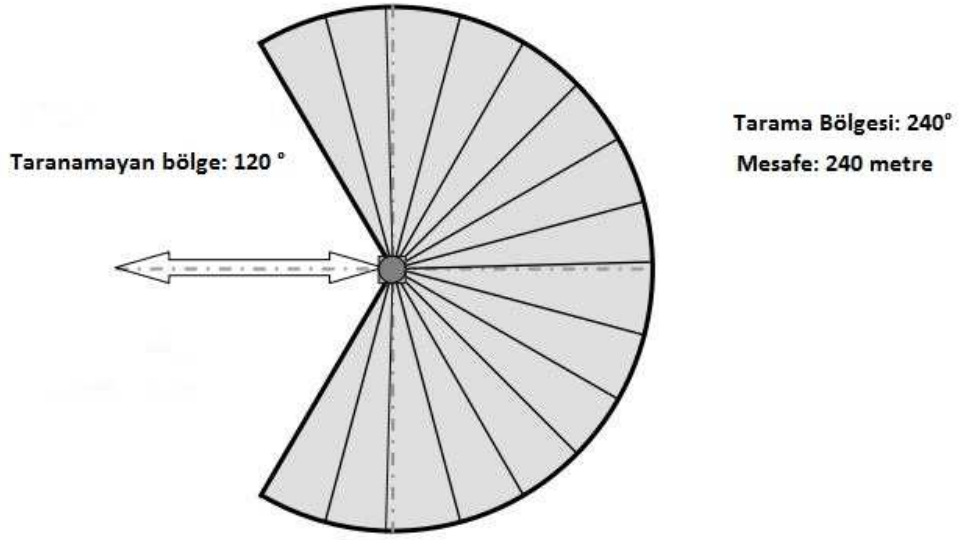
3.7 EZHKB sürecinde kullanılan algılayıcılar

EZHKB sürecinde çeşitli algılayıcılardan yararlanılmaktadır. Bu algılayıcıların başında ortamın tanınmasını sağlayan lazer ve ultrasonik mesafe ölçerler, enkoder ve kameralar gelmektedir. Mesafe ölçüm algılayıcıları ile elde edilen ölçümlerden ortama ait özellikler çıkarılarak haritanın oluşturulması sağlanmaktadır.



Şekil 3.4 Hokuyo lazer mesafe ölçüm algılayıcısı [13]

Bu duruma bir çözüm getirilmesi adına lazer mesafe bulucu adı verilen algılayıcılar geliştirilmiştir. Lazer mesafe bulucu algılayıcılar temel olarak lazer ışınlarını kullanarak, tasarımlarına göre 240 ile 360 derece arasında çok geniş açılarda mesafe okuma işlemi yapabilirler. Mantık itibarıyla bir lazer ışını gönderme ve alma mekanizması, tasarımda belirlenen açı aralığı boyunca 100 milisaniye gibi çok kısa zaman aralıklarında bir tarama çevrimini bitirir ve sonucu döndürür. Piyasada bulunabilen ve araştırmacı ile geliştiricilerin kullanımına yönelik lazer mesafe bulucu algılayıcılar mesafe okuma aralığı, 4 ile 6 metre arasında mesafelere kadar %3 gibi düşük hata oranlarıyla çalışmaktadır. [13]



Şekil 3.5 Lazer mesafe ölçer tarama bölgesi

Ses dalgalarını kullanarak mesafe ölçen sonar algılayıcılar de uygun maliyetleri nedeniyle EZHKB sürecinde tercih edilen bir başka algılayıcı tipidir. Sonar algılayıcılar ürettikleri ses dalgalarının karşılaştıkları engellere çarparak geri dönmelerini ölçerek mesafe hesaplanması prensibine dayanmaktadırlar. Değişik modelleri bulunan sonar algılayıcılarla 5-6 metreye kadar mesafeleri 2-3 cm hassasiyetle ölçmek mümkündür. Birden fazla sonar algılayıcı aynı robot üzerinde kullanılarak geniş açılarda ölçümler alabilmek mümkündür [14].



Şekil 3.6 Maxbotix sonar algılayıcı [14]

EZHKB sürecinde bütün bu algılayıcılar yanında mobil robotların konumlarının ölçülenmesinde teker pozisyon kodlayıcı (encoder) algılayıcıları, GPS (global positioning system) modülleri ve ataletsel ölçüm üniteleri gibi araçlar da kullanılmaktadır. Bütün bu algılayıcı modüllerinden elde edilen verilerle robota ait konum bilgisi ve ortamın haritalama işlemleri için girdiler oluşturulmaktadır. Şekil 3.7’de GPS modülü ve bir tekere bağlı olan kodlayıcı görülmektedir.



Şekil 3.7 GPS modülü ve teker pozisyon kodlayıcı algılayıcılar

3.8 Kalman Filtresi

Kalman filtresi Macar asıllı Amerikan matematiksel sistem teorisyeni Rudolf Kalman tarafından geliştirilmiş olan, dinamik bir sisteme ait gürültülü ölçümlerden sistem durumunu en düşük hata ile verebilen bir filtredir.

Eğer sistem gürültüsü Gauss dağılımı özelliği gösteriyorsa Kalman filtresi kullanılabilir. Kalman filtresi sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için oldukça uygun bir araçtır. En çok kullanılan durum tahmin filtresi olan Kalman filtresi lineer tahmin problemlerinde en küçük hatayı vermektedir. Gelenekselleşmiş olan ve en sık kullanılan durum tahmin filtresi Kalman Filtresidir. Kalman filtresinin en önemli özelliklerinden birisi de yeni durumun kestirimi için sadece bir önceki kestirim ve yeni ölçüm değerlerine ihtiyaç duymasıdır.

Kalman filtresinin en temel iki özelliği şunlardır:

- Eldeki ölçüm verilerine dayanarak bir sonraki durumu kestirir ve daha sonra gelen ölçümlerle kestirilen durumu günceller
- Doğrusal sistemler için kullanılır.

Doğrusal sistemlerde en iyi sonucu veren filtre olması sebebiyle birçok uygulamada kullanılabilmektedir. Kalman filtresi aynı anda yalnızca bir tahmin üretebilir.

Kalman Filtresi iki tür gürültü altında en iyi sonuçları vermektedir: Süreç Gürültüsü (Q) ve ölçüm gürültüsü (R). Amaç, ölçüm ve işlem gürültülerinin etkilerini en aza indirmek ve hedefin gelecekteki kinematik davranışını tahmin etmektir.

Doğrusal bir sistem (3.1) ve (3.2) denklemleriyle ifade edilebilir:

Durum denklemi

$$X_{k+1} = AX_k + Bu_k + Q_k \quad (3.1)$$

Çıkış denklemi

$$y_k = Cx_k + R_k \quad (3.2)$$

A, B, C, matrisleri durum uzay modelinin durum, giriş ve çıkış matrisleridir. X sistem durumunu, u sisteme uygulanan giriş sinyalini, y sistem çıkışını Q ve R ise sırasıyla süreç ve ölçüm gürültülerini ifade etmektedir.

Bu bileşenler genellikle birden fazla eleman sahiptir ve vektör / matris biçiminde ifade edilirler. x vektörü sistemin mevcut durumuyla ilgili tüm bilgiyi taşır ancak x doğrudan ölçülemez. Bunun yerine x'in bir fonksiyonu olan ve R gürültüsü ile bozulmuş olan y doğrudan ölçülebilir. Y üzerinden x'in kestirimi yapılabilir ancak y çıkışı da gürültü etkisi altındadır.

Y ölçümlerine dayanarak x durumlarının kestirilmesi istenildiğinde belirli şartları sağlayacak bir kestiriciye ihtiyaç duyulur. Bu kestirici şu iki gerekliliği yerine getirmelidir:

- Durum değişkenin kestirimlerinin ortalamasının, gerçek sistemin değerlerinin ortalamasına eşit olması istenir. Bu durumda kestirimlerin bir yöne meyiletmesi önlenmiş olur. Matematiksel ifadesiyle kestirimin beklenen değeri durumun beklenen değerine eşit olmalıdır.
- Durum kestirimi gerçek durum değerine olabildiğince eşit olmalıdır. Böylece sadece ortalamanın doğruluğu değil aynı zamanda kestirilen değer kendisinin gerçek değerden sapması da azaltılmış olur. Başka bir deyişle hatanın varyansını en küçük yapan kestiriciye ihtiyaç vardır.

Kalman filtresi yukarıda sayılan bütün özellikleri yerine getirebilmektedir. Ancak Kalman filtresinin uygulanabilmesi için bazı ön kabullerin yapılması gerekir. Birinci kabul durum ve ölçüm gürültülerinin ortalama değerlerinin sıfır olması, ikinci kabul ise ölçüm ve durum gürültülerinin herhangi bir k anında birbirinden bağımsız olduğudur.

Kalman Kazancı (K)

Kalman kazancı yeni tahminde elde edilen ölçümlerin ne derece etkili olacağını belirtir.

Ölçüm gürültüsü azaldığında Kalman kazancı artar. Kestirim hatasının kovaryansı ve tahmini ölçüm ile gerçek ölçüm arasındaki farkın kovaryansı Kalman kazancını belirler. Kovaryans, iki değişkenin ne kadar birlikte değiştiğidir.

İşlem (süreç) gürültüsü varyansı Q

Q küçük alındığında sistem çalışmasını kararlılığa zorlar ve filtrelenmiş orijinal bileşenin hareket dinamiğinde meydana gelen değişiklikleri iyi takip edemez; sapmalar gösterir. Q büyük alındığında ise değişiklikleri yakından takip edebilmektedir.

Ölçüm gürültüsü varyansı (R)

Kalman filtresinin ölçüm değerleri için kabul edilebilecek titreşim bileşenlerinin değişim miktarını belirler. R küçük alındığında sistem ölçüm değerlerini doğruya yakın kabul eder ve hareketteki değişimleri takip edebilir. R büyük alındığında ise sistem ölçüm değerini hatalı kabul eder ve değişmelere gecikmeli olarak tepki verir. R sıfıra yaklaştıkça ölçüm daha güvenilir olur.

Kalman filtresinin en önemli avantajları şunlardır:

- Filtrenin bant genişliği tanımlanmış olan hareket modeli ve ölçüm modeline göre otomatik olarak değişir. Böylece filtrenin parametreleri modelleme sınırları içinde hedefin değişen koşullarına kendiliğinden uyum sağlar.
- Alınan ölçümlerle filtre, kovaryans matrisini kendiliğinden günceller. Kovaryans matrisi filtresinin tahminlerdeki başarımını gösterir. Bu değer hareket tahmini için önemli ipuçları verir. Kazanç başka bir mekanizmaya ihtiyaç duymadan değiştirilir.
- Mevcut bütün filtreler arasında kestirim hatasını minimize tek filtredir.

Avantajları yanında Kalman filtresinin şu dezavantajları bulunur:

- Kovaryans matrisi seçiminde zorluklar yaşanması muhtemeldir. Bu matrisin gerçeğe çok yakın seçilmesi gerekir.
- Sabit katsayılı diğer filtre tiplerine göre çok daha fazla işlem gücü gerektirir.

Hedef dinamik sürecin dinamikleri (3.3) ile ifade edilir.

$$X(t_{k+1}) = FX(t_k) + Gw(t_k) \quad (3.3)$$

$$\hat{x}(k | k-1) = F(\hat{x}(k-1 | k-1)), u(k) \quad (3.4)$$

Zaman Güncelleme Denklemleri

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^- &= A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \\ \bar{P}_k &= AP_{k-1}A^T + Q\end{aligned}\tag{3.5}$$

Ölçüm Güncelleme Denklemleri

$$\begin{aligned}K_k &= \bar{P}_k H^T (H \bar{P}_k H^T + R)^{-1} \\ \hat{x}_k &= \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-) \\ P_k &= (I - K_k H) \bar{P}_k\end{aligned}\tag{3.6}$$

3.9 Genişletilmiş Kalman Filtresi

Kalman filtresinin doğrusal olmayan sistemlere uygulanabilmesi için genişletilmiş Kalman filtresi (EKF) geliştirilmiştir. SLAM uygulamalarında kullanılabilen EKF ile eş zamanlı olarak bir harita oluşturmak ve bu harita aracılığıyla robota ait konum bilgisini elde etmek mümkündür. X matrisinin robotun güncel konumu (x, y , duruş açısı) ile yer işaretçilerinin konumlarını (x, y) sakladığı ve bu durumlara ilişkin hata kovaryanslarının P matrisinde olduğu kabul edilir.

Güncelleme aşaması gözlem modeli ve hata kovaryansının bir fonksiyonudur. Denklemlerde R ve Q matrisleri gözlem ve modeldeki gürültüyü ifade eder. Gürültü diğer birçok uygulamada olduğu gibi robotik sistemlerde de kaçınılmaz bir olgudur. EKF için kullanılan ayrık zamanlı doğrusal olmayan model (3.7) de gösterilmektedir. (3.7) de F doğrusal olmayan durum geçiş fonksiyonunu gösterir. Doğrusal olmayan gözlem modeli (3.8) ile ifade edilir.

$$x(k) = F(x(k-1), u(k), k) + w(k)\tag{3.7}$$

$$z(k) = H(x(k)) + v(k) \quad (3.8)$$

Durum tahmin denklemi (3.9) ile gösterilir.

$$\hat{x}(k | k-1) = F(\hat{x}(k-1 | k-1), u(k)) \quad (3.9)$$

Tahmin edilen kovaryans matrisi (3.10) ile gösterilir. (3.10) de $\nabla F_x(k)$ durum geçiş matrisinin Jacobienini gösterir.

$$P(k | k-1) = \nabla F_x(k) P(k-1 | k-1) \nabla F_x^T(k) + Q(k) \quad (3.10)$$

Bir gözlem gerçekleştirildiğinde durum vektörü (3.11) e göre güncellenir. (3.11) de $y(k)$ yeniliğı gösterir. Yenilik denklemi (3.12) de gösterilmektedir.

$$\hat{x}(k | k) = \hat{x}(k | k-1) + W(k)y(k) \quad (3.11)$$

$$y(k) = z(k) - H(\hat{x}(k | k-1)) \quad (3.12)$$

Kalman kazanç ve yenilik kovaryans matrisleri (3.13) ve (3.14) e göre hesaplanır. (3.14)' te $\nabla H_x(k)$ gözlem modelinin Jacobienini gösterir.

$$W(k) = P(k | k-1) \nabla H_x^T(k) S^{-1}(k) \quad (3.13)$$

$$S(k) = \nabla H_x(k) P(k | k-1) \nabla H_x^T(k) + R(k) \quad (3.14)$$

Güncellenmiş kovaryans matrisi ise (2.10) ile ifade edilebilir.

$$P(k|k) = (I - W(k)\nabla H_x(k))P(k|k-1)(I - W(k)\nabla H_x(k))^T + W(k)R(k)W^T(k) \quad (3.15)$$

3.10 Çoklu Algılayıcı Algılayıcı Füzyonu

Akıllı sistemler bir operatör kontrolü olmadan çevreleriyle etkileşimde bulunabilmek için algılayıcılar kullanır. Algılayıcılarından aldıkları bilgiler sayesinde sistemler kendi içerisindeki dış dünya modelini güncelleyerek değişikliklere uyum sağlarlar.

Algılayıcılar genel olarak yapıları itibarıyla ölçümlerinde belirli hata paylarına sahiptirler. Aynı büyüklüklerin ölçülebildiği her bir algılayıcının hassasiyeti ve doğruluğu birbirinden farklı olabilmektedir. Sistemlerin faydalandığı algılayıcı hataları ölçümlerde ve bu ölçümlerin kullanıldığı kestirim ve güncelleme işlemlerinde de hatalar oluşmasına sebep olmaktadır.

Çoklu algılayıcı füzyonu doğruluk değerleri ve hassasiyeti birbirinden farklı algılayıcılardan alınan verilerin birleştirilmesiyle sistemdeki belirsizliğin azaltılarak daha kararlı ve doğru çalıştırılmasını sağlar. Ayrıca tek algılayıcılar algılanması zor olan nesnelerin algılanması ve değişik paralel işleme teknikleriyle sistemin daha hızlı çalışmasına da olanak sağlar [15],[16].

Akıllı sistemlerde aynı dış dünya verisini ölçmek için tek bir algılayıcı kullanımının yanında çoklu algılayıcı kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Algılayıcılar hem kendi yapıları itibarıyla hem de çevre şartlarından çeşitli hata paylarına sahiptirler. Çoklu algılayıcı füzyonu ile algılayıcı hatalarının etkileri minimize edilebilmektedir. Ayrıca birden fazla algılayıcı kullanımı herhangi bir algılayıcı sistemin çalışması esnasında arızalanması durumunda sistemin devamlılığını ve güvenilirliğini sağlamaktadır.

Çoklu algılayıcı füzyonu uzaktan algılama, insansız araçların kontrolü, otomatik güvenlik ve koruma sistemleri gibi alanlarda kendine yer bulabilmektedir.

Çoklu algılayıcı füzyonu gerçekleştirmek için birçok metot bulunmaktadır. Bu çalışmada Kalman Filtresi tercih edilmiştir.

Bu çalışmada lazer mesafe ölçer (LMÖ) ile oluşturulmuş yerel haritadaki yer işaretlerini işleyen ve renkli kameradan aldığı verilerle oluşturulan haritadaki verilerle ortak olan noktaları araştıran çoklu-algılayıcı füzyonu algoritması kullanılmıştır. LMÖ kullanılarak oluşturulmuş yerel haritada bulunan her bir yer işareti için, en yakın komşu ve Mahalanobis uzaklığı [16] kullanılarak kameradan alınan yerel harita ile uyumlu özellikler taranır. Sub-optimal kestirim ile çoklu-algılayıcı füzyon tabanlı yerel harita elde edilir. Aşağıda önerilen çoklu-algılayıcı süreci açıklanmaktadır.

z_L lazer mesafe ölçer ile alınan verilerden z_C ise kameradan alınan verilerden elde edilen özellikler olmak üzere, eğer (z_L^i, z_C^j) eşleşen bir çift ise (3.16) sağlanmalıdır.

$$f(z_L^i, z_C^j) = 0 \quad (3.16)$$

$$f(z_L^i, z_C^j) = h_{ij} + H_{ij}(z_L^i - \hat{z}_L^i) + J_{ij}(z_C^j - \hat{z}_C^j) \quad (3.17)$$

f fonksiyonu aşağıdaki denklemler kullanılarak doğrusallaştırılmıştır:

$$h_{ij} = f(\hat{z}_L^i, \hat{z}_C^j) \quad (3.18)$$

$$H_{ij} = \frac{\partial f}{\partial z_C^j} | (\hat{z}_L^i, \hat{z}_C^j) \quad (3.19)$$

$$J_{ij} = \frac{\partial f}{\partial z_L^i} | (\hat{z}_L^i, \hat{z}_C^j) \quad (3.20)$$

$$C_{ij} = H_{ij}C_L^i H_{ij}^T + J_{ij}C_C^j J_{ij}^T \quad (3.21)$$

C_L^i , z_L^i 'nin kovaryans matrisi ve C_C^j de z_C^j 'nin kovaryans matrisi olmak üzere D^2 Mahalanobis uzaklığına dayalı X^2 testi kullanılarak uyumluluk çıkarılmıştır [15].

Son adım olarak EKF ie veri füzyonu gerçekleşmiştir.

$$W = C_L^i H_{ij}^T (H_{ij} C_L^i H_{ij}^T + J_{ij} C_C^j J_{ij}^T)^{-1} \quad (3.22)$$

$$\hat{z}_{LC}^i = \hat{z}_L^i + W(-h_{ij}) \quad (3.23)$$

$$C_{LC}^i = (I - WH_{ij})C_L^i \quad (3.24)$$

BENZETİM ÇALIŞMALARI

Benzetim çalışmalarında, Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS) yazılım ortamında benzetimi yapılan Corobot adlı mobil robot ile çoklu algılayıcı füzyonunun avantajları gösterilmiştir. Ayrıca MATLAB yazılımı üzerinde çalışan Prowler kablosuz ağ benzetim modülü ile (2.4) 'te anlatılan robotlar arası iletişim modellenmiştir.

4.1 Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Araçlar

Benzetim çalışmalarında OpenCV görüntü işleme kütüphanelerinden, Microsoft Robotics Developers Studio yazılımlarından faydalanılmıştır.

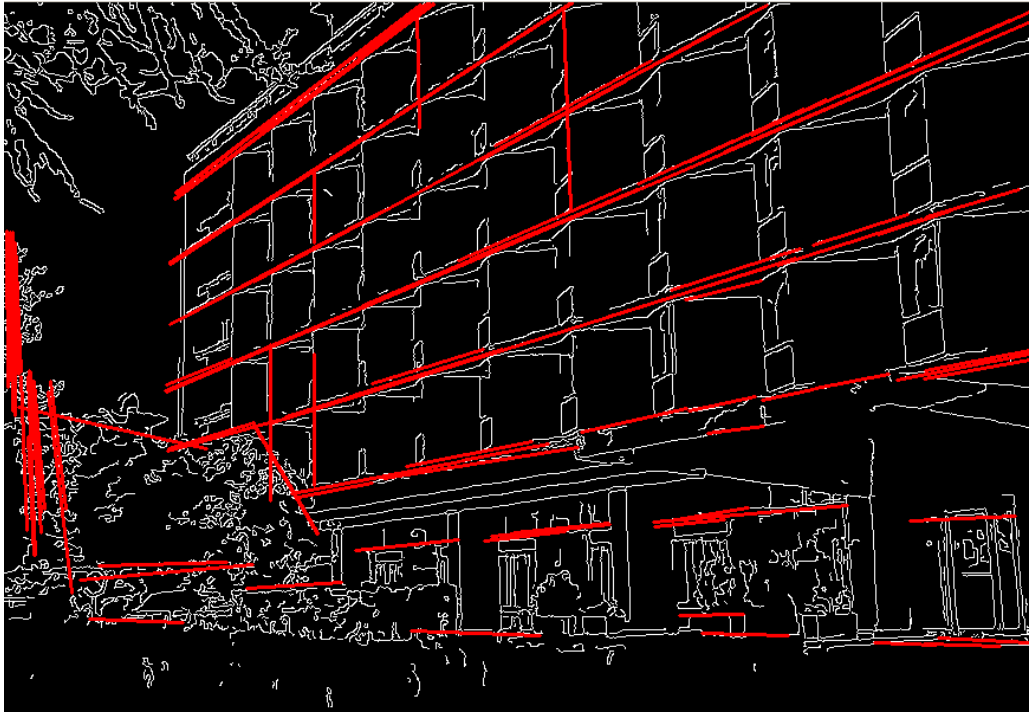
4.2 OpenCV Görüntü İşleme Kütüphanesi

Görüntü işleme kavramı genel olarak ayrık zamanda; elde edilmek istenen bir görüntüden yansıyan ışığa ait renk ve parlaklık bilgilerini, bir matris biçiminde sıralanmış piksel adı verilen birimler halinde sayısal algılayıcı üzerinden alıp, bu bilgilerin aydınlık değerleriyle oynanarak, görüntüdeki nesneleri algılama ve bu veriler ile yapılan işlemler bütünü olarak tanımlanabilir. Bir algılayıcı yardımıyla elde edilen birim zamandaki görüntü karesinde, her bir piksel ile işlem yapabilmek için matris hesaplamaları kullanılmaktadır. Çok miktarda verinin tek tek işlenilmesi gereken bu hesaplamalarda matris hesabının kullanılması yüksek oranda hesaplama kolaylığı sağlamaktadır. Bununla birlikte matris hesaplarının yapılması çoğu zaman, yüksek hız ve işlem kapasitesine sahip sayısal bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir.

Uygulama ortamı açısından baktığımızda yüksek hız ve işlem kapasitesi ve gerçek zamanlı işlemler için C, C++ benzeri düşük seviyeli sistem dilleri kullanmak, görüntü işleme açısından kritik öneme sahiptir. Ancak bu diller düşük seviyeli diller oldukları için, değişken dizi gibi temel birimleri barındırırlar. Matris gibi yüksek seviyeli matematiksel kavramlar standart olarak bu dillerde tanımlanmamıştır. Dolayısıyla görüntü işleme işlemleri için, öncelikle matris ve matris işlemlerini gerçekleştirebilen kütüphanelerin yazılması bir zorunluluktur.

Bu zorunluluklara karşılık, dünya çapında çeşitli kütüphaneler geliştirilmiştir. Ancak bunların içerisinde INTEL firması Rusya Ofisi tarafından geliştirilen açık kaynaklı OpenCV Kütüphanesi, tüm dünyada araştırmacılar ve geliştiriciler için standart kütüphane halini almıştır.

OpenCV kütüphanesi, C++ dili üzerine inşaa edilmiş; temel matris işlemleri, piksel bazında hesaplama işlemleri ile yüz tanıma, nesne tanıma, hareketli nesne tabibi, uygun ortam kurulumunda 3 boyutlu nesne tanıma gibi yüksek seviyeli görüntü işleme tekniklerini de barındıran, optimize edilmiş 2500'den fazla algoritma barındıran güçlü bir kütüphanedir.



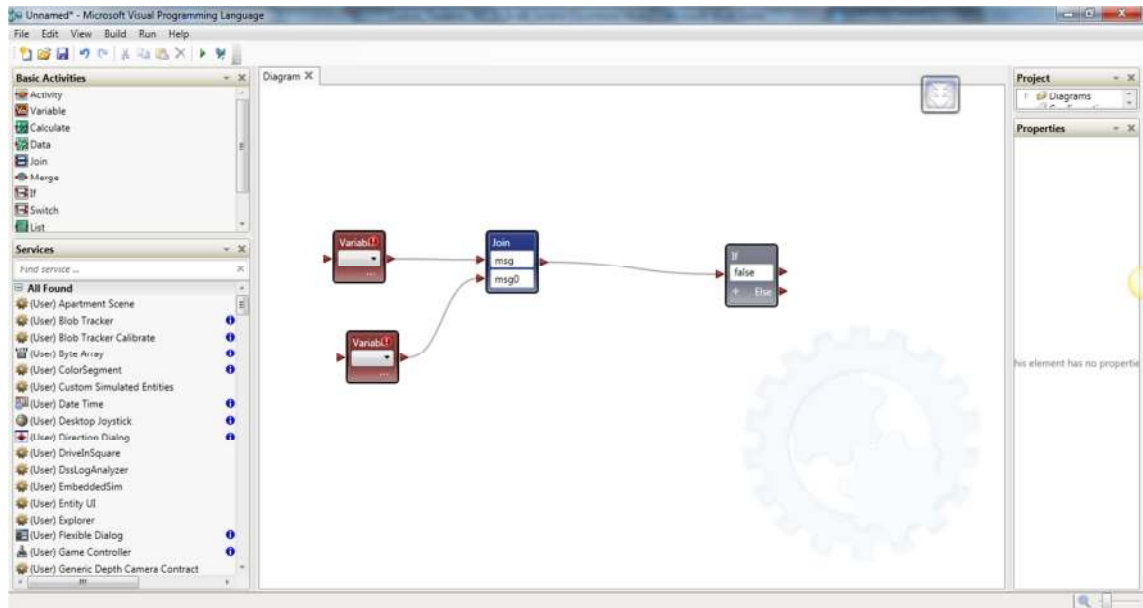
Şekil 4.1 OpenCV kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiş kenar belirleme örneği [17]

OpenCV kütüphanesinin dünya çapında 47000'den fazla araştırmacı ve geliştirmeçi tarafından desteklenmesinin bir sonucu olarak sadece C++ platformunda değil, Python, Java, Matlab, Robot Operating System(ROS) gibi platformlar altında da kullanılabilir. Ayrıca Microsoft .NET geliştirme ortamında kullanılmak üzere wrapper adı verilen ve OpenCV C++ kütüphanelerinin .NET ortamında kullanılmasını sağlayan kütüphaneler mevcuttur.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sırasında da benzetim çalışmaları Microsoft Robotics Developer ortamında gerçekleştirildiği için, OpenCV .NET wrapper kütüphanesi kullanılmıştır.

4.3 Microsoft Robotics Developer Studio

Robotics Developer, Microsoft firması tarafından, araştırmacı ve geliştiriciler için robotik kontrol ve benzetim uygulamalarına yönelik geliştirilen, Windows işletim sistemi tabanlı bir geliştirme ortamıdır. Özellikle .NET tabanlı birleşik kütüphaneler ile paralel işlem yapma ve görsel arayüzü ile web ve Windows tabanlı 3 boyutlu benzetim yapma, robot ve bileşenlerine(algılayıcı, hareketlendirici) kolay erişim sağlama yeteneklerine sahiptir. Bu özellikleri ile robotik uygulamaları için oldukça kolay ve hızlı geliştirme yapılabilen bir ortamdır.



Şekil 4.2 MRDS yazılımı arayüzü [18]

MRDS'in temel bileşenleri şunlardır:

CCR (Eş zamanlılık ve eş güdüm çalışma-zamanı -Concurrency and Coordination Runtime) – Değişik komponentler arası asenkron programlama yapmayı kolaylaştırır. Çeşitli sensörlerden girdiler alıp çeşitli eyleycilere çıktı sağlama gibi işlemleri kolay bir şekilde gerçekleştirmeyi sağlar. CCR kullanılarak klasik çok-prosesli programlama yapılarının kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Ayrıca farklı komponentler için hata ayıklama yapıları da bulunmaktadır. CCR MRDS ortamının temellerinden birisini oluşturmaktadır. CCR dinamik bağlanabilen bir kütüphane olarak herhangi bir .NET dili içerisinde kullanılabilmektedir.

DSS (Merkezi olmayan yazılım servisleri - Decentralized Software Services) CCR ile beraber kullanılabilen bir servisler yapısıdır. Temel olarak "Servis yönelimli mimari" temeline dayanır. Dağıtık ve modüler uygulamalar yazmaya imkan vermektedir. Gerçek zamanlı kontrol ve görselleştirmeye imkan sağlar.

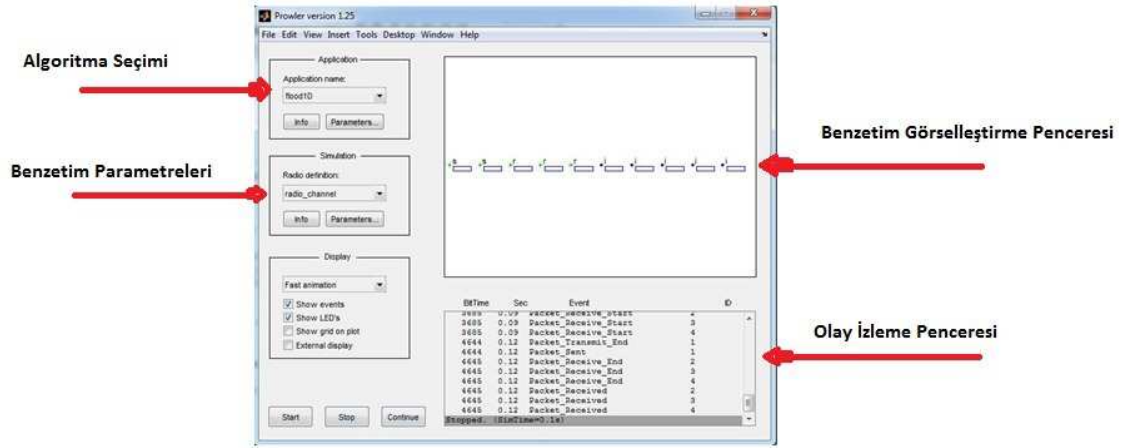
VPL (Microsoft Visual Programming Language) programların görsel olarak yazılabilmesini ve hata ayıklama yapılabilmesini sağlayan görsel bir programlama dilidir.

"Visual Simulation Environment" robotların davranışlarını 3 boyutlu sanal bir ortamda benzetiminin gerçekleştirilebilmesini sağlayan animasyon teknolojisidir.

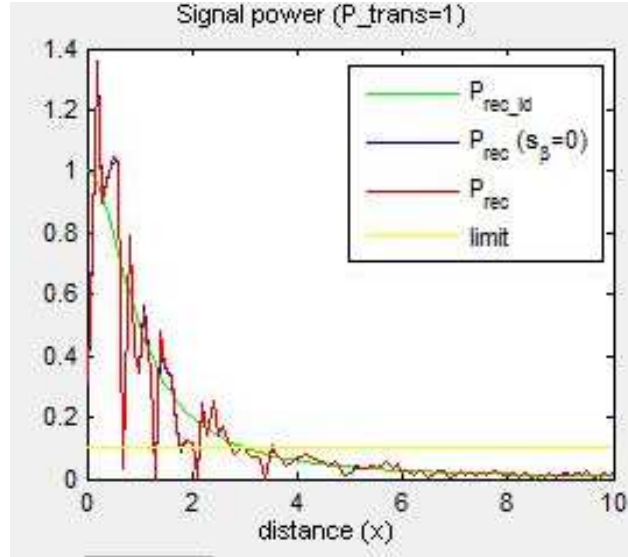
Benzetim çalışmalarında Pioneer 3-DX adlı robotun modeli kullanılmıştır. Benzetim gerçekleştirilirken robot üzerine yerleştirilen lazer mesafe bulucu algılayıcı ve kamera yardımıyla haritalama algoritmaları gerçekleştirilmiştir. Bu gerçeklemeler ile benzetim ortamında tek başına algılayıcılar ile ve algılayıcı füzyonu ile koşulan haritalama uygulamalarının performans analizi yapılabilmektedir.

4.4 Prowler Kablosuz Ağ Modelleme Aracı ile Yapılan Benzetimler

MATLAB yazılımı üzerinde çalışan Prowler benzetim paketi ile "flood routing" algoritması üzerinde benzetim çalışmaları yapılmıştır [19],[20]. Prowler arayüzünde algoritma seçimi, benzetim ayarları gibi araçlarla benzetime ait parametreler değiştirilebilmektedir. Ayrıca paket alımı, paket gönderilmesi gibi olaylar da "olay penceresinde" görülebilmektedir. Çalışmada güdümlü kablosuz ağ benzetim paketidir



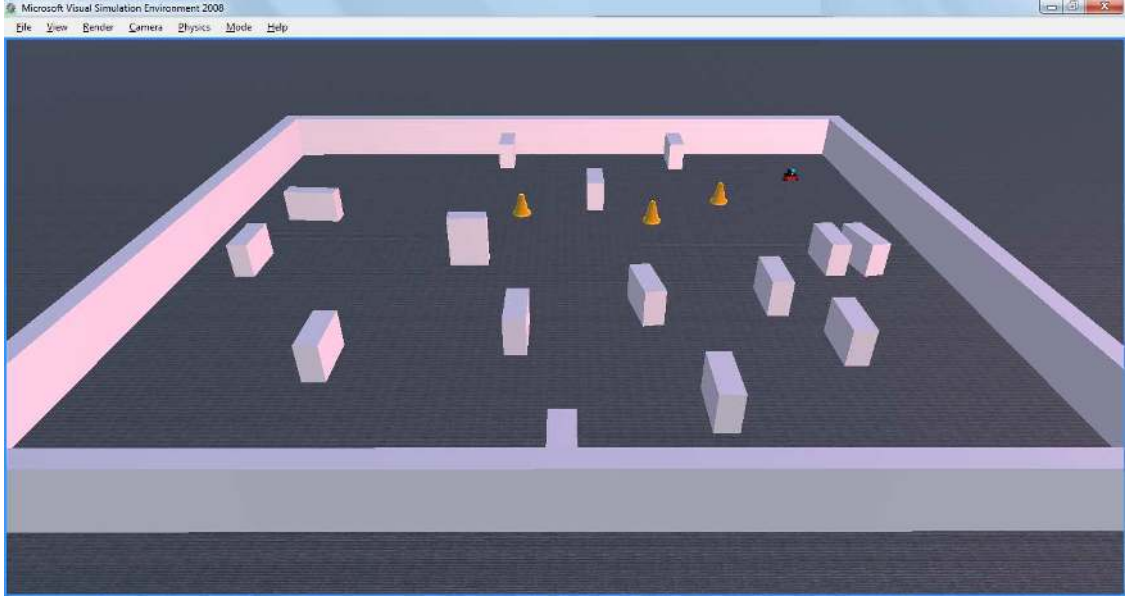
Şekil 4.3 Prowler benzetim arayüzü [19]



Şekil 4.4 Sinyal gücünün mesafeye göre değişimi

4.5 Microsoft Robotics Developers Studio ile Gerçekleştirilen Çalışmalar

MRDS yazılımı Microsoft firması tarafından geliştirilen ve içerisinde birçok robotun modelinin bulunduğu ve bu modellerle benzetimin gerçekleştirilebildiği bir benzetim ortamıdır. Benzetim çalışmalarında şekil 4.4'te görülen Pioneer 3 DX adlı robot modeli kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında kullanılan yazılım Microsoft Visual Studio 8 ortamında C# dilinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 MRDS ortamında yapılan benzetim çalışması

Çalışmadaki performans değerlendirmelerinde, sadece LMÖ kullanılarak elde edilen haritalarla LMÖ'ye ek olarak kamera kullanılarak uygulanan çoklu algılayıcı füzyonu ile elde edilenler arasındaki doğruluk dereceleri karşılaştırılmıştır. Öncelikle LMÖ tarama sonuçlarını ve robotun x , y , θ pozisyonlarını okuyan ve çevrenin haritasını çıkaran bir servis oluşturulmuştur. Servis saniyede 5 sefer ölçüm yapmaktadır. Her bir ölçüm sonucunda servis robotun pozisyonunu ve duruşunu yoklamaktadır. Eğer robotun bir önceki tarama sonucuna göre hareket etmemişse yeni tarama sonucu değerlendirmeye alınmaz. Gerçekleştirilen uygulamadaki çoklu-algılayıcı füzyonu kameradan gelen görüntüleri kullandığından, alınan görüntülerdeki kenarların tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için çok bilinen OpenCV görüntü işleme kütüphanesinin C# diline uyarlaması olan EMGU kullanılmıştır [22].

Kalman filtresi MRDS yazılımı içerisinde C# programlama diliyle Microsoft Visual Studio ortamında yazılmıştır. C# dili oldukça esnek yapıda bir nesne yönelimli programlama dilidir. Bu dilde oluşturulan sınıf ve fonksiyonlar kullanılarak Kalman Filtresi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

MRDS tarafından sağlanan servis yapısı ile kullanıcılar kendi servislerini oluşturabilmekte ve bunları işletebilmektedir. Bu çalışmada da SLAM amacıyla ayrı bir servis sınıfı oluşturulmuştur ve Kalman filtresi de bu sınıf içerisinde uygulanmıştır.

Program kodundaki genel yapı şu şekildedir:

MRDS Servisi olarak yazılan SLAMSimulasyon Sınıfı: Çalıştırılan MRDS Servisi için oluşturulmuş temel sınıftır. Pozisyonlama işlemini gerçekleştirir ve pozisyonlama verisi içerisine gürültü ekler. Yer işaretlerinin tanınması işlemlerini yapar ve veri içerisine normal dağılımlı gürültü ekler.

Kalman Filtresi için oluşturulmuş sınıflar:

IKalmanFilter diğer Kalman sınıfları için şablon olarak kullanılacak olan arayüz sınıfıdır.

Fonksiyonlar

Initialize(Vector x, Matrix p)

İklendirme işlemlerini gerçekleştirir.

TimeUpdateStep(Vector u)

Zaman güncelleme adımını gerçekleştirir

ObservationUpdateStep(Vector x)

Gözlem güncelleştirme adımını gerçekleştirir.

AbstractEKF

IKalmanFilter arayüz sınıfını gerçekleyen soyut bir sınıftır.

Bütün EKF'lerde kullanılacak olan temel fonksiyonlar bu sınıf içerisinde gerçekleştirilmiştir

A,H,Q,R,V,W matrislerinin ve her bir iterasyona ait x ve z vektörlerinin oluşturulması ve güncellemesi işlemleri sınıfın kullanıcısına bırakılmıştır.

EKFSLAM sınıfı

AbstractEKF sınıfından türetilmiştir. SLAM algoritmasına özgü fonksiyonlar bu sınıf içerisinde gerçekleştirilmiştir.

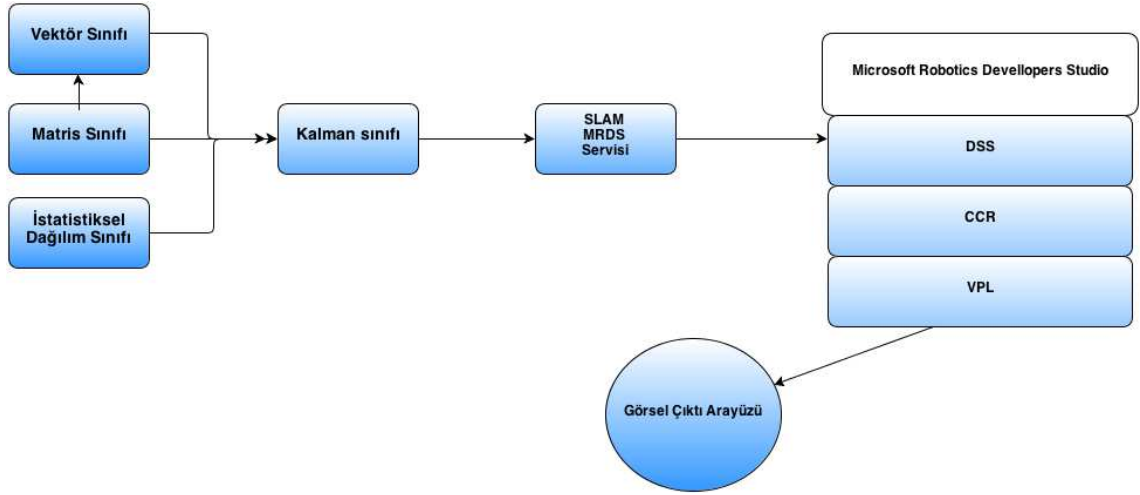
Lineer Cebir Sınıfları

Matrix Sınıfı: Matris hesaplamalarında kullanılmaktadır.

GetInverse() : Matrisin tersini alan fonksiyon

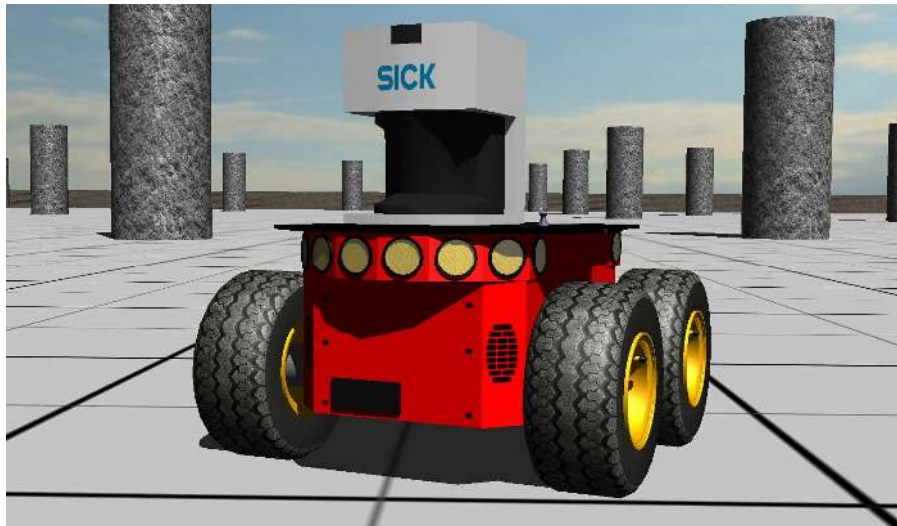
GetTranspose() : Matrisin transpozunu alan fonksiyon

Vector, sınıfı, Matrix sınıfından türetilmiştir.

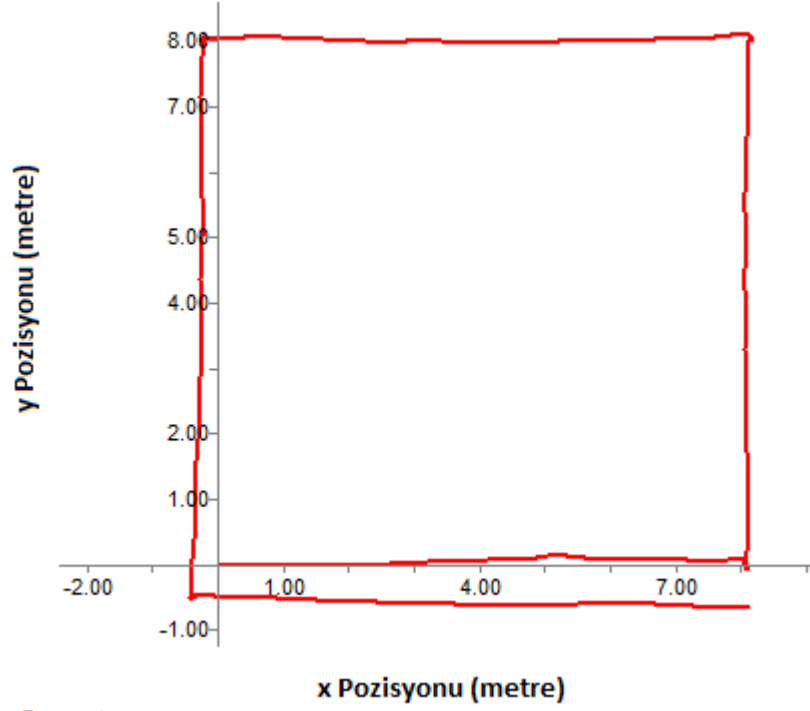


Şekil 4.6 MRDS için oluşturulan yazılımın genel blok diyagramı

Çalışmada ayrıca robotun gerçek ve kestirilen pozisyon değerleri karşılaştırılmak üzere bir CSV dosyasına kaydedilmiştir. Şekil 4.8'te robotun takip ettiği gerçek yörünge görülmektedir. Tek algılayıcı (LMÖ) ve çoklu-algılayıcı füzyonu uygulanan robotların yörünge hataları arasındaki farklar sırasıyla şekil 4.9 ve şekil 4.10'de görülmektedir. Sonuçlarda çoklu-algılayıcı füzyonu uygulanan robotun pozisyon ve baş açısı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

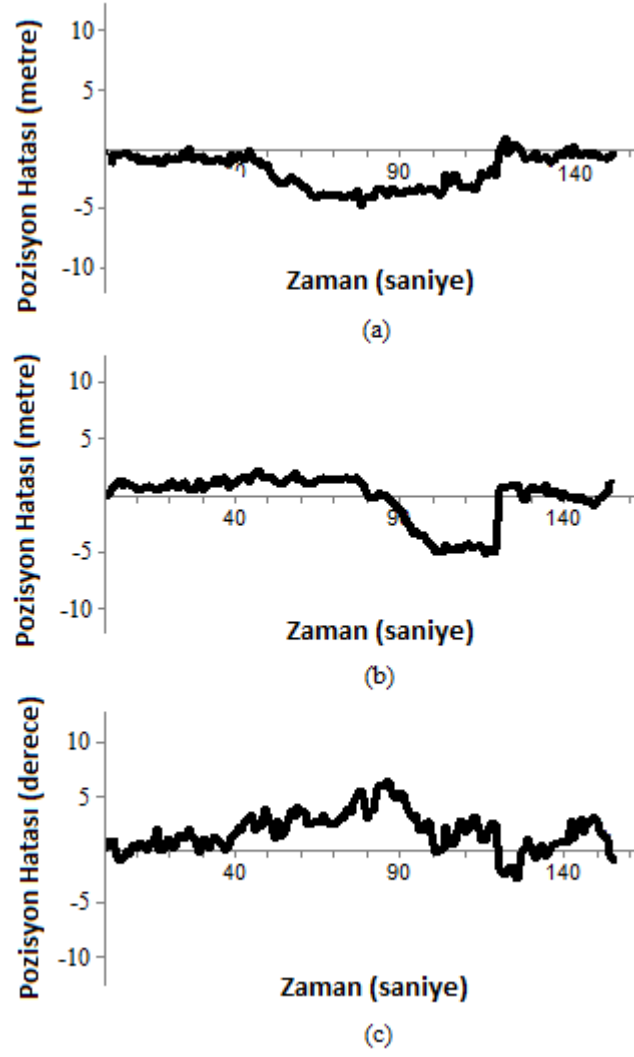


Şekil 4.7 MRDS ortamındaki Pioneer 3DX gezgin robot

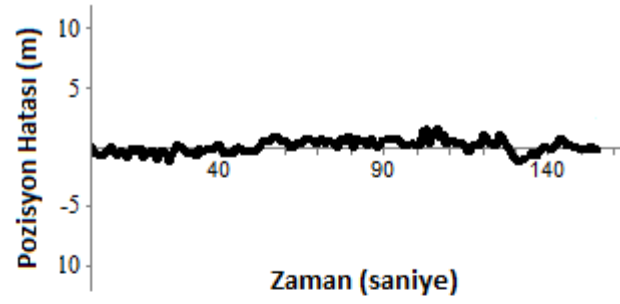


Şekil 4.8 Robotun takip ettiği gerçek yörünge

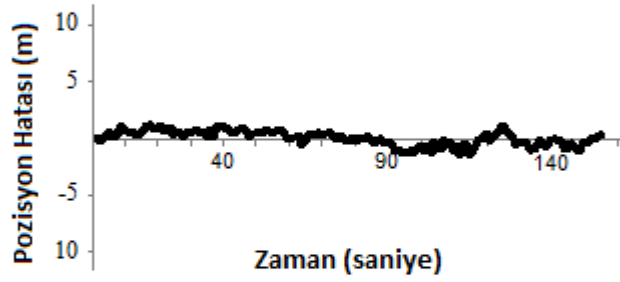
SLAM ile ilgili uygulamalarda kullanılan robotlardaki ve diğer sistemlerde kullanılan bütün sensörlerde belirli hata payları bulunmaktadır. Örneğin robotların tekerleklerine takılan kod çözücüler, ultrasonik mesafe ölçerler verdikleri veriler içerisinde belirli oranda hatalar vardır. Simülasyon çalışmalarında kullanılan yazılımda bulunan sensör modelleri de gerçek verilere yakın olması açısından fiziki dünyadaki şartlara uygun olarak modellenmiştir. Dolayısıyla tam anlamıyla düz ve hatasız bir rota takibi görülememektedir.



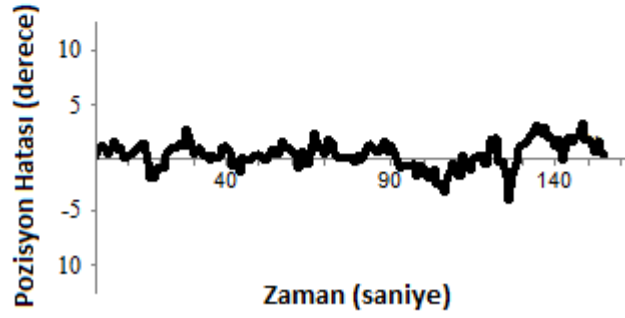
Şekil 4.9 Robotun tek algılayıcı uygulamasındaki hata değerleri: (a) x koordinatındaki pozisyon hatası (metre), (b) y koordinatındaki pozisyon hatası (metre), (c) baş yönü hatası (derece)



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.10 Robotun çoklu algılayıcı uygulamasındaki hata değerleri: (a) x koordinatındaki pozisyon hatası (metre), (b) y koordinatındaki pozisyon hatası (metre), (c) baş yönü hatası (derece)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada öncelikle bugüne kadar bu konuda geliştirilen robotlar tanıtılmış, ve kullandıkları algoritmalar bakımından karşılaştırılması sunulmuştur. Devamında bir gezgin robota ait görev, tasarım bilgileri verilmiş ve gezgin robotların donanımsal olarak nasıl oluşturulduğu açıklanmıştır. Gezin robotların donanımsal olarak gerçekleştirirken hangi kriterlerin önemli olduğu yine burada belirtilmiştir. Donanımla beraber konunun teorisi ise bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Burada konunun genel teorisi olan Genişletilmiş Kalman Filtresi Teorisi işlenmiş ve bu teorinin bu çalışmaya nasıl uygulandığı ortaya konmuştur. Yine teori içerisinde algılayıcılara ait verilerin teoriksel olarak nasıl işlendiği bu bölümde açıklanmıştır. Yazılımsal olarak işlenen teori ve alınan algılayıcı verileri Microsoft Robotics Developer Studio ortamına aktarılmıştır. Bu ortamda bir robota ait lazer mesafe ölçüm algılayıcıları ile birlikte kameraların kullanıldığı algılayıcı füzyonuna dayalı SLAM uygulanmıştır. Çoklu algılayıcı füzyonunun tek algılayıcı kullanılan uygulamalara göre daha doğru sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Performans sonuçları ise önerilen sistemin devriye sistemi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Böylelikle sisteme ait tüm benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Bu noktadan sonra Microsoft Robotics Developer Studio ortamında yapılan bu çalışmalar sahaya aktarılabilir. Burda yine tezde de belirtilen Coroware firmasına ait Corobotlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Dissanayake G., Newman P., Clark S., Durrant-Whyte H. F., ve Csorba M., (2001). A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17 (3): 229-241.
 - [2] Fenwick J. W., Newman P. M., ve Leonard J. J., (2002). "Cooperative concurrent mapping and localization," in Proc. of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation: 1810-1817.
 - [3] Luo, R. ve Yih, C., (2010). "Multisensor Fusion and Integration Aspects of Mechatronics", IEEE Industrial Electronics Magazine, 4(2): 20-27.
 - [4] Luo, R. ve Lai, C., (2011). "Enriched Indoor Map Construction Based on Multi-Sensor Fusion Approach for Intelligent Service Robot", IEEE Transactions on Industrial Electronics.
 - [5] Zhao X., Luo Q. ve Han B., (2008). "Survey on Multi-sensor Information Fusion Technology, Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation Chongqing, China.
 - [6] Pioneer Dx-3 <http://www.mobilerobots.com/researchrobots/pioneer3dx.aspx>
16 Ekim 2012
 - [7] Corobot http://www.sgbotic.com/products/datasheets/advance_robotics/CoroBot_20100510.pdf 16 Ekim 2012
 - [8] Corobot Group <http://www.botmag.com/articles/CoroWare.shtml> 16 Ekim 2012
 - [9] Speranzon A., (2006). Coordination, Consensus and Communication in Multi-Robot Control Systems, Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, İsveç.
 - [10] Tuna G., Tasdemir C., Gülez K., Mumcu T. V. ve Güngör V. C., (2012) "Autonomous intruder detection system using wireless networked mobile robots", IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC): 1-5.
 - [11] Durrant-Whyte F. ve Bailey T., (2006) "Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM) Part I The Essential Algorithms", IEEE Robotics and Automation Magazine.
 - [12] Thrun S., (2002). Robotic mapping: A survey.

- [13] Scanning range finder URG-04LX-UG01
http://www.hokuyoaut.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx_ug01.html , 4 Kasım 2012
- [14] MB1000 LV-MaxSonar-EZ0 ultrasonic range finder,
<http://www.maxbotix.com/products/MB1000.htm>, 6 Kasım 2012
- [15] Tuna G., (2012). Çoklu Algılayıcı Füzyonunun Çoklu Robot Sistemlerinde Eşzamanlı Konum Belirleme Ve Haritalama Problemine Uygulanması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [16] Castellanos J. A, Neira J., ve Tardos J. D., (2001) Multisensor Fusion for Simultaneous Localization and Map Building, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17 (6): 908 – 914.
- [17] OpenCV Edge Dedection
http://opencv.willowgarage.com/documentation/feature_detection.html, 8 Kasım 2012
- [18] Microsoft Robotics Developer Studio, <http://www.microsoft.com/robotics/>, 2 Kasım 2012
- [19] Prowler: Probabilistic Wireless Network Simulator
<http://www.isis.vanderbilt.edu/projects/nest/prowler>, 8 Kasım 2012
- [20] Simon G., Vögyesi P., Maroti M. ve Ledecz A., (2003) Simulation-based optimization of communication protocols for large-scale wireless sensor networks, IEEE Aerospace Conference Proceedings.
- [21] Karto Open Libraries 2.0 (LGPL)
<http://www.kartorobotics.com/products/>, 2 Kasım 2012
- [22] OpenCV / Emgu services for Robotics DeveloperStudio
<http://rdscv.codeplex.com/> 8 Kasım 2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Coşkun TAŞDEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri	26/06/1984
Yabancı Dili	İngilizce
E-posta	coskuntasdemir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik – Elektronik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2006
Lise	Fen - Matematik	Kabataş Erkek Lisesi (Anadolu 2002 Lisesi)	

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 -	Siemens Türkiye San. Ve Tic. A.Ş	Ar – Ge Mühendisi
2011 – 2012	BOA Bilgi ve Güvenliği A.Ş	Ar – Ge Mühendisi
2007 – 2010	Baykar Makina	Ar – Ge Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Tasdemir, C., Tuna, G., Gulez, K.; Mumcu, T.V.; Gungor, V.C.
Autonomous intruder detection system using wireless networked mobile robots, IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2012

Kitap

1. Arduino – Dikeyksen Yayınları - 2012