T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT' UN FARKLI RENKLERDE NESNELERİ TAKİBİ

MUSTAFA SERTER UZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MUHENDİSLIGI ANABİLİM DALI

Bu tez 21/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu ile~~ kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mehmet BAYRAK	Prof.Dr. Fatih M. BOTSALI	Yrd.Doç.Dr. Nihat YILMAZ
(Danışman)	(Üye)	(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT' UN
FARKLI RENKLERDE NESNELERİ TAKİBİ

Mustafa Serter UZER

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet BAYRAK

2008, 62 Sayfa

Jüri: Prof.Dr. Mehmet BAYRAK

Prof.Dr. Fatih M. BOTSALI

Yrd.Doc.Dr. Nihat YILMAZ

Bu çalışmada görme tabanlı bir mobil robotun değişik renklerdeki nesneleri takibi gerçekleştirilmiştir. Bina içi düz zeminlerde hareket edebilen görme tabanlı mobil robot, navigasyon çeşitlerinden nesne tabanlı bina içi navigasyona temel teşkil edecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca robot; keşif, güvenlik ve gözlem alanlarındaki faaliyetlerde de kullanılabilecek özelliklere sahiptir.

Bu görme tabanlı mobil robotun, görüntü işleme ve robotik görme teknikleri kullanılarak otonom bir şekilde hareket ettirilmesi hedeflenmiş ve kamera dışında herhangi bir algılayıcı kullanılmadan, geliştirilen algoritmalar sayesinde bu işlem gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma; mekanik, elektronik, yazılım ve haberleşme olmak üzere dört farklı disiplinden oluşmaktadır. Mekanik kısımda; elektronik kartları, kablosuz kamerayı ve motorları taşıyan üç tekerlekli bir taşıyıcı kullanılmıştır. Elektronik kısım; mikrodenetleyici kartı, dc motor sürücü kartı, besleme kartı, kablosuz kamera ve Bluetooth modülünden oluşmaktadır. Yazılım kısmı ise mikrodenetleyici algoritması, görüntü işleme algoritması ve haberleşme algoritmalarını içermektedir. Sistemin en önemli kısmı olan haberleşme için görüntünün bilgisayara aktarılması işlemi kablosuz kameranın alıcı ve vericisiyle sağlanırken, görüntü işleme sonucu elde edilecek ve robotun hareketini sağlayacak olan verinin gönderilmesi ise Bluetooth tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, mikrodenetleyici yazılımı dışındaki bütün yazılımlar için Matlab programı kullanılmıştır. Ayrıca, projede taşınabilir bilgisayar ile mobil robotun haberleşmesi bina içinde 65 metre mesafeye kadar kablosuz olarak yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mobil robot, görme, robotik, görme tabanlı robot,görüntü işleme

ABSTRACT

MS Thesis

A TRACKING APPLICATION OF DIFFERENT COLOURED TARGETS WITH A VISION BASED MOBILE ROBOT

Mustafa Serter UZER

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Mehmet BAYRAK

2008, 62 Page

Jury: Prof. Dr. Mehmet BAYRAK

Prof.Dr. Fatih M. BOTSALI

Yrd.Doc.Dr. Nihat YILMAZ

In this study, a tracking application of different coloured targets with a vision based mobile robot has been implemented. The vision based mobile robot moved on even surfaces in the fields is fundamentally designed navigation using object recognition which is one of navigation types. Morever, this robot has some features that can be used in the fields of exploration, security and observation.

This vision based mobile robot is autonomously operated by using image processing and robot vision techniques. In other words, this operation has been implemented with developing algorithms without using any sensors except camera. In this study, four different disciplines as mechanics, electronics, software and communication have been combined for the purposes. Mechanical parts of the unit consist three wheeled robot vehicle which carries electronic cards, wireless camera and the motors. Electronic part however consists the microcontroller card, dc motor driver card, power supply card, wireless camera and Bluetooth module. Software part comprises the microcontroller algorithm, image processing algorithm, communication algorithm. For communication which is the most important part of this study, the image is sent to a portable computer by means of wireless camera, data which are obtained using image processing are transmitted to driving system using by Bluetooth technique. All software except from microcontroller software has been implemented by Matlab programming language in this system. Moreover, communication between a portable computer and mobile robot has been provided as wireless up to 65 m in indoor conditions.

Key words: mobile robot, vision, robotic, vision based robot, image processing.

ÖNSÖZ

Mobil robot çalışmaları; sensör teknolojilerinin gelişmesi, fiyatlarının ucuzlaması ve daha kolay elde edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı son on yılda oldukça hız kazanmış ve günümüzde daha popüler hale gelmiştir. Mobil robotlar, insanlar için tehlikeli olan ve sürekli tekrar eden işlerde (örneğin, kimya laboratuarları, uzay araştırmaları, nükleer santraller, bomba imhası, zararlı kimyasal maddelerin taşınması ve işlenmesi gibi alanlarda) kullanılmışlardır. Son yıllarda mobil robot navigasyonu için görmenin çok gerekli ve etkili olduğu net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bugüne kadar yapılmış araştırmaların büyük kısmı, mobil robot navigasyonu için bilgisayar görmesinin başarılı olduğunu göstermiştir. Bunun sonucunda da bina içinde (yani evlerde, ofislerde, müzelerde ve eğitim kurumlarında) hizmet verecek robotların sayısı hızla artmıştır.

Ülkemizde, robot araştırmalarına önemli ölçüde katkı sağlanacağı ümidiyle temel düzeyde nesne tanınması kullanarak navigasyon yapabilen görme tabanlı bir mobil robot tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Nesne tabanlı bina içi navigasyona temel teşkil ettiğini göstermek amacıyla mobil robotun değişik renk olgusu üzerinde yoğunlaşılmıştır. Bu uygulama neticesinde aynı yöntem kullanılarak farklı nesnelerin bilgisayarca algılanmasıyla daha kapsamlı nesne tanıması yapan bina içi navigasyon uygulamaları gerçekleştirilebilecektir. Görme ile birlikte, mobil robotlar, insanlarla ve çevredeki nesnelerle daha etkin etkileşime girebileceğinden daha faydalı navigasyon sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Bunun sonucunda yakın gelecekte, belli görevler ve çevreler için özel olarak tasarlanıp imal edilen görme tabanlı mobil robotların daha da yaygınlaşacağına inanılmaktadır. Ayrıca, ekonomik yönü dikkate alınarak robot parçalarının daha ucuz ve kolay değiştirilebilir olmasına dikkat edilmiştir.

Bu robotun her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof.Dr. Mehmet BAYRAK' a, Yrd.Doç. Nihat YILMAZ' a ve diğer emeği geçen meslektaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında daha çok zaman ayırmam için ortam hazırlayan aileme maddi manevi tüm desteklerinden dolaylı minnettarlığımı dile getirmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET……i
ABSTRACT……....ii
ÖNSÖZ……...iii
İÇİNDEKİLER……...iv
ŞEKİLLER……..vi
SİMGELER VE KISALTMALAR……vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi 3
1.2. Tezin Organizasyonu 4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Mobil Robotlar 5
2.2. Görme Tabanlı Mobil Robotlar 8
3. MOBİL ROBOT NAVİGASYON SİSTEMLERİ 12
3.1. Bina İçi Navigasyon 12
3.1.1. Harita tabanlı navigasyon 13
3.1.2. Harita yapılandırma tabanlı navigasyon 14
3.1.3. Haritasız navigasyon 14
3.1.3.1. Optik akışı kullanan navigasyon 15
3.1.3.2. Görünüş tabanlı eşleştirmeyi kullanan navigasyon 15
3.1.3.3. Nesne tanıması kullanan navigasyon 15
3.2. Bina Dışı Navigasyon 16
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ VE MATLAB 17
4.1. Ön Görüntü İşleme Teknikleri 18
4.1.1. Aritmetik ve lojik işlemler 18
4.1.2. Noktasal işlemler 20
4.1.3. Geometrik işlemler 22
4.1.4. Dijital filtreler 25
4.2. Görüntü Analizi ve Özniteliklerinin Tespiti 27
4.2.1. Kenar ve çizgilerin bulunması 27
4.2.2. Segmentasyon 28
4.2.3. Histogram ve projeksiyonlar 29

4.3. Görüntü Tanıma 29
4.4. Matlab 30
5. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT PLATFORMU 33
5.1. Mobil Robotun Mekanik Yapısı 34
5.1.1. Diferansiyel Sürüş 36
5.2. Robot Donanımı 39
5.2.1. Robotun kontrol merkezi 40
5.2.2. Kamera 41
5.2.3. Bluetooth modemi 42
5.2.4. Mikrodenetleyici ana kartı 42
5.2.5. Motor sürücü kartı 43
5.3. Tasarlanan Robotun Yazılımları 43
5.3.1. Mikrodenetleyici yazılımı 44
5.3.2. Matlab yazılımı 44
6. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT' UN FARKLI RENKLERDE NESNELERİ TAKİBİ 45
6.1. Genel Bilgiler 45
6.2. Uygulama 46
6.2.1. Yöntem-1 47
6.2.2. Yöntem-2 53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 57
7.1. Sonuçlar 57
7.2. Öneriler 59
8. KAYNAKLAR 60

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER

Şekil 1.1 Tasarlanan Mobil Robot Platformu 4
Şekil 4.1 Görüntü işlemenin temel basamakları 17
Çizelge 4.1 Aritmetik işlemler……19
Çizelge 4.2 Lojik işlemler……..20
Şekil 4.2 Ortalama filtre için kullanılan 3x3' lük ortalam kerneli.....26
Şekil 5.1 Tasarlanan mobil robot sisteminin genel blok diyagramı 33
Şekil 5.2 Robotun alttan görünüşü.....35
Şekil 5.3 Robotun üstten görünüşü 35
Şekil 5.4 Robotun yandan görünüşü 36
Şekil 5.5 Diferansiyel sürüşlü robot kontrolü 37
Şekil 5.6 Tasarlanan mobil robotun donanımları ve haberleşmesi.....40
Şekil 5.7 Alıcıya ve vericiye sahip kablosuz kamera 41
Şekil 5.8 Bluetooth modeminin arkadan ve önden görünümü 42
Şekil 6.1 Uygulamanın sembolik gösterimi 47
Şekil 6.2 Uygulamanın MATLAB akış diyagramı.....49
Şekil 6.3 Uygulamanın mikrodenetleyici akış diyagramı.....50
Şekil 6.4 Yöntem-1' in sonuçları.....51
Şekil 6.5 Mobil robotun düz çigi boyunca topu takibi.....52
Şekil 6.6 Mobil robotun dairesel çigi boyunca topu takibi 53
Şekil 6.7 Yöntem-2 için MATLAB programı akışı.....55
Şekil 6.8 (a) Yakalanan görüntü, (b) Elde edilen binary görüntü, (c) topun merkezinin gösterildiği sonuç görüntü.....56

SİMGELER VE KISALTMALAR

C : Sabit sayı

G : Gausyen (Gaussian)

$\boldsymbol{l}$: Tekerlek merkezlerinden geçen eksenin uzunluğu

L : Lablesyen (Laplacian)

M(r) : Harita fonksiyonu

$\boldsymbol{P_1}$: Birinci giriş görüntüsü

$\boldsymbol{P_2}$: İkinci giriş görüntüsü

Q : Çıkış görüntüsü

r : Dönme yarıçapı

R : Teker ekseninin orta noktasının ICC' ye olan uzaklığı

s : Sonuç görüntüde bir noktanın piksel değer

ω : Açısal hız

ICC : Bükülmenin anlık merkezi

1. GİRİŞ

Hızlı ve hatasız üretim yapma isteği endüstride robotlaşmayı vazgeçilmez hale getirmiştir. İlk başlarda robotlar, endüstriyel üretim hatlarında yerleri sabitlenmiş ve önceden programlanmış belli görevleri yerine getirmekteydi. Bu robotların sensörleri belli sayıda ve neredeyse hepsi aynı özellikleri taşımaktaydı. Günümüzde insanların sürekli yer değiştirmesi ve hareket halinde olmasından dolayı sabit görevler icra eden robotların beklenildiği kadar faydalı olmadığı fark edilmiş ve insanlara daha fazla yardımcı olabilecek mobil robotların tasarlanması ve üretilmesi yoluna gidilmiştir. Robotlara, bu mobil özelliğinin kazandırılması kolay olmamıştır. Bunun için, mobil robotların çevrelerini tanıması, bulundukları ortamdan bilgi toplaması ve bu bilgiler doğrultusunda karar verme mekanizmalarının geliştirilmesini gerekmektedir. Bu gereksinimleri karşılamak için çevresini algılayabilecek farklı özellikteki sensörlere ihtiyaç vardır. Mobil robot çalışmaları; sensör teknolojilerinin gelişmesi, fiyatlarının ucuzlaması ve daha kolay elde edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı son on yılda oldukça hız kazanmıştır. Mobil robotlar; endüstriden sağlığa, eğlenceden askeri sahaya kadar pek çok alanda günlük hayatımızda daha fazla yer almaktadır (Canan, 2006). Özellikle insanlar için tehlikeli olan ve sürekli tekrarlanan işlerde (yani kimya laboratuvarları, uzay araştırmaları, nükleer santraller, bomba imhası, zararlı kimyasal maddelerin taşınması ve işlenmesi gibi) mobil robot kullanımı tercih edilmektedir.

İnsanın, çevresini keşfetmesi ve hareket edebilmesi için ihtiyaç duyduğu görme duyusunu kamera kullanımı sayesinde mobil robotlara aksettirilmesiyle, görme tabanlı mobil robot çalışmalarının önü açılmıştır. İnsan gözü ile nesnelerin fark edilmesine benzer şekilde, nesnelerin bize olan uzaklıklarının, büyüklüklerinin ve hareketlerinin, kamera kullanımı yoluyla sağlanması çalışmaları son yıllarda ağırlık kazanmıştır. Bu amaca yönelik olarak gerekli olan görüntü işlenmesi çok vakit aldığından çoğu robot sistemlerinde kameranın dışında robot kontrolleri için görsel olmayan sensörler de kullanılmaktadır. Ancak, nesnelerin robota olan uzaklıklarının tespiti için bu sensörlerden çok sayıda kullanılması ihtiyacı, bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, pratikte robot kontrollerinde

kamera kullanılması daha avantajlı bir duruma geçmiştir. Bunların dışında kamera kullanılması, sensörlerin kullanılmasına göre projenin maliyetini daha da düşürdüğü için önemli bir avantaj olarak algılanabilir. Kamera kullanımıyla elde edilen diğer bir üstünlük ise sadece nesneleri bize olan uzaklıklarının tespiti değil aynı zamanda nesnelerin renkleri, desenleri ve şekilleri hakkındaki bilgilerin de beraberinde elde edilebilmesidir. Mobil robot navigasyonu için bilgisayar görmesinin başarısına bağlı olarak da ayrıca bina içinde (yani evlerde ofislerde, müzelerde ve eğitim kurumlarında) hizmet verecek robotların sayısında da son yıllarda hızlı bir artış kaydedilmiştir (DeSouza ve Kak 2002).

Mobil robotun görme tabanlı navigasyonu, bina içi ve bina dışı olmak üzere iki temel esasa dayanır. Her bir durumda kendi içinde yapılandırılmış ve yapılandırılmamış çevre temelli navigasyon olarak alt başlıklar yer alır. Yapılandırılmış çevreler için, alanın topoğrafik ve geometrik şekillerinin durumları göz önünde bulundurulursa, yapılandırılmamış çevreler için; optik akışı, özel nesnelerin tanınması ve görünüş tabanlı modelleri kullanan navigasyon türlerinin önem taşıdığı görülür (DeSouza ve Kak 2002).

Bina dışı navigasyona göre bina içi navigasyonda mobil robot ortamdaki çoğu referans noktasının sabit kalması nedeniyle çevresini çok kısa sürede öğrenebilmektedir. Ancak, bina dışı navigasyon sistemlerinin ortak problemi olan aydınlatma değişimlerine benzer şekilde; bina içi navigasyonda da bu faktör görüntünün net elde edilememesi problemine sebep olabilmektedir. Özellikle farklı zamanlarda gün boyunca ışık miktarının değişmesi, görüntüdeki desenlerde karışıklıklara sebep olmaktadır. Buna ek olarak, ışığı yansıtan zeminlerin var olmasından kaynaklanan net görüntü elde edilemeyişi de bir navigasyon sisteminin performansına ciddi sınırlamalar koyabilmektedir. Aydınlatma problemini yenmek için ise uygulamada renk algoritmaları kullanan sistemler geliştirilmiştir (Mori ve ark.1997).

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

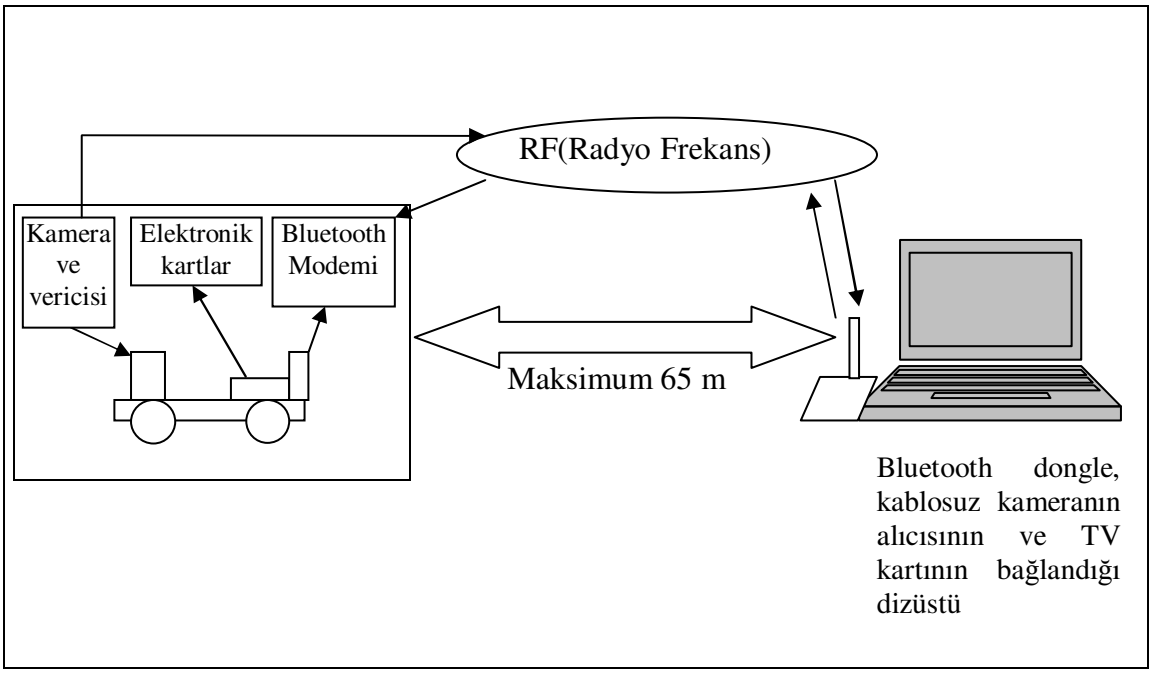
Yapılan araştırmalar mobil robotların, uzay araştırmaları, nükleer santraller, bomba imhası, gözetleme ve savunma, zararlı kimyasal maddelerin taşınması ve işlenmesi gibi sürekli tekrarlanan ve insan sağlığını tehdit eden sahalarda gün geçtikçe daha fazla kullanıldığını göstermektedir.

Yapılandırılmış çevrelerdeki bina içi robotlar için alanın daha çok topoğrafik ve geometrik şekilleriyle ilgilenilir. Yapılandırılmamış çevrelerde ise; optik akış, özel nesnelerin tanınması ve görünüş tabanlı modeller kullanan navigasyon türleri tercih edilir.

Bu tezde, görüntü işleme tabanlı mobil robotun nesne tabanlı bina içi navigasyona temel teşkil etmesi amacıyla, robotun değişik renklerdeki nesneleri takip etmesine yönelik AR-GE çalışmaları yapılmıştır. Bu uygulama, aynı yöntemi kullanmak suretiyle farklı nesnelerin bilgisayar yoluyla algılanması şeklinde daha kapsamlı bir bina içi navigasyonun gerçekleştirilmesine yön verecektir.

Bina içi navigasyon yapan bir mobil robotun gerçekleştirilmesi bağlamında yapılan birçok araştırmada, mobil robotların daha otonom çalışması için farklı algoritmalar test edilmekte ve geliştirilmektedir. Bina içinde 65 metrelik makul haberleşmesinin kablosuz olarak gerçekleştirilmesi ise ayrıca uygulamada maliyetin düşmesine ve ek olarak da robotun hareket yeteneğinin kısıtlanmamasına sebep olacaktır.

Bu tez çalışmasında tasarlanan ve gerçekleştirilen mobil robot platformu Şekil 1.1' de gösterilmiştir. Mobil robot üzerinde bulunan kablosuz kameranın vericisi ile dizüstüne bağlı alıcı kullanarak ilkin kamera görüntüsü bilgisayara aktarılmakta ve MATLAB programı kullanılarak görüntü yakalanmaktadır. Yakalanan bu görüntü işlendikten sonra, robotun sürüş sisteminin hareketini sağlayacak sonuç verisi ise bilgisayar üzerinde bulunan bluetooth modemine gönderilmektedir. Gelen bu veriye göre mikrodenetleyici robotun sürüş sistemini kontrol etmektedir.



Şekil 1.1 Tasarlanan Mobil Robot Platformu

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmasında; robotik, görüntü işleme, kontrol, elektronik tasarım, farklı dillerde programlama (MATLAB, PICC), kablosuz iletişim gibi farklı bilim dallarındaki değişik konular içirilmiştir. Bölüm-2' de tez konusu ile ilgili kaynak araştırması yer almaktadır. Bölüm-3' te, ise özellikle görme tabanlı mobil robotlarda navigasyon çeşitleri anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında görme tabanlı bir mobil robotun tasarımı esas olduğundan, Bölüm-4' te bununla bağlantılı olarak görüntü işleme konularına yer verilmiştir. Bölüm-5, bu tez çalışmasının konusu olan mobil robotun tasarımı ve imalatı ile ilgili tüm adımları içermektedir. Bölüm-6' da gerçekleştirilen görme tabalı mobil robot ile farklı renklerdeki nesnelerin takibi geniş şekilde anlatılmıştır. Son olarak Bölüm-7'de, çalışmanın sonuçları sunulmuş ve özet olarak bulgular ve bilime katkıları yönünde genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bölüm-7' de ayrıca öneriler yer almaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Mobil Robotlar

Tarihte ilk gerçekleştirilen iptidai robotlar, 13 yüzyılda yapımına başlanan analog aletlerdir. Esas itibari ile robotlar ilk kez 20. yüzyılda sanayide sürekli tekrarlanan boyama, kaynaklama, vb. işleri yapabilen çok eklemli kol biçimindeki örnekleri ile ortaya çıkmıştır. 1970' lerin başında Shakey adlı yapay zekâ tekniklerinin uygulandığı ilk robot geliştirilmiştir. Bu robot temel olarak "algıla-planla-eyle" olarak özetleyebileceğimiz bir mimariye sahipti. 1980' lerin başında MIT' te bir araştırmacı olan Rodney Brooks, planlama yapmadan sadece çevresindeki etkilere tepki veren bir robotun daha başarılı olacağını savunmuştur. 1984 yılında bir psikolog olan Valentino Braitenberg' in yazdığı "Araçlar" adlı kitapta ise çok basit algılayıcı ve motorlardan oluşan ve giderek daha karmaşık şekilde motor ve algılayıcıları birbirine bağlayarak elde edilen toplam 14 adet değişik araçta çok karmaşık davranışların gözlemlenebileceğine dair görüşler rapor edilmiştir. Böylelikle, daha sonraları araştırmacılar böceklerden esinlenilen ucuz ve çok başarılı robot örneklerinin hızla ortaya çıkarmasına yardımcı olmuşlar ve bu yaklaşıma tepkisel mimari adı verilmiştir. Bunu takiben robotikte önemli bir aşama olan davranış temelli robot bilimi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, görevin çeşitli bileşenleri paralel olarak çalışan davranışlara ayrılmakta ve bunlar arasında değişik düzeneklerle eşgüdüm sağlanarak robotun karmaşık görevleri belirli bir süreç içinde yapması istenmektedir. Ayrıca, davranış temelli robot sistemlerinin yanında genellikle üç katmanlı olarak yapılan melez robot mimarileri de geliştirilmiş ve 1990' lardan beri de olasılık teorisine dayanan rastsal robot bilimi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Akın 2008).

Mobil robotlar, yapıları ve kullanıldıkları yerlere göre sırasıyla; Kara robotları, Hava robotları, Su robotları ve Uzay robotları olmak üzere 4 ana grup altında incelenebilir (Dudek ve Jenkin 2000).

Kara robotları; yeryüzünde veya bir başka gezegende toprak, beton, kaya, buz, kar, vb yüzeyler üzerinde hareket etmek üzere tasarlanmışlardır. Bu robotları kullanıldıkları yere göre bina içi ve bina dışı olarak iki faklı gruba ayırabiliriz (DeSouza ve Kak 2002). Bina içinde genelde taşıma, servis, güvenlik veya temizlik robotu olarak kullanılırlar. Bina dışında ise, bir afet sonucu ortaya çıkan enkazda arama-tarama-kurtarma işlerinde, mayın tarama ve bomba imha görevlerinde, insan sağlığını tehlikeye düşürebilecek ortamlarda yapılacak işlerde kullanılmaktadırlar (Backes ve ark. 2003) (Briones L., 1994).

Hava robotları, daha çok askeri ve sivil amaçlı keşif görevlerinde kullanılırlar ve bu mobil robotlar insansız hava araçları olarak da adlandırılırlar. Kullandığımız çoğu hava aracının robot mimarisinde yeri vardır. Örneğin uçaklar bunlardan en popüler olanlarıdır. İnsansız casus veya bombardıman uçakları birer robot uçaklardır (Voth 2004).

Su robotları, denizlerde taşıma ve keşif amaçlı kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Su robotları hem su üstü hem de su altı faaliyetler için kullanılırlar. Su üstü türleri genelde deniz taşımacılığında kullanılan otomatik seyir sefer sistemlerinden oluşur. Su altı robotları ise robot çalışmalarının en ileri uygulamalarını bulabileceğimiz bir daldır (Shuxiang ve ark. 2003) (Choi ve ark. 2003). Deniz ve okyanusların altı insanın herhangi bir araç olmadan gidemeyeceği ve doğrudan gözlemleyemeyeceği yerlerdendir.

Uzay robotları; uzayda yani yerçekimsiz bir ortamda kullanılmak üzere tasarlanmış olan robotlardır (Yoshida ve Nakanishi 2003). Uzay istasyonlarında araç içinde ve dışından tamir bakım ve hizmet görevlerini icra edebildikleri gibi, kendi başlarına bir uzay aracı olarak da uzayın keşfinde kullanılabilirler.

Hareket yöntemleri açısından da kara robotları; tekerlekli kara robotları, paletli kara robotları, bacaklı kara robotları, tekerlekli bacaklı kara robotları ve sürünen kara robotları olarak 5 alt grupta incelenebilirler. Robotlarda normal araçlarda kullanılanlardan daha farklı tekerlek tasarımları mevcuttur. Birden çok hareket ekseni bulunan tekerlekler, palet ismini almıştır ve engellerin aşılmasında, kaygan ve bozuk zeminlerde sağladıkları avantajlar nedeniyle genelde dış ortamlarda hareket edebilecek robotların yapımında kullanılırlar (Voth 2004). Bazı robot uygulamalarında tekerleklerin yerini bacaklar almıştır ve bacaklı robotlar yapılırken

öncelikle insan olmak üzere hep canlılar örnek alınmış olup bunlara insansı robotlar adı verilmiştir (Raibert ve ark. 1986). İlk deneysel insansı robot çalışmalarına ise 1960' lı yılların sonunda Japonya' da Waseda Üniversitesi' nde başlanılmış ve günümüze kadar geçen 40 yıl boyunca da Japonya insansı robot çalışmalarının en yoğun yapıldığı ülke olmuştur. Japonya dâhil tüm dünyada bu çalışmaların ivmelenmesi 1996' daki çarpıcı bir gelişmenin sonrasında gerçekleşmiştir. Bu bağlamda Honda, 10 yılı aşkın bir süredir dış dünyaya kapalı şekilde sürdürdüğü insansı robot araştırmalarını açıklamış ve P2 adını verdikleri robotu 1996 yılında dünyaya tanıtmıştır. Bir güç kablosu bağlı olmaksızın çalışan ilk yürüyen insansı robot bu P2 robotudur (Erbatur 2008). Bunun dışında Sony'nin SDR-4X'i (Ishida 2003) adlı insansı robotu buna örnek olarak verilebilir. Bu robotlar tekerlekli robotlardan çok daha fazla enerji tüketirler. Bu olumsuzluk, pillere bağımlı robotlarda daha farklı tasarım arayışlarına sebep olmuştur. Bacaklı robotun hareket kabiliyetini, tekerli robotun hızını ve enerji tasarrufunu aynı anda sağlamak amacıyla her bir ayağın ucunda bir teker bulunan tekerli-bacaklı-robotlar geliştirmiştir (Moore and Flann 2000). Bu tip robotlarda bacaklar bazen sadece engel ile karşılaşılması durumunda tekerleğin pozisyonu değiştirmek için kullanılırlar. Bu tip robotlar, "yeniden yapılandırılabilen tekerli robotlar" olarak isimlendirilirler (Moore ve Flann 2000) ve NASA'nın mars robotları bu nitelikteki robotlardandır.

Mobil robotları kontrol kabiliyetlerine göre de; telerobotlar, yarı otonom robotlar ve otonom robotlar olarak gruplandırmak mümkündür.

Telerobotlar, kendi kendilerine hareket kabiliyetleri olmayan, ancak hareket etmek için bir operatörün komutlarına gereksinim duyan mobil robotlardır. Bu tür robotlar, otonom hareket etme yeteneğinin kısıtlı olduğu (veya yapılabilecek olası küçük hataların bile telafisinin mümkün olmadığı) ve insan gücünün yetmediği, durumlar ile insanın hiç bulunmaması gereken tehlikeli yerlerde kullanılırlar (Stark ve ark. 1988). Telerobotların en fazla kullanıldığı tehlikeli ortamlara, nükleer tesislerdeki radyasyonlu bölgeler (Abel ve Siva 1990) ile kimyasal ve biyolojik reaksiyonların gerçekleştirildiği laboratuarlar (Russell ve ark. 1995) örnek gösterilebilir.

Yarı otonom robotlar, kendi kendilerine bazı görevleri yerine getirebilen ancak temelde yine de bir operatörün kılavuzluğuna ihtiyaç duyan mobil robotlardır

(Koide ve ark. 1993). Sensör bilgilerinin toplanması, operasyon esnasında kullanılabilecek özelliklerin bu bilgilerden elde edilmesi, temel hareket fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi, arıza durumunda veya acil bir durumda sistem davranışlarının sağlanması ve daha önceden standart haline getirilmiş davranış paketlerinin uygulanması yarı otonom robotların yerine getirebilecekleri görevlerden bazılarıdır (Kelley 1997).

Otonom robotlar ise; kendisine verilen bir görevin başarılması için alınması gereken kararların hepsini kendisi alan ve yapılması gereken tüm işleri de yine kendisi yapan robotlardır (De Almeida 1998). Bu durumda operatör sadece robota yapması gereken görevi bildirir veya tek bir görev için robotu o yönde programlar. Otonom robotlar, verilen bir robot ile iletişim kurmanın çok zor (veya imkânsız) olduğu yerlerde veya iletişim gerekmeyecek kadar tehlikesiz basit işlerde kullanılırlar (Yılmaz 2005).

2.2. Görme Tabanlı Mobil Robotlar

Mobil robotun görme tabanlı navigasyonu, bina içi ve bina dışı olmak üzere iki temel alt başlıkta incelenmiştir. Her bir başlık kendi içinde yapılandırılmış ve yapılandırılmamış çevre temelli navigasyon olarak alt başlıklara ayrılmıştır. Yapılandırılmış çevreler için alanın topoğrafik ve geometrik şekillerinin durumları dikkate alınırken; yapılandırılmamış çevreler için optik akış, özel nesnelerin tanınması ve görünüş tabanlı modeller kullanan navigasyon türleri söz konusudur (DeSouza ve Kak 2002).

Santos-Victor ve ark. (1995) arıların görsel davranışını taklit eden optik-akış tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Robotun, bir arının merkezleme refleksini taklit etmesi için farklı bir stereo yaklaşımı kullanmışlardır. Robot, bir koridorun merkezindeyse, sol ve sağ kamerayla görüntülerin elde ediliş hızları arasındaki fark teorik olarak sıfır olur ve robotun konumu koridorun ortasıdır. Ancak kamera görüntülerinin algıladıkları hızlar farklıysa; bu durumda robot görüntünün daha küçük hızla değiştiği kenara doğru hareket edecektir. Robotik uygulamasında temel

fikir, sol ve sağ görüntü hızları arasındaki farkı ölçmek ve robota rehberlik etmesi için (yani yönlendirmesi) için bu bilgiyi kullanmaktır.

Dev ve ark.' da (1997) optik akış kullanarak derinlik bilgisi çıkartılmasıyla duvar takibi uygulaması üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Kim ve Nevatia (1995) simgesel bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşımda kapı ve masa gibi yer işaretçileri kullanılmıştır. Simgesel bir navigasyon olan bu yaklaşımda robot, "kapıya git" veya "önündeki masaya git" gibi emirleri alır ve tanımak için ihtiyaç duyduğu yer işaretçileri ve yolu saptamak amacıyla bu emirlerin içerdiği simgesel bilgiyi kullanır. Örneğin, "Önündeki masaya git" emri, belirtecin masa olduğunu ve yolun ileride olduğunu işaret ederek robota söyler.

Kosaka ve Kak (1992), bina içi navigasyon için FINALE sistemini önermişlerdir. FINALE sistemi sıradan bir PC tabanlı mimariyi ve robotun kendi yer belirleme yöntemini kullanarak yol alması prensibidir. FINALE sistemi, NEURO-NAV ve FUZZY-NAV yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Meng ve Kak (1993) çalışmalarında, yer işaretçilerin algılanması ve özelliklerin açığa çıkartılması için sinir ağları ve boşluğun topoğrafik bir sunumu kullanılmıştır.

Pan ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada, robotun navigasyon davranışının kontrolü için kural tabanlı yüksek düzeyli denetleyicide birleştirici bulanık mantık uygulamışlar ve böylelikle NEURO-NAV' ı geliştirmişlerdir.

Schulz ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada, pek çok görev için robotun çevresindeki insanların pozisyonlarının robot tarafından takip edilebilmesi için basit tabanlı birleşik raslantısal veri ilişkilendirilmesi filtrelerini kullanmışlardır. Bu metotta robotun algılama mesafesinde bulunan nesneleri işlem takibine uygulamak için Bayes (Bayesian) filtrelemesine başvurulmuştur. Bu yaklaşım lazer-mesafe verisi kullanılarak gerçek robot üzerinde uygulanmış ve test edilmiştir. Çok sayıda insanın takibinin sürdürülmesinin bu algoritma ile doğru bir şekilde sağlandığı deneysel olarak gösterilmiştir.

Han ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, mobil robota monte edilmiş bir kamera kullanılarak hareketli hedefin takip edilmesi için yeni bir görüntü tabanlı görme takip şeması sunmuşlardır. Gelecek görüntüde hedefin pozisyonunu doğru bir şekilde takip edilebilmesi için kamera hareketinin görüntü çerçevesindeki hedefin hız

vektörü üzerindeki etkisi ayrıştırılmıştır. Hedefin tahmini hızına ve görüntünün Jakobyanına (Jacobian) dayanarak, mobil robotun kontrol girişleri görüntü çerçevesinin merkez alanı içinde görülebilen bir hedef olarak belirlenebilmektedir. Görüntü çerçevesindeki hedefin şekli hedefin dönmesine ve çevrimine bağlı olarak değiştiğinden dolayı, hedefin çevre çizgisinin çıkartılması ve eşleştirme işleminin her adımında kalıbın güncellenmesi için harici yılan algoritmasını kullanan yeni bir şekil adaptif Kareler Farkı Toplamı (Sum-Squence Difference, SSD) algoritması önerilmiştir. Farklı sebeplerden dolayı hedef geçici olarak kaybedilse bile önerilen şema ihmal edilebilecek kadar küçük bir hata oranıyla hedefi takip etmeyi başarmıştır. Ayrıca önerilen algoritmanın saniyede 12 giriş görüntüsünü işleyebildiği için gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Freda ve Oriolo (2007) iki seviyeli bir yapı önermişlerdir. Düşük seviyede, pan-tilt platformu üzerinde taşınan kamera hedefi görüntü düzleminin merkezine mümkün olduğunca yakın tutabilmesi için kontrol edilmektedir. Yüksek seviyede, hedefin bağıl pozisyonu basit geometriyle kameranın pan-tilt açısından ve görüntü koordinatlarından elde edilmiştir ve robotu hedefe götürecek kontrol hesaplamasında kullanılmıştır. Mümkün olan farklı seçenekler yüksek seviyeli robot kontrolörleri için ele alınmıştır ve ilişkilendirilen kararlılık özellikleri yaklaşık olarak analiz edilmiştir.

Wang ve ark. (2007) yaptıkları çalışmalarda üçüncü nesil olarak adlandırılan bağlayıcı sinir ağlarının (Spiking Neural Networks, SNN' ler), büyük avantajlara sahip olduğunu ve robot denetleyicileri için en uygun olanı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Mobil robotlar için ultrasonik sensör sinyalleri kullanarak engellerden sakınmak için bağlayıcı sinir ağı temelli bir davranış kontrolörü kullanmışlardır. Tasarlanan bu kontrolörde tümleşik çalıştırma modeli kullanılmış ve SNN Hebbian öğrenme algoritması ile eğitilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen kontrolörün daha verimli ve uygulanmasının daha basit olduğunu göstermiştir.

Son yıllarda Guzman ve ark. (2007) tarafından yapılan yeni çalışmalar, mobil robot hareketi problemlerinin çözümünü içeren (yani, iyi bilinen pek çok algoritmayı ve teknikleri kolaylıkla anlamamızı hedefleyen) etkileşimli araçlar ile ilgilidir. Bu araçlar, hareketliliğin modellenme mekanizmalarından navigasyondaki

kullanımlarına kadar uzanan disiplinleri ve problem çözümlerinin sade açıklamasını içerir.

Klancar ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, mobil robota uygulanan model-tahminli yörünge-takibi kontrolünü anlatmışlardır. Doğrusallaştırılmış takip-hata hareket bilgisini gelecek sistem davranışını tahmin etmek için kullanmışlardır ve kontrol yöntemi, sistem takip hatasını önleyen ikinci dereceden maliyet fonksiyonundan türetilmiştir. Gerçek bir mobil robot üzerinde yapılan deneysel sonuçları sunmuşlar ve kontrol karşılaştırmasını zamanla değişen durum-geri beslemesi kontrol biriminden elde edilenler ile sağlanmıştır. Ayrıca önerilen kontrol birimi mobil robotun kaymasını önlemek için hız ve ivme kısıtlamalarını içermektedir.

Brezak ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, çoklu robotların takibi için kullanılan bir genel görme sistemini anlatmışlardır. Bu sistem, değişken ışık değişimleri altında robotların çok sayıda güvenilir takip, gerçek zamanlı çalışma, yüksek hız, doğruluk ve ölçüm duyarlılığı açısından varolan görme sistemlerine göre üstün performans göstermiştir. Önerilen sistemin yeniliği, özellikle kameradan alınan Bayer formatlı görüntünün doğrudan robot pozisyonlarının hesaplanmasına ve tasarlanan robot işaretçilerine dayanmaktadır. Yüksek çerçeve yakalama oranları ile birçok robotun takibi görüntü işleme algoritmalarında önemli sadeleştirmeler yaparak sağlanıyorken, alt piksel hassasiyeti ile bu iki ölçüm robotların doğru pozisyon tahminini mümkün kılmıştır.

Ivanjko ve ark. (2007) görevini verimli bir şekilde gerçekleştirebilmek için mobil robotun kesin pozisyonunu bilinebilmesi ve insan müdahalesi olmaksızın harita yapılandırması için mobil robot sisteminin farklı algoritmalarının görevlerini basitleştirmek amacıyla histogram ve korelasyon karşılaştırması kullanımıyla işlenen lazer tarama okumaya dayanan bir mobil robot konum takip yaklaşımı sunmuşlardır. Ayrıca bu çalışmada önerilen yaklaşımın yeteneklerini göstermek amacıyla diferansiyel sürüşlü bir mobil robot ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

3. MOBİL ROBOT NAVİGASYON SİSTEMLERİ

3.1. Bina İçi Navigasyon

1979' da ilk olarak Giralt, robotik taşıtlar üzerinde çalışmıştır. Navigasyonda görme işlemi için bilgisayarın gördüğünü varsaydığı bilgilerin tam olarak birleştirilmesi gereklidir. Mobil robotun navigasyonu için ilk görme sistemlerinin gelişimi, alanın geometrisine, sürüşteki görme yöntemleri için diğer metrik bilgilere ve kendi yerini belirleme çalışmasına dayanmaktadır. Özellikle bina içi, değişken karmaşıklık CAD modelleriyle temsil edilmiştir. Rapor edilen bazı çalışmalarda ise, CAD modeller daha basit modeller ile yer değiştirmiştir. İşgal haritaları (occupancy), topoğrafik haritalar veya çift görüntü dizileri buna örnek teşkil ederler. Boşluğu temsil etmek için görüntü dizilerinin kullanılması durumunda, navigasyon esnasında alınan görüntü, beklenen (veri tabanında depolanmış hedef görüntü) ve algılanan (gerçek görüntü) arasındaki bir çeşit görüntü tabanlı eşleştirmeyi gerektirir.
Bina içi navigasyon üç gruba ayrılır. Bunlar;

- **Harita Tabanlı Navigasyon:** Bu sistemler, çevrenin topoğrafik haritalarına veya kullanıcı tarafından oluşturulan geometrik şekiller ile bağlantılıdır.
- **Harita-Yapılandırma Tabanlı Navigasyon:** Çevrenin topoğrafik veya geometrik modellerinin oluşturulmasında sensörleri kullanan sistemlerdir. Daha sonra oluşturulan modeller navigasyon için kullanılır.
- **Haritasız Navigasyon:** Bu sistemlerde navigasyonun gerçekleştirildiği boşluk hakkında kesin bir bilgilendirme kullanılmaz. İhtiyaç duyulan robot hareketlerine, kamera ile gözlem yaparak ve çevredeki öğeler hakkında anlamlı bilgi çıkartılarak karar verilir. (DeSouza ve Kak 2002).

3.1.1. Harita tabanlı navigasyon

Harita tabanlı navigasyon, önceden hazırlanmış çevrenin şekillerine sahip bir robotu içermektedir. Çevrenin şeklini temsil eden modeller, çevrenin tam CAD modelinden çevredeki elemanların basit bir ara bağlantısına (ya da birbirine bağlanmış grafiğine) kadar farklı derecelerde ayrıntıları içerir. Bazı ilk görme sistemlerinde; çevre bilgisi, çevredeki her bir nesnenin, yatay düzlemde 2D (iki boyutlu) olarak temsil edildiği bir ızgara gösterimini içerir. Bu gibi bir temsil, genelde işgal haritalarında ("occupancy map") kullanılmıştır (Moravec ve Elfes 1985). Daha sonra, işgal (doluluk) haritaları fikri, Sanal Güç Alanları' nın ("Virtual Force Fields") bir araya getirilmesiyle geliştirilmiştir (Borenstein ve Koren 1989). VFF; robota, işgal edilen her hücrenin uzaklaştırıcı ve hedefin ise çekici bir güç uyguladığı özel bir işgal haritası yöntemidir. Ardından, bütün güçler vektör toplama/çıkarma işlemlerinin kullanımıyla birleştirilir ve elde edilen bileşke güç, robot için yeni bir hedef göstermede kullanılır. İşgal tabanlı gösterimler, navigasyon sistemlerinin araştırmalarında halen kullanılmaktadırlar.

İşgal haritası fikrinin daha gelişmiş bir versiyonu olan S-haritası "2D haritasına 3D alanını sıkıştırmak" için üç boyutlu belirli yerlerin uzaysal analizi ve 2D haritasında onların yüzeylerinin gösterimini gerektirir (Kim ve Nevatia 1994). Bir diğer detaylandırma, dolu/boş hücrelerin koordinatlarının sayısını ve uzaydaki nesnelerle ilişkili pozisyon koordinatlarının ölçümündeki hataları hesaplamak için işgal haritasındaki birleştirici belirsizliklerden meydana gelir.

Herhangi bir harita tabanlı navigasyonda ana düşünce; navigasyon esnasında robotun dolaylı ya da dolaysız olarak yer işaretçilerin sırasını beklendiği gibi bulmasını sağlamaktır. Görme sistemlerinin görevi ise; görüntüde gözlenen yer işretçileri araştırmak ve tanımaktır. Bir kez tanımlama yapıldığında robot, gözlenen görüntü ile bilgi bankasındaki tanımlamayı eşleştirerek, kendi pozisyonunu verilen haritada tahmin etmek için kullanır.

3.1.2. Harita yapılandırma tabanlı navigasyon

Birçok araştırmacı, çevrenin iç temsilini inşa edebilen ve kendi çevrelerini keşfedebilen yarı otomatikleştirilmiş veya otomatikleştirilebilen robotlar önermişlerdir. Robotik harita-yapılandırmasındaki çalışmalardan biri Moravec tarafından yapılan Stanford Cart' dır. Stanford Cart, 50 cm'lik bir kaydırıcı boyunca belirli aralıklarla dokuz görüntü almak amacıyla tek bir kamera kullanır. Sonrasında, bir ilgi operatörü, görüntülerdeki ayırıcı özellikleri çıkarmak için uygulanmıştır. Ardından, bu özelliklerin 3D koordinatları üretilmiştir. Bütün işlemler uzaktan yapılmıştır ve robotun 20 metre kat etmesi için beş saat harcanmıştır. "Yer", iki metrekarelik hücrelerin ızgarasında çizilen özelliklerin 3D koordinatlarıyla temsil edilmiştir. Özellikler, ızgarada ve görüntü düzleminde işaretmiş ve programın her tekrarlamasında izlenilmiştir. (Moravec 1983)

3.1.3. Haritasız navigasyon

Bu kategoride, çevrenin herhangi bir öncelikli tanımlaması olmadan, navigasyonun başarıldığı bütün sistemler kapsanmaktadır. Bu kısımda incelenen sistemlerde, şimdiye kadar hiçbir harita oluşturulmamıştır. İhtiyaç duyulan robot hareketlerine, gözlem yapılarak ve çevredeki öğeler hakkında anlamlı bilgi çıkartılarak karar verilir. Bu öğeler; duvarlar, masalar, kapı aralıkları, vb. olabilir ve bu öğelerinin kesin (veya hatta bağıl) konumlarının, bilinmesi zorunlu olmamakla birlikte navigasyon sadece, bu öğelere göre gerçekleştirilebilir. Bunun için, denenen tekniklerden: Optik-akış-tabanlı, görünüş-tabanlı ve nesne tanıması yapan teknikler önem taşır (DeSouza ve Kak 2002).

3.1.3.1. Optik akışı kullanan navigasyon

Santos-Victor ve ark. (1993), arıların görsel davranışını taklit eden görüşle ilgili optik-akış tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sisteme göre; böceklerde gözlerin derinlik bilgisinin kullanılmasından ziyade hareket-türetme özelliklerini kullanılması şeklindeki navigasyon mekanizması tercih sebebidir. Santos-Victor ve ark. (1993) yaptıkları Robee isimli bu robotu, bir arının merkezleme refleksini taklit etmesi için kullanmışlardır. Sonunda, zıt yönlere sahip olan sol ve sağ akışın gözlenmesiyle, bu iki akışın mukayesesi yapılmış ve robotun yolun ortasında gitmesi sağlanmıştır.

3.1.3.2. Görünüş tabanlı eşleştirmeyi kullanan navigasyon

Çevrenin görüntüleri bilgisayara depolanır ve robotu hedefine ulaştıracak olan komutlarla bu görüntüler ilişkilendirilir. Bunun için VSSR (View-Sequenced Route Representation) yani Görüş-sıralı rota temsiline başvurulur. Bir görüntü dizisi depolandıktan sonra, sistem, bağıntı işlemini kullanarak dizi veri tabanındaki görüntüler ile o anki gözlenen görüntüleri kıyaslar. O "Yer"'i temsil eden bir görüntü seçilir, sistem alınan görüntü ve kalıp görüntüsü arasındaki piksellerin yer değiştirmesini hesaplar. Ardından, bu yer değiştirme, yönlendirme komutlarında kullanılan açıları bulmak amacıyla kullanır. (Gaussier ve ark. 1997)

3.1.3.3. Nesne tanıması kullanan navigasyon

- Kim ve Nevatia tarafından bu yaklaşım önerilmiştir.
- Yer işaretçisi(kapı, masa v.b) gibi nesneleri kullanır.
- Simgesel bir navigasyon yaklaşımıdır.
- Bu olayda, robot, "Kapıya git" veya "önündeki masaya git" gibi emirleri alır

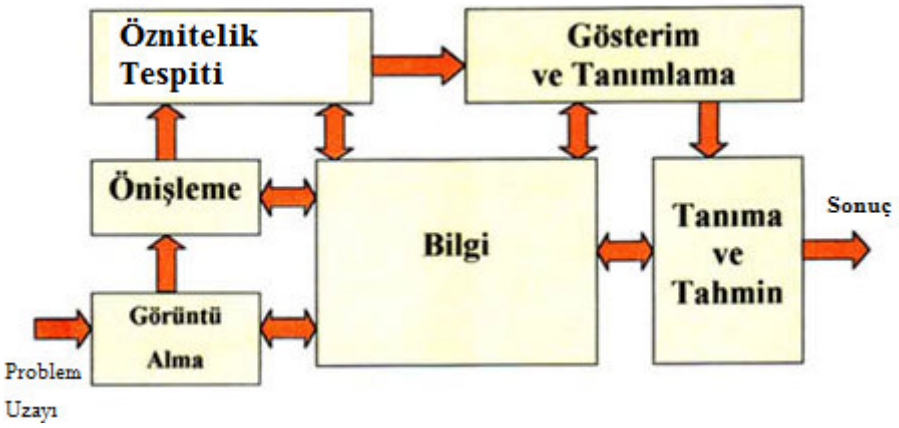
ve tanımak için ihtiyaç duyduğu yer işaretçileri ve yolu saptamak amacıyla bu emirlerde içeren simgesel bilgiyi kullanır. Örneğin, "Önündeki masaya git“ emri yer işaretçisinin, masa olduğunu ve yolun, ileride olduğunu işaret ederek robota söyler. Hedef yer işaretçisi (Mesela, masa), tanındığı andan itibaren onun yeri, S-haritasına (Gözlenen yer işretçilerin izdüşümlerini depolayan bir 2D ızgarası) işlenir, robot, hedefe yaklaşması için GPS gibi bir yol planlamacısı ve rota hesabı kullanarak yolu çizer (Kim ve Nevatia 1994) (Kim ve Nevatia 1995).

3.2. Bina Dışı Navigasyon

Bina içi navigasyonda olduğu gibi, bina dışı navigasyon da genellikle, engelden kaçınmayı, yer işretçisi bulmayı, harita yapılandırma güncelleştirmesini ve konum tahminini içermektedir. Bina dışı navigasyonla ilgili yapılan araştırmalarda, öncelikli olarak çevrenin tam bir haritası neredeyse hiç bilinmeden ve sistemin, beklenen konumu hakkında önceden bilgi olmadan nesnelere göre mobil robotun hareket etmesi oldukça zordur. Bununla beraber, bina dışı navigasyon çevre yapısı düzeyine göre yapılandırılmış ve yapılandırılmamış çevrelerdeki bina dışı navigasyon olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (DeSouza ve Kak 2002).

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ VE MATLAB

Görüntü işleme sistemlerinin çalışmasında kullanılan birçok işlem basamakları vardır. Görüntü işlemenin temel basamakları Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Görüntü işlemenin temel basamakları

Görüntü işlemede ilk adım görüntüyü bir film tabakasına veya bir hafıza birimine almamızı sağlayan resim alıcılarıdır. Bu cihazlarda bir resim algılayıcısı ve algılanan resmi sayısal hale getiren sayısallaştırıcı birim bulunmaktadır. Eğer resim sensörü resmi doğrudan sayısal hale dönüştürmüyorsa, elde edilen analog resim, bir Analog/Sayısal dönüştürücü yardımıyla sayısal hale dönüştürülmektedir. Sayısal resim elde edildikten sonraki basamak ise ön-işleme'dir. Adından da anlaşıldığı gibi ön-işleme, elde edilen sayısal resmi kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek için, resmin bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu işlemlere örnek olarak; kontrastın ayarlanması, resimdeki gürültülerin azaltılması veya yok edilmesidir. Ön-işlemler bittikten sonra özniteliklerin tespiti basamağına geçilir. Özniteliklerin tespiti, bir resimdeki nesne veya resim içerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrıştırılması işlemidir. Özniteliklerin tespiti, görüntü işlemenin en zor uygulamasıdır ve özniteliklerin tespiti tekniklerinin sonuçlarında belli bir hata oranı olabilmektedir. Özniteliklerin tespiti bir resimdeki nesnenin sınırları, şekli veya o nesnenin alanı gibi ham bilgiler üretir. Eğer objelerin

şekilleriyle ilgileniyorsak, özniteliklerin tespiti bize o nesnenin kenarları, köşeleri ve sınırları hakkında bilgi vermesi beklenir. Fakat resim içerisindeki nesnenin yüzey kaplaması, alanı, renkleri, iskeleti gibi iç özellikleriyle ilgileniliyorsa bölgesel segmantasyonun kullanılması gerekir. Karakter veya genel olarak örnek tanıma gibi oldukça karmaşık problemlerinin çözümü için her iki segmantasyon metodunun da bir arada kullanılması gerekebilmektedir. Özniteliklerin tespiti sonraki basamak, resmin gösterimi ve resmin tanımlanmasıdır. Resimde ilgilenilen ayrıntı ve bilgilerin ön plana çıkarılması bu aşamada yapılır. En son kısım ise tanıma ve yorumlamadır. Bu aşamada ise resmin içerisindeki nesnelerin veya bölgelerin önceden belirlenen tanımlamalara göre etiketlendirilmesidir (Günay 2006).

Bu bölümde; robotik görme işlemlerinde kullanılabilecek olan ön görüntü işleme teknikleri, görüntü analizi, özniteliklerin tespiti ve görüntü tanıma işlemleri hakkında bilgi verilecektir.

4.1. Ön Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü üzerinde analiz yapmadan önce analizi kolaylaştıracak iyileştirmeler veya vurgulamaların yapılması için kullanılan işlemlere "Ön Görüntü İşleme Teknikleri" adı verilir. Seçilen bir operatörün görüntüdeki tüm noktalara (piksellere) koşulsuz olarak uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Genel olarak ön görüntü işleme teknikleri; aritmetik, lojik, noktasal, geometrik operatörler ve sayısal filtreler gibi basit matematiksel işlemlerdir. Bu işlemler aşağıda kısaca açıklanmıştır (Fisher ve ark. 1994) (Yılmaz 2005).

4.1.1. Aritmetik ve lojik işlemler

Görüntü aritmetiği iki veya daha fazla görüntüye standart aritmetik ve lojik operatörlerden birini uygular. Operatörler görüntüye piksel-piksel uygulanır. Yani çıkış görüntüsündeki bir pikselin değeri sadece giriş resminde o piksele karşılık gelen

pikselin değerine bağlıdır. Bu yüzden çıkış ve giriş görüntüleri aynı uzunlukta olmak zorundadır. Giriş görüntülerinden biri sabit bir sayı da olabilir. Görüntü aritmetiği görüntü işlemenin en basit şekli olmasına rağmen geniş bir uygulama alanı vardır. Aritmetik operatörlerin en önemli avantajı işlemin oldukça hızlı olmasıdır.

Bazı uygulamalarda işlenen görüntüler aynı bölgeden farklı zamanlarda alınırlar. Örneğin, iki benzer görüntü toplanarak rasgele (random) gürültülerin azaltılması sağlanabilir. Görüntüleri çıkartmak suretiyle de varsa görüntüde hareket tespiti yapılabilir. Piksel bazlı aritmetik işlemlerin görüntülere uygulanması Çizelge 1' deki denklemler kullanılarak gerçekleştirilir. Çizelge 1' de P' ler giriş görüntülerini, Q' lar çıkış görüntülerini, X harmanlama oranını ve C' ler ise sabit bir sayıyı ifade eder.

Çizelge 4.1 Aritmetik işlemler

Aritmetik işlemler	Görüntü	Sabit sayı
Toplama	$Q(i,j) = P_1(i,j) + P_2(i,j)$	$Q(i,j) = P_1(i,j) + C$
Çıkartma	$Q(i,j) = P_1(i,j) - P_2(i,j)$	$Q(i,j) = P_1(i,j) - C$
Çarpma	$Q(i,j) = P_1(i,j) \times P_2(i,j)$	$Q(i,j) = P_1(i,j) \times C$
Bölme	$Q(i,j) = P_1(i,j) \div P_2(i,j)$	$Q(i,j) = P_1(i,j) \div C$
Harmanlama	$Q(i,j) = X \times P_1(i,j) + (1-X) \times P_2(i,j)$	

Eğer görüntü formatı sadece 8 bit integer piksel değerinin desteklediği söyleniyorsa işlemlerin sonucunun müsaade edilen maksimum piksel değerinden daha büyük çıkması gayet doğaldır. Müsaade edilen maksimum değerden daha yüksek piksel değerleri, maksimum değere düşürülür. Bu etki saturasyon olarak bilinir.

Lojik operatörler ise genellikle kombine iki görüntü için kullanılır. Bu operatörler Çizelge' de verilmiştir. Tamsayı görüntülerde lojik operatörler normal olarak bit bit uygulanır. Daha sonra bir görüntünün özel bir bölgesini seçmek için binary maske kullanabiliriz.

Çizelge 4.2 Lojik işlemler

X	Y	AND	NAND	OR	NOR	XOR	XNOR	NOT
0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0

4.1.2. Noktasal işlemler

Tek nokta işleme, görüntü geliştirmenin basit bir yoludur. Geliştirilen görüntünün piksel değeri, giriş görüntüsüne karşılık gelen piksel değerine bağlıdır. Bu işlem Denklem (4.1) gösterildiği gibi bir haritalama (mapping) fonksiyonu ile tanımlanabilir.

$$s = M(r) \tag{4.1}$$

Burada r ve s, sırasıyla giriş ve çıkış görüntülerinin piksel değerleridir.

Eşikleme: Gri tonlanmış bir görüntüden iki formda (siyah/beyaz) bir görüntü elde etmek için kullanılan bu operatör görüntüdeki piksellerin ışık yoğunluklarına göre bir sınıflama yapmaktadır. Bu işlem için kullanılan M harita fonksiyonu denklem Denklem 4.2' de verilmiştir.

$$s = M(r) = \begin{cases} 0 \ \ eğer \ \ r < T \ ise \\ 0 \ \ eğer \ \ r \geq T \ ise \end{cases} \tag{4.2}$$

Burada, s çıkış görüntüsünde işlem yapılan pikselin değeri, r giriş görüntüsünde işlem yapılan pikselin değeri, T ise eşik değeridir. Bu işlemin sonucu yine

Adaptif eşikleme: Normal eşikleme işleminde tüm piksellerin değerlerini göz önüne alarak genel bir eşik, görüntüye uygulanır. Adaptif eşikleme de ise görüntü üzerinde belli bir bölgeye uygulanırken oradaki ışık şartlarına göre değişerek şartlara uygun işlem yapılmasını sağlar.

Adaptif eşiklemede giriş olarak genelde gri tonlanmış ve renkli görüntüler kullanılır. Çıkış, ikili (binary) görüntüdür. Görüntüdeki her bir piksel için bir eşik değeri hesaplanmalıdır. Eğer ele alınan piksel değeri eşik değerden küçük ise piksel 0 değerine aksi halde255 değerine ayarlanır.

Eşiğin bulunmasında iki temel yaklaşım vardır: Birincisi Chow ve Kanenko yaklaşımı, ikincisi Yerel Eşikleme yaklaşımıdır. Bu iki metodun arkasındaki varsayım, daha küçük görüntü parçalarının yaklaşık olarak daha uniform bir yapısı olduğudur. Böylece bu küçük görüntü parçası için bulunan eşik değeri ile çalışmak daha uygun olur.

Chow and Kanenko, bir görüntüyü birbirlerini kısmen örten parçalara ayırır, daha sonra histogramlarını inceleyerek her bir parça için optimum eşik değerini bulur. Her bir piksel için eşik değeri ise, görüntü parçalarının eşik değerleri kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu metottaki zorluk hesaplama süresinin uzunluğudur. Bu sebeple gerçek zamanlı uygulamalarda kullanıma uygun değildir.

Yerel eşik değerinin bulunmasında alternatif bir yaklaşımda her bir pikselin yerel komşularının piksel değerlerini istatistik yöntemlerle incelemektir. Kullanılan uygun istatistik yöntem çoğunlukla giriş görüntüsünün özelliklerine bağlıdır. Basit ve hızlı fonksiyonlar yerel yoğunluk dağılımının ortalamasını içerir. Komşuların sayısı, yeterli sayıda ön ve arka pikselini içerecek kadar olmalıdır. Aksi halde kötü bir eşik seçilmiş olur. Diğer yandan komşularının sayısı çok fazla seçilirse, yerel eşik belirleme amacı ihlal edilir ve genel bir eşik seçilmiş olunur. Bu metot Chow ve Kanenko yaklaşımından daha az ve hassas hesap içermekte ve bazı uygulamalarda daha iyi netice vermektedir.

Kontrast Normalizasyonu: Kontrast normalizasyonunda görüntünün piksel değerlerini istenene değerler bölgesinde bir normalizasyona tabi tutulur. Genelde gri tonlanmış bir görüntü girilerek yine gri tonlanmış görüntü çıkışta elde edilir.

İşlemden önce görüntünün normalize edileceği en yüksek ve en düşük piksel değerlerinin seçilmesi gerekir. Genellikle bu maksimum ve minimum piksel değerleri görüntünün tipinin müsaade ettiği maksimum ve minimum piksel değerleridir. Örneğin 8 bit gri tonlanmış görüntülerde maksimum piksel değeri 255, minimum piksel değeri ise 0’ dır. Bu en yüksek ve en düşük piksel değerleri sırasıyla a ve b değerleridir.

Görüntü basit bir sıralama yöntemiyle taranır ve mevcut görüntüdeki piksel değerlerinin en düşük ve en yüksek olanı bulunur. Sıralama ise c ve d şeklinde yapılır. Daha sonra, her bir piksel değeri (P), (4.3) denklemi kullanılarak ölçeklendirilir:

$$P_{out} = (P_{in} - c)\left(\frac{b-a}{d-c}\right) + a \tag{4.3}$$

Histogram Eşitleme: Histogram biçimlendirme teknikleri (örnek olarak histogram eşitleme) ışık yoğunluk histogramının arzu edilen bir şekle sahip olması için görüntünün kontrastını ve dinamik alanını düzenleyen karmaşık yöntemlerdir. Kontrast normalizasyonundan farklı olarak histogram modelleme operatörleri non-lineer ve non-monotonik transfer fonksiyonlarını kullanabilirler. Histogram eşitlemede giriş görüntüsündeki piksellerin ışık yoğunluk değerleri, çıkış görüntüsünde düzgün bir piksel ışık yoğunluk dağılımı gösterecek şekilde tekrar düzenleyen monotonik ve lineer olmayan bir haritalama fonksiyonu ile sağlanır. Bu teknik görüntü sıkıştırma işlemlerinde ve çeşitli işlemler sırasında oluşabilecek non-lineer etkilerin düzeltilmesinde kullanılır.

Histogram modellemede genellikle parçalı (discrete) işlem fonksiyonlarından ziyade sürekli (continuous) işlem fonksiyonları kullanır. Bu yüzden ilgilendiğimiz resmin, 0 ila 1 aralığında sürekli (kesintisiz) yoğunluk seviyelerini içermelidir ve bir A(x,y) giriş görüntüsünden bir B(x,y) çıkış resmini elde eden f transformasyon fonksiyonu, bu aralıklar için sürekliliğini korumalıdır.

4.1.3. Geometrik işlemler

Bir geometrik operatör giriş görüntüsündeki (x_1,y_1) konumundaki her bir piksel değerini, çıkış görüntüsünde (x_2,y_2) piksel konumuna haritalar. Burada tanımlana temel operatörler için bu fonksiyonlar, Denklem (4.4)' de verilen formda ve birinci dereceden polinom şeklindedir.

$$\begin{vmatrix} x_2 \\ y_2 \end{vmatrix} = A \times \begin{vmatrix} x_1 \\ y_1 \end{vmatrix} + B \tag{4.4}$$

Geometrik Ölçekleme: Bu operatör, bir resmin boyutlarının büyütülmesi veya küçültülmesi için kullanılan geometrik bir transformasyondur. Genellikle seyrek örnekleme olarak bilinen görüntü indirgeme, bir gurup pikselin yerine seçilen gurubu temsil edecek bir piksel ile yer değiştirmesi veya yerel bir komşuluktaki piksel değerler arasındaki enterpolasyon ile gerçekleştirilir. Görüntü büyütülmesi (zumlarna) işlemi, piksel tekrarı veya interpolasyon ile sağlanır. Ölçekleme bir görüntünün görünüşünü değiştirmek, bir ekranda gösterilmek için kaydedilmiş bilgilerin kalitesini değiştirmek veya belirli bir ölçeğe sahip görüntünün özellikleri ile işletilen çok parçadan oluşan görüntü işleme zincirinde bir ön işlemci olarak kullanılır.

Döndürme: Döndürme operatörü, giriş görüntüsünün (x_1,y_1) piksel pozisyonunu 0 orijini etrafında kullanıcı tarafından belirlenmiş bir açı kadar döndürerek, çıkış görüntüsünde (x_2,y_2) pozisyonunda görüntüyü haritalayan bir geometrik transformasyon sağlar. Bu durumda görüntü sınırlarının dışı olan konumlar ihmal edilir. Döndürme operatörü, yönlendirme operatörlerin yer aldığı uygulamalarda önişlemci olarak kullanımı faydalı olmasına rağmen, genellikle, bir görüntünün görsel durumunu düzeltmek için kullanılır.

Döndürme operatörünün gerçekleştirdiği dönüşüm, Denklem (4.5)' da verilmiştir;

$$x_2 = \cos(\theta).(x_1 - x_0) - \sin(\theta).(y_1 - y_0) + x_0$$

$$y_2 = \sin(\theta).(x_1 - x_0) - \cos(\theta).(y_1 - y_0) + y_0 \tag{4.5}$$

şeklindedir. Burada, (x_0,y_0) giriş görüntüsündeki döndürme merkezinin koordinatları, θ ise döndürme açısıdır. Hatta dönüşüm operatöründen daha fazla olarak dönüşüm işlemi, görüntü sınırları (orjinal giriş görüntüsünün boyutlarıyla tanımlanan) içinde uygun olmayan (x_2,y_2) çıkış yerlerini oluşturur.

Yansıma: Yansıtma operatörleri bir görüntüyü geometrik olarak görüntü elementlerine dönüştürür. Örneğin, orijinal görüntü içinde (x_1,y_1) pozisyonunda

bulunan piksel değerleri, kullanıcı tarafından belirlenmiş bir görüntü ekseninde yansıtılarak, buna karşılık gelen yeni bir (x_2,y_2) pozisyonunda çıkış görüntüsünün elde edilmesi sağlanır. Yansıma, genellikle görüntüyü görselleştirmek amacıyla kullanılır. Ancak, döndürmede olduğu gibi yansıma önişlemci operatörü olarak da kullanılabilir.

Yansıma görüntü içindeki bir noktada veya bir görüntü ekseninde gerçekleştirilebilir. Yaygın olarak kullanılan bazı dönüşümler sırasıyla denklem (4.6), (4.7), (4.8) ve (4.9)' da verilmiştir.

Bir giriş görüntüsündeki x_0 yatay koordinatının dikey eksen etrafında yansıması:

$$x_2 = -x_1 + (2.x_0)$$

$$y_2 = y_1 \qquad (4.6)$$

şeklindedir. y_0 dikey koordinatının yatay eksen etrafında yansıması ise:

$$x_2 = x_1$$

$$y_2 = -y_1 + (2.y_0) \qquad (4.7)$$

dir. (x_0,y_0) noktasından geçen, gelişigüzel seçilen herhangi bir θ döndürme açısı yönünde yönlendirilmiş bir eksende yansıma:

$$x_2 = x_1 + 2.\Delta.(-\sin(\theta))$$

$$y_2 = y_1 + 2.\Delta.(\cos(\theta))$$

$$\Delta = (x_1 - x_0).\sin(\theta) - (y_1 - y_0).\cos(\theta) \qquad (4.8)$$

dir. Çoğu uygulamada, yansıtılan piksellerin dışında kalan görüntü alanları siyah pikseller ile doldurulur. Bu durumda, giriş görüntüsünde (x_0,y_0) noktasında yatay yada dikey yansıma;

$$x_2 = -x_1 + (2.x_0) \qquad (4.9)$$

formunda olacaktır.

Dönüştürme: Dönüştürme operatörü geometrik bir dönüşüm gerçekleştirir. Bu dönüşüm, bir giriş görüntüsündeki her bir piksel elementin pozisyonunu yeni bir pozisyona çevirir. Dönüştürme işleminde, (x_1,y_1) pozisyonuna yerleştirilmiş durumdaki bir görüntü elementi, kullanıcı tarafından belirlenmiş bir (β_x,β_y) dönüşüm değerleri ile yeni bir (x_2,y_2) pozisyonuna kaydırılır (ötelenir). Görüntü kenarlarındaki elementlere yapılan işlemler, uygulamaya bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Dönüştürme, bir görüntünün görselliğini düzeltmek için kullanılmasının yanında iki veya daha fazla görüntünün kaydedilmesinin gerekli olduğu uygulamalarda bir ön işlemci olarak da rol üstlenir.

Döndürme operatörünün gerçekleştirdiği dönüşüm denklem (4.10)' de verilmiştir;

$$x_2 = x_1 + \beta_x$$

$$y_2 = y_1 + \beta_y \tag{4.10}$$

Eğer, elde edilen yeni (x_2,y_2) koordinatları, görüntünün dışında ise, dönüştürücü operatörü normal olarak bu koordinatlardaki pikseli ihmal eder. Çoğu uygulamada kaydırılan görüntünün dışında kalan alanlar, siyah piksellerle doldurulur.

4.1.4. Dijital filtreler

Görüntü işlemede, filtreler genellikle görüntüdeki yüksek frekansları bastırmak, görüntüyü düzlemek, düşük frekansları bastırmak, görüntüdeki kenarları arttırmak ve ortaya çıkarmak gibi amaçlar için kullanılır.

Ortalama Filtre: Alçak geçiren filtre çeşididir. Ortalama filtreleme; basit, sezgisel ve düzeltme görüntüleri için uygulanması kolay bir yöntemdir. Örneğin, bir piksel ve yanındakiler arasındaki yoğunluk değişim miktarını azaltmak için kullanılabilir. Bu filtre genellikle görüntülerdeki gürültüleri azaltmak için kullanılır.

Ortalama filtrelemede ana fikir, sadece bir görüntüdeki her bir piksel değerini (kendi de dâhil olmak üzere) komşularının ortalama değerleriyle yer değiştirmektir. Bu işlem çevresini temsil etmeyen piksel değerlerin elenmesinde etkilidir. Ortalama filtreleme genellikle bir konvülüsyon filtreleme olarak düşünülür. Diğer konvülüsyonlarda olduğu gibi ortalama hesaplanırken örneklenmek üzere komşuluğun şeklini ve büyüklüğünü temsil eden bir kernele dayanır. Daha şiddetli düzleme için daha geniş kerneller kullanılmasına rağmen (5×5 kareleri gibi), Şekil 4.2' de gösterildiği gibi, 3×3 kare kerneli sıkça kullanılır.

$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

Şekil 4.2 Ortalama filtre için kullanılan 3x3' lük ortalam kerneli

Ortanca Filtre: Alçak geçiren filtre çeşididir. Bu filtrede mxm boyutlu bir alan içerisindeki piksel değerler önce küçükten büyüğe (veya tersi şekilde) sıralanır ve en ortada kalan değer söz konusu alanın ortasındaki değer olarak atanır. Ortanca filtreler konvolüsyon işlemi ile gerçekleştirilemezler.

Gausyen Filtre: Alçak geçiren diğer bir filtre ise gausyendir. Bir başka alçak geçiren fiitreleme işlemi görüntünün Gausyeninin (Gaussian) alınması şeklinde yürütülür. Gausyen fonksiyonunu Denklem (4.11)' de verilmiştir.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \tag{4.11}$$

İki boyutlu Gausyen fonksiyonu ile aynı dağılıma sahip bir konvolüsyon çekirdeği kullanılarak görüntünün yumuşatılması sağlanır.

Lablesyen: Bir görüntünün ikinci uzaysal türevinin 2 boyutlu izotropik bir ölçüsüdür. Bir görüntünün Lablasyeni hızlı değişim gösteren yoğunluk bölgelerini vurgular ve bu nedenle kenar bulmak için sıklıkla kullanılır. Piksel yoğunluk değeri I(x,y) olan bir görüntünün Lablasyeni L(x,y) Denklem (4.12)' te verilmiştir.

$$L(x,y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \tag{4.12}$$

Frekans Filtresi: Yüksek geçiren filtre çeşididir. Frekans filtreleri bir görüntüyü frekans bölgesi içinde işlemden geçirir. Görüntüye Fourier dönüşümü uygulanır, ardından filtre fonksiyonu ile çarpılır ve daha sonra asıl bölgesi içinde yeniden dönüşümü sağlanır.

Bütün frekans filtreleri tanım kümesi için de uygulanabilir. Eğer, istenilen filtre etkisi için basit bir maske varsa, gerçek tanım kümesi içinde filtreleme işlemini gerçekleştirmek daha ucuza elde edilebilir. Eğer, tanım bölgesinde doğru bir maske yok ise Frekans filtreleme işlemi daha uygun olur.

4.2. Görüntü Analizi ve Özniteliklerinin Tespiti

Öznitelik tespitinde; kenar ve çizgilerin çıkarımı, segmentasyon, histogram ve projeksiyonlar gibi yöntemler kullanılmaktadır.

4.2.1. Kenar ve çizgilerin bulunması

Kenar ve çizgilerin bulunmasında kullanılan pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar; Robert çapraz operatörü, Sobel kenar detektörü, Canny kenar detektörü, Compass kenar detektörü, sıfır geçiş detektörü, çizgi detektörüdür.

Robert çapraz operatörü: Bu amaç için 2x2 lik bir konvolüsyon çekirdeği kullanır. İki boyutlu görüntü üzerinde birinci türev gradyen işlemini gerçekleştirir. 2 maskesi vardır. Her bir maske ayrı olarak görüntüye uygulanarak sonuç elde edilir.

Sobel Kenar Detektörü: Genelde 3x3 olmak üzere farklı boyutlarda konvolüsyon çekirdekleri kullanan sobel kenar detektörü de iki boyutlu uzayda gradyen alma vazifesi görmektedir.

Canny Kenar Detektörü: Canny operatörü optimal bir kenar detektörü olması için dizayn edilmiştir. Giriş olarak gri tonlanmış bir görüntü alır, çıkış olarak

da izlenen yoğunluk süreksizliklerinin pozisyonlarını gösteren bir görüntü verir. Canny operatörü çok aşamalı bir biçimde çalışır. İlk olarak tüm resimler Gausyen konvülüsyon kullanılarak yumuşatılır. Daha sonra birinci uzaysal türevler ile görüntünün bölgelerini vurgulamak için basit bir 2 boyutlu birinci türev operatörü uygulanır. Kenarlar, gradyen değer görüntüsünde belirli kabartılara sebep olur. Daha sonra algoritma bu kabartıların en tepe noktalarını takip ederek, bu noktalar hariç diğer tüm pikselleri sıfıra ayarlar, böylece çıkışta ince bir çizgi olarak kenar belirlenir.

Compass Kenar Detektörü: Bu operatör giriş görüntüsünden iki çıkış görüntüsü üretir. Birincisi hesaplanan yerel kenar gradyen değerini, ikincisi ise hesaplanan kenar yönelimini göstermektedir. Compass kenar detektörü kullanıldığı zaman, her biri farklı yönelimleri hisseden konvolüsyon maskelerinin bir takımı ile konvolüsyon işlemi yapılır.

Sıfırı Kesme Detektörü: Sıfırı kesme detektörü bir görüntünün Lablasyeni üzerinde Lablasyen değerinin sıfırdan geçtiği yerleri arar. Genellikle görüntüdeki kenarlar sebebiyle oluşan sıfır geçiş noktaları Lablasyenin işaret değiştirdiği yerlerdir.

Çizgi Detektörü: Bir görüntüdeki çizgilerin tespitinde iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlarda ilki çeşitli yönlerde ayarlanmış maskeler ile görüntünün konvolüsyona tabii tutulmasıdır. İkincisi ise Hough transformudur. Bir çizginin matematiksel ifadesini kullanarak bu ifadeyi sağlayan piksellerin sayısına bakarak hangi uzaklıkta ve hangi eğimde bir çizginin olduğu bulmaktır. Bu transform yöntemi ile çizgilerin tespitinin yanında yapısı matematiksel olarak ifade edilebilen daha pek çok şeklin tespiti de mümkündür.

4.2.2. Segmentasyon

Ayıklama anlamı da taşıyan segmentasyon kelimesi, bir resmin içindeki bir bütünü oluşturan parçaların arka plandan veya diğer nesnelerden ayrılması işlemidir. Görüntüde bir nesnenin varlığından söz edebilmek için görüntünün diğer parçalarından ayırt edilebilir bir özelliğinin olması ve bunun nesnenin tümü için

geçerli olması gerekir. En temel farklılık görüntüdeki parlaklıktır. Parlaklıktaki farklılığa dayalı bir segmentasyon işlemi eşikleme operatörü ile gerçekleştirilir. Diğer bir farklılık ise renklerde veya desenlerde olan farklılıklardır. Resimlerde olan farklılıklara göre yapılan segmentasyon işlemi genelde renk uzayları arasında dönüşüm gerektirir.

4.2.3. Histogram ve projeksiyonlar

Histogram, gri tonlanmış bir görüntüde 0 dan 255'e kadar olan tonların görüntüde kaç adet bulunduğunu gösteren bir dağılım grafiğidir. Aynı zamanda resimde bulunan piksel sayısına bölünmesiyle bir ton değerinin ihtimal dağılım fonksiyonunu da temsil eder. Renkli resimlerde ise ya ayrı ayrı renk düzlemlerinde histogramlar alınır veya renk ifade eden ve her üç renk bileşeni kullanılarak hesaplanan bir tek renk ifadesinin histogramı alınır.

Projeksiyonlarda ise belirlenen bir doğrultuda resim taranarak piksel sayıları tespit edilir. Histogramdan farklı olarak genellikle eşiklenmiş veya ikili resimler üzerinde işlem gerçekleştirilir. En sık kullanılan projeksiyonlar yatay ve dikey projeksiyonlardır. Projeksiyonlarda bir vektör olup hangi aralıkta piksel sayımı gerçekleştiriliyorsa o vektörün uzunluğu da toplam tarama alanının bu aralık değerine bölümü ile bulunur. Genelde bir piksel aralığında sayım yapıldığı düşünülürse vektörün uzunluğu, yatay projeksiyonda görüntünün genişliğini ifade eden piksel sayısını, dikey projeksiyonda ise görüntünün yüksekliğini ifade eden piksel sayısını temsil eder.

4.3. Görüntü Tanıma

Görüntü tanıma, bir resim üzerinde pek çok ön işleme ve öznitelik çıkarımı işlemleri ardından elde edilen sonuç vektörleri kullanarak, görüntüde neyin olup olmadığına karar vermektir. Problemin ihtiyacı doğrultusunda özelleştirilerek

kullanılır. Bazı problemlerde belli sayıdaki nesnelerden hangisinin görüntüde olduğu veya olmadığı şeklinde bir tanıma süreci istenirken, bazı problemlerde de ortamda herhangi bir nesnenin olup olmadığı hakkında bilgi üreten bir tanıma sürecine ihtiyaç duyulur. Bunun için yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı yapılarından bu iş için sıkça kullanılanı, ileri beslemeli çok katmanlı perseptron ağlarıdır.

4.4. Matlab

MATLAB Mathworks firması tarafından geliştirilen bir uygulama geliştirme ortamıdır. MATLAB MATrix LABoratory kelimelerinin kısaltmasıdır. MATLAB kod yazılarak programlama yapılabilen uygulama geliştirilebilen bir platformdur (mathworks 2008). MATLAB' ın diğer uygulama geliştirme platformlarına göre olan üstünlüğü zengin matematiksel işlem yeteneğidir. Başka programlama dilleri ile satırlarca kod yazılarak gerçekleştirilen işlemler MATLAB' ın hazır matematiksel algoritmaları ile tek fonksiyon çağırılması ile gerçekleştirilebilir.

MATLAB birçok uygulama alanına göre hazırlanmış fonksiyonlara, algoritmalara ve fonksiyonlara sahiptir. MATLAB ile kod yazılarak işlemler gerçekleştirilebildiği gibi simülasyonlar hazırlanarak birçok uygulama test edilebilmektedir. Ayrıca, simülasyonların sistemlerle gerekli donanım aracılığı ile bağlantısı sağlanarak gerçek zamanlı uygulamalar gerçekleştirilebilir. MATLAB, işlem yapılan değişkenleri matris olarak tutar. Bu matrislerin sahip olduğu değerleri istenilen anda görüntüleyip, dış ortamlara aktarma, dış ortamdan veri alma imkânları sağlar. MATLAB' ın önemli özelliklerinden biri de üstün grafik yeteneğidir. İşlem sonuçları 2 ve 3 boyutlu grafik türleri ile görüntülenebilir (mathworks 2008).

MATLAB ana ekranında bulunan kısımların en önemlisi "Command Window" denilen komut ekranıdır. Bu ekrana tek satırlı fonksiyonlar ve komutlar yazılarak işlemler yapılabilir. Ayrıca döngü ve karar yapıları ile çok sayıda fonksiyon ve komut bir arada kullanılabilir. "Workspace" alanında ise o anda işlem yapılan, yüklenmiş olan tüm değişkenler ve matrisler yer almaktadır. Bunlardan istenilenler "Array Editor" denilen arabirim ile görüntülenir. "Command History" denilen bölüm ise MATLAB' ın son kullanımlarından gerçekleştirilen işlemler ve

komutlar tarihleri ile birlikte tutulmaktadır. MATLAB' ın menüleri kullanılarak dosya, düzenleme, grafik, program işlemleri, pencere ve yardım işlemleri yapılabilir. Ayrıca sol altta yer alan "Start" düğmesine basılarak MATLAB araç kutularına, simülasyon ve görsel ara yüz tasarlama araçlarına erişilebilir. (Demir, 2006)

MATLAB ortamında kod ile uygulama gerçekleştirme m dosyası denilen metin dosyaları yazılarak gerçekleştirilir. Bu uygulamalar ".m File Editor" denilen araç kullanılarak yazılır ve m file editör ile MATLAB' ın standart fonksiyonları ve ilgili gerecin fonksiyonları kullanılarak programlar yazılabilir. Editör, gelişmiş birçok programlama editörü gibi kod düzenleme, derleme, test etme araçlarına sahiptir.

MATLAB görüntü işleme fonksiyonları işlevlerine göre şu şekilde gruplara ayrılabilir;

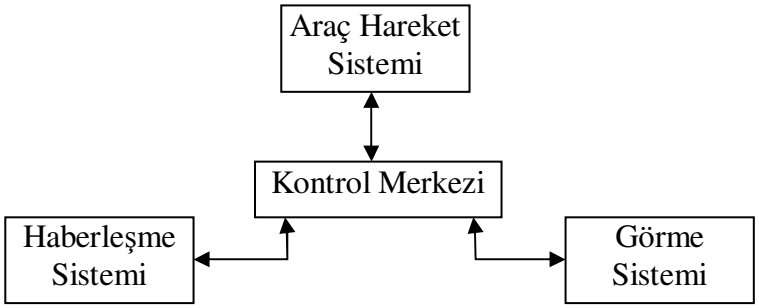
- Görüntü yükleme fonksiyonları: Görüntü dosyalarını MATLAB ortamına aktarmak için kullanılırlar.
- Görüntüleme fonksiyonları: Görüntü matrislerini ekranda resim olarak görüntülemek için kullanılırlar.
- Görüntü yazma fonksiyonları: Görüntü matrisini dosya olarak kaydetmek için kullanılırlar.
- Görüntü dönüşüm fonksiyonları: Görüntü türlerini birbirine dönüştürmek için kullanılırlar.
- Uzamsal dönüşüm fonksiyonları: Görüntü üzerine uzamsal işlemler yapmak için kullanılırlar.
- Görüntü analizi ve istatistik fonksiyonları: Görüntü analizi gerçekleştiren ve istatistik değerler çıkaran fonksiyonlardır.
- Görüntü aritmetiği fonksiyonları: Görüntüler için aritmetiksel işlemler yapılmasını sağlarlar.
- Görüntü düzenleme ve iyileştirme fonksiyonları: Görüntüleri iyileştirmek için kullanılırlar.
- Doğrusal filtreleme ve dönüşüm fonksiyonları: Doğrusal filtre oluşturma ve uygulamak için kullanılırlar.
- Biçimsel işlem fonksiyonları: Görüntü türüne göre biçimsel işlemler yapmak için kullanılırlar.

- Alan tabanlı, komşuluk ve blok işlem fonksiyonları: Görüntünün bir bölümü için işlem yapılmasını sağlayan fonksiyonlardır.
- Renk haritası fonksiyonları: Renk haritaları ile ilgili işlemleri gerçekleştiren fonksiyonlardır (Demir 2006) (Mathworks 2008).

5. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT PLATFORMU

Bu bölümde, tasarlanan görme tabanlı mobil robot platformu; mekanik yapı, donanım ve yazılım olmak üzere üç ayrı bölümde ele alınacaktır.

Görme tabanlı mobil robot, düzgün yüzeylerde kablosuz olarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Robotun mekaniğinin basit, kontrolünün kolay olmasına, gözlem, keşif gibi uygulamalarda kullanılabilecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan mobil robot sisteminin genel blok diyagramı Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1 Tasarlanan mobil robot sisteminin genel blok diyagramı

Şekil 5.1' de verildiği gibi tasarlanan mobil robot sistemi temelde dört ana bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümler; araç hareket sistemi, haberleşme sistemi, görme sistemi ve kontrol merkezidir. Robotun araç hareket sistemi, hareketin öndeki iki tekerlekten sağlandığı ve onların yönlendirmesiyle rahatça hareket edebilen arka tekerlekten oluşmuş, üç tekerlekli bir robot araç mekanizmasıdır. Görme sistemi; alıcı ve vericisi olan kablosuz bir kameradan yakalanan görüntülerin bilgisayarda görüntü işleme teknikleri kullanılarak işletilmesi esasına dayanmaktadır. Haberleşme sistemi ise bluetooth modeminin ve ilgili algoritmanın kullanılmasıyla güvenli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Mobil robotun tüm aktivitelerini ise kontrol merkezi olarak adlandırdığımız taşınabilir bir PC kontrol etmektedir.

Robot üzerinde, bir adet mikrodenetleyici ünitesi (PIC16F877) bulunmaktadır. Bu ünite özellikle araç hareket mekanizmasının kontrolünde devreye girmektedir. Ayrıca, mikrodenetleyici ünitesinin bluetooth modülüyle bağlantısı

olup, haberleşmeyi de kontrol etmektedir. Bunlara ek olarak mikrodenetleyicinin kontrol ettiği iki adet redüktörlü ve enkoderli DC motor, bu motorları sürebilmek için H köprü devresi ile iki adet 16X2 LCD de yine mobil robotun tasarımında kullanılan önemli donanımlardır.

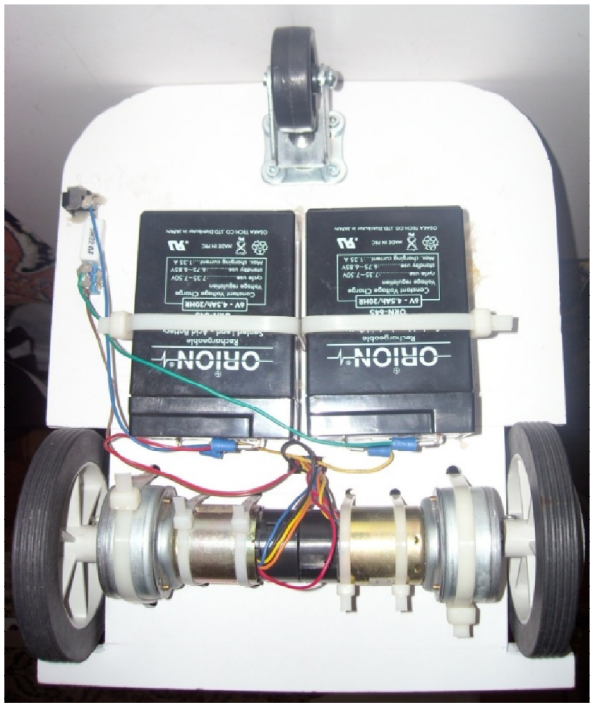
Mobil robotun mekanik yapısı, elektronik donanımları ve yazılımları aşağıdaki alt bölümlerde daha detaylı anlatılmıştır.

5.1. Mobil Robotun Mekanik Yapısı

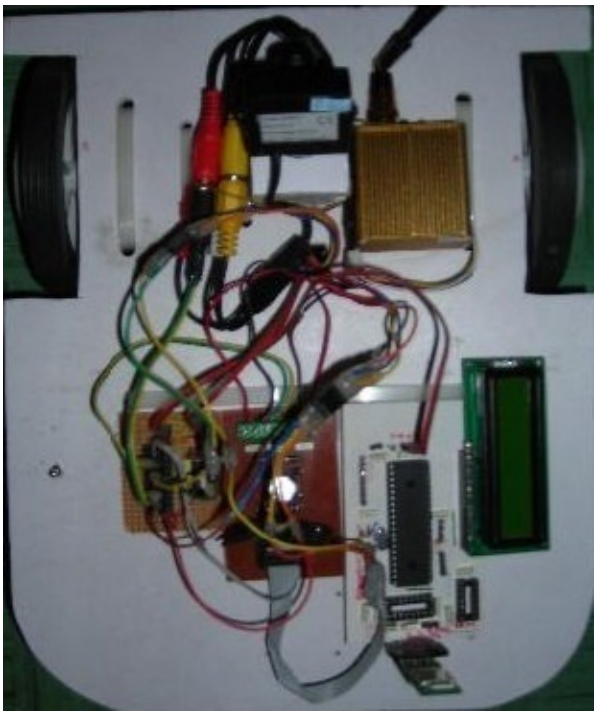
Mobil robotun mekanik yapısı; hareketin öndeki iki tekerlekten sağlandığı ve onların yönlendirmesiyle rahatça hareket edebilen bir arka tekerlekten oluşan, üç tekerlekli bir araçtır. Tasarımın bu şekilde seçilmesi robotun hareket yeteneğinin daha kolaylaşmasına sebep olmuş (yani ilk kalkış hareketinde motorlara aşırı yüklenilmemesi ve istenilen yöne daha hassas gidebilmesi) ve böylelikle de daha sade bir denetleyici tasarımı ortaya çıkmıştır. Robot tasarımının sade (arıza durumunda sorunun çabuk bulunup giderilmesi için) ve işlevsel olmasına dikkat edilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak robotun imalatı için seçilen malzemenin de bu koşulları sağlayabilecek nitelikte olmasına özen gösterilmiştir. Şasenin imalatında kullanılan malzeme Foreks olarak adlandırılan sıkıştırılmış köpükten imal edilmiş kolay şekil verilebilen, hafif ve sağlam bir malzemedir. Motorlar ve bataryalar şasenin alt kısmına yerleştirilmiştir. Böylece yer tasarrufu sağlanarak ikinci bir şase katının oluşması önlenmiştir. Motorların arızalanması ihtimali düşünülerek, motorların kolay değiştirilebilmeleri açısından bunları kelepçelerle tutturma yoluna gidilmiştir. Motorların miline takılan tekerlekler için 10 cm çaplı küçük boy plastik bisiklet tekerleri kullanılmıştır. Bu tekerleklerin tercih nedeni hem sağlam olmaları hem de zeminde kaymamalarından ileri gelmektedir.

Ayrıca tasarlanan robotun araç mekanizması üzerinde elektronik kartları, kablosuz kamerayı, motorları ve bataryaları taşıyacak şekilde dengeli ve sağlam dizayn edilmiştir. Robotun, alttan görünüşü Şekil 5.2' de, üsten görünüşü Şekil 5.3' te ve yandan görünüşü Şekil 5.4' de gösterilmektedir. Şekil 5.2' de göründüğü gibi

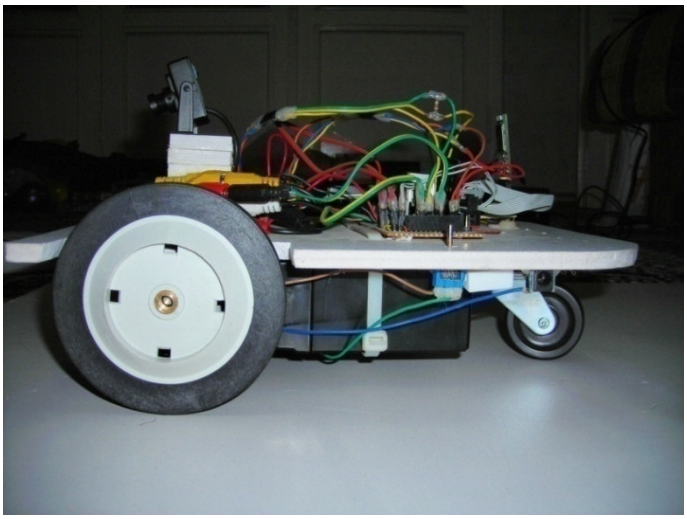
robotun alt kısmına iki adet ORİON marka 6V - 4,5Ah/20HR batarya ve iki adet birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiş DC motor monte edilmiştir.



Şekil 5.2 Robotun alttan görünüşü



Şekil 5.3 Robotun üstten görünüşü



Şekil 5.4 Robotun yandan görünüşü

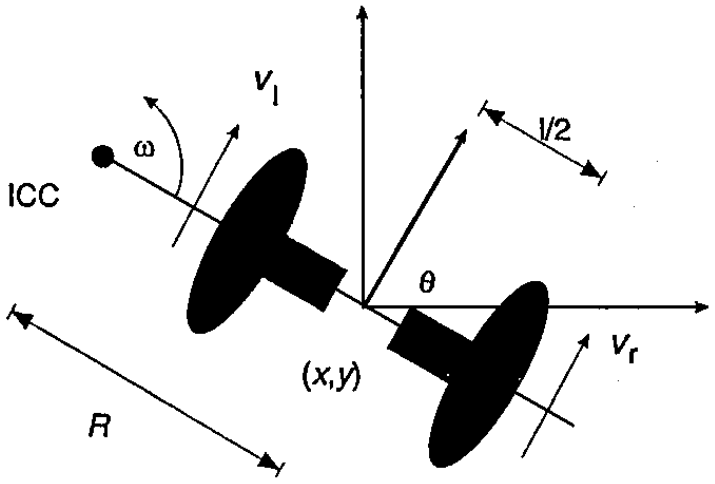
Redüktörlü ve enkoderli iki adet DC motor, robota hareket yeteneğini kazandıran ön tekerleklere bağlanmıştır. Arka tekerleğin rahatça hareket edebilmesi için sarhoş teker kullanılmıştır. Robotun, istenen yöne dönmesi, bir motorun pozitif yönde, diğer motorun negatif yönde farklı hızlarla dönmesiyle ya da tam tersi yöntemle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca taşıyıcı kısmın üzerine sabit bir kablosuz kamera yerleştirilmiştir.

5.1.1. Diferansiyel Sürüş

Diferansiyel Sürüş Sistemi; kullanılan her hareket organına bir motor yerleştirmek suretiyle navigasyon esnasında motorlar arasında hız farkı oluşturarak hareketin yönünü belirleme esasıdır. Bu projede üç tekerlekli bir sistem kullanılmıştır. Öndeki iki tekerleğe diferansiyel sürüş sistemi uygulanmıştır. Sistemi dengede tutabilmek ve yönlendirmeyi rahatça yapabilmek için bir adet sarhoş teker robotun arka kısmına yerleştirilmiştir. Robotun diferansiyel sürüş sistemi, yakaladığı görüntünün içerisinde algılanması gereken nesnenin koordinatları ile görüntü merkezi koordinatlarının kıyaslanmasıyla gerçekleşmektedir. Yani, robot kendini cismin orta noktada olmasına göre merkezlemektedir. Robotun, sağa dönmesi için sağ teker, sola göre daha hızlı döndürülürken; robotun sola dönmesi için ise sol teker,

sağ tekere göre daha hızlı döndürülmüştür. Aynı şekilde robotun düz gitmesi için ise sağ teker ile sol teker arasında hız farkı sıfırlanmıştır. Eğer, robot algılayacağı cisme belli bir miktar yakınlaşmış ise; bu diferansiyel sürüş işlemlerini robot geriye hareket yapacak şekilde gerçekleştirir. Bu yönlendirme işlemi için, PIC mikrodenetleyicisinde PWM tekniği kullanılmıştır.

Diferansiyel sürüş, yerle teması olan mobil robotlar için en basit sürüş mekanizması olabilme özelliğine sahip olup bu küçük, düşük maliyetli, ticari amaçlara dayalı kapalı mekân robotlarında sıkça kullanılır. Diferansiyel sürüşlü bir robot, ortak bir eksen üzerinde monte edilmiş ayrık iki eş motor tarafından kontrol edilir. Diferansiyel sürüşlü robot kontrolü Şekil 5.5' te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Diferansiyel sürüşlü robot kontrolü

v_r sağ tekere ait lineer hız ve v_l sol tekere ait lineer hız, l tekerlek merkezlerinden geçen eksenin uzunluğu ve R teker ekseninin orta noktasının ICC' ye (instantaneous center of curvature) olan uzaklığı, ω açısal hız olmak üzere diferansiyel sürüşlü robot kontrolü için denklemler 5.1a, 5.1b, 5.1c ve 5.1d' deki gibi verilebilir. Denklemlerden görüldüğü gibi zamanın her anında v_l ve v_r ile ω orantılıdır.

$$\omega\left(R+\frac{l}{2}\right)=v_r \tag{5.1a}$$

$$\omega\left(R-\frac{l}{2}\right)=v_l \tag{5.1b}$$

$$R=\frac{1(v_1+v_r)}{2(v_r-v_1)} \tag{5.1c}$$

$$\omega=\frac{V_r-V_1}{l} \tag{5.1d}$$

ICC yani bükülmenin anlık merkezi ise(eğer diferansiyel sürüş kullanan mobil robotun herhangi bir t anındaki pozisyonu (x,y,θ) ve $t \rightarrow t+\delta t$ süresi boyunca sağ ve sol tekerlerin lineer hızları v_r ve v_l ise) Denklem 5.2' deki gibi verilebilir.

$$ICC=[x-Rsin(\theta), y+Rcos(\theta)] \tag{5.2}$$

$t+\delta t$ anında robotun konumu Denklem 5.3' te verilmiştir.

$$\begin{bmatrix}x'\\y'\\\theta'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos(\omega\delta t) & -sin(\omega\delta t) & 0\\ \sin(\omega\delta t) & \cos(\omega\delta t) & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x-ICC_x\\y-ICC_y\\\theta\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}ICC_x\\ICC_y\\\omega\delta t\end{bmatrix} \tag{5.3}$$

Genel olarak belli bir θ(t) yönünde V(t) hızıyla hareket edebilen diferansiyel sürüşlü robotlar için düz kinematik denklemleri Denklem (5.4)' deki gibidir;

$$x(t)=\frac{1}{2}\int_0^t[v_r(t)+v_l(t)]\cos[\theta(t)]dt$$

$$y(t)=\tfrac{1}{2}\textstyle\int_0^t[v_r(t)+v_l(t)]\sin[\theta(t)]dt \tag{5.4}$$

$$\theta(t)=\frac{1}{l}\int_0^t[v_r(t)-v_l(t)]\,dt$$

Diferansiyel sürüşlü robotlar için ters kinematik denklemi; $v_l=v_r=v$ olarak alınırsa, robotun konum ifadesi Denklem (5.5)' teki gibi sadeleştirilebilir ve bu durumda robot ileri doğru düz bir şekilde hareket eder.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + v\cos(\theta)\delta t) \\ y + v\sin(\theta)\delta t) \\ \theta \end{bmatrix} \tag{5.5}$$

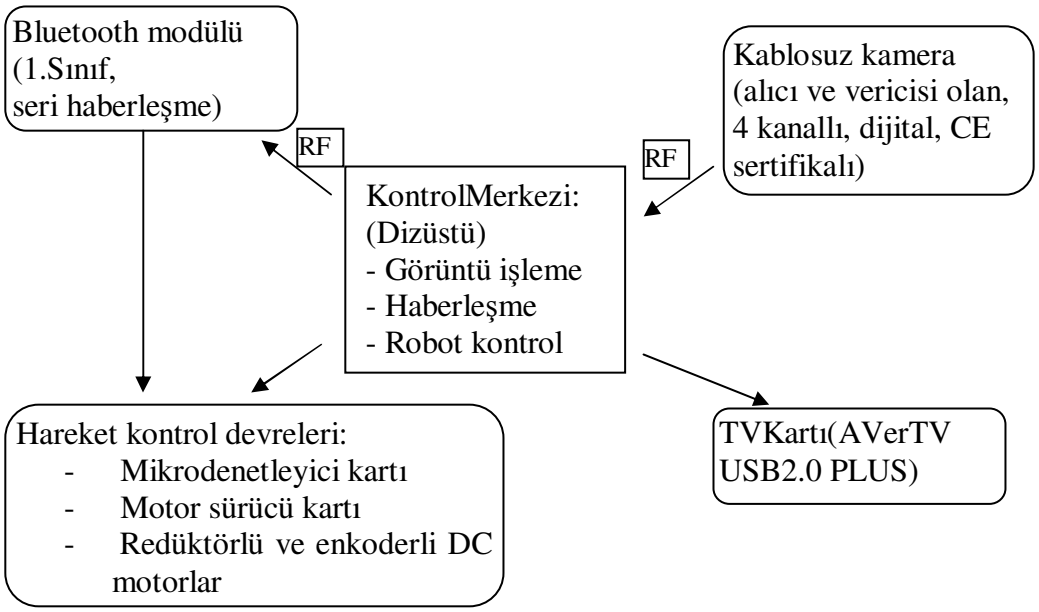
Benzer şekilde, $-v_l = v_r = v$ olarak alınırsa ifade Denklem 5.6' taki hale gelir.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta + 2v\frac{\delta t}{l} \end{bmatrix} \tag{5.6}$$

Robotlar diferansiyel sürüş ile eşzamanlı sürüş teknolojisini beraber kullanmazlar. Bunun için sistemde dönüş ekseni sabitlenmiş bir ya da birden fazla yönlendirme tekerleği kullanılır.

5.2. Robot Donanımı

Tasarlanan mobil robotun donanımları şunlardır; kontrol merkezi faaliyetlerinin yürütüldüğü bir dizüstü, alıcısı ve vericisi olan kablosuz kamera, Bluetooth modülü, araç hareketini kontrol eden mikrodenetleyici, araç hareketini sağlayan redüktörlü ve enkoderli iki adet DC motor, bu DC motorların sürücüleri ve bir likit kristal göstergedir. Bu donanımlar ve donanımların birbiriyle haberleşmeleri, Şekil 5.6' daki şematik çizimde bloklar halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Tasarlanan mobil robotun donanımları ve haberleşmesi

Şekil 5.6' da gösterildiği gibi, tasarlanan mobil robotun içerdiği donanım; kontrol merkezi, kablosuz kamera, Bluetooth modülü ve hareket kontrol devresi olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Bu donanımda yer alan kontrol merkezi dışındaki ünitelerin tamamı robot üzerine yerleştirilmiştir. Bina içinde 65 metre mesafeye kadar robot, kontrol merkezi ile haberleşmeyi sağlayabildiği için robotun üzerine fazladan yük binmesi (yani kontrol ünitesi ve ek donanımlar) engellenmiştir. Bu da motorların aşırı yüklenmesini önleyip, enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca bu durum kablo maliyetini önlemektedir. Robot araç sistemi, platform üniteleri ve kullanılan donanımlar aşağıdaki alt bölümlerde kısaca tanıtılmıştır.

5.2.1. Robotun kontrol merkezi

Kontrol merkezi olarak genel amaçlı taşınabilir bir bilgisayar (Fujitsu Siemens marka bir PC) seçilmiştir. Bu bilgisayarda 1.86 Intel Centrino işlemci, 512 MB RAM, 15.4 inç LCD ekran, fax modem ve DVD+RW bulunmaktadır. Intel Centrino işlemcinin, TV kartın, Bluetooth USB Adaptöre sahip olan taşınabilir bir PC kontrol merkezi görevini yerine getirmektedir. Robot hareket kontrolü, görüntü

işleme, haberleşme bu bilgisayar tarafından başarılmaktadır. Bu kontrol merkezi aşağıdaki görevleri başarıyla yerine getirmektedir:

- Mobil robot ile kontrol merkezi arasındaki tüm haberleşmeyi yönetmek
- Görüntü verisini elde etmek yani kablosuz kameradan görüntü yakalamak.
- MATLAB' da görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntü verilerini işlemek.
- Görüntü işleme sonucu elde edilen verilerden bilgiler çıkartarak, robotun hareketini sağlamak.

5.2.2. Kamera

Şekil 5.7' de gösterildiği gibi alıcısı ve vericisi olan 4 kanallı, dijital kablosuz kamera kullanılmıştır. Mobil araç üzerine kamera ve vericisi yerleştirilmiştir. Kablosuz kameranın alıcısı ise kontrol merkezine bağlanmıştır. Kamera, CMOS tipi sensöre sahiptirler. Besleme gerimi 12 V ve çıkışı 1 V' dur.

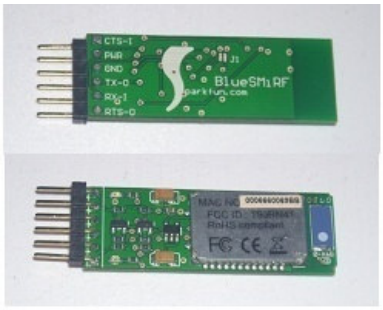


Şekil 5.7 Alıcıya ve vericiye sahip kablosuz kamera

Bu kamera 2.4 GHz frekansında çalışmakta ve bina içinde 65 metreye kadar görüntü alış-verişi sağlayabilmektedir.

5.2.3. Bluetooth modemi

BlueSMIRF isimli modem seri olarak (RX/TX) çalışır. 9600bps' dan 115600bps' a kadar iletişim hızı vardır. 3.3 V' dan 6V' a kadar çalışma gerilimine sahiptir. Açık alanda 106 m mesafeye kadar çalışabilmektedir. Çalışma frekansı 2.4~2.524 GHz' dir. Bluetooth modeminin ön ve arka yüzlerinden çekilmiş fotoğrafları Şekil 5.8' de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Bluetooth modeminin arkadan ve önden görünümü

Bilgisayarın kendinde Bluetooth olmadığı için projede hariçten Bluetooth dongle kullanılmıştır. Bu Bluetooth dongle 1. Sınıf Toshiba Billiontondır. Maksimum 65 metreye kadar haberleşebilmektedir.

5.2.4. Mikrodenetleyici ana kartı

MicroChip firmasının üretmiş olduğu PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin tüm donanım özelliklerinin kullanılabileceği bir ana kart tasarlanmıştır. Bu mikrodenetleyici ana kartı, tasarlanan robotun mekanik sisteminin yönetilmesinde ve kontrolünde rahatlıkla kullanılabileceği gibi, PIC16F877 mikro denetleyicisinin kullanılacağı tüm uygulamalar için de ideal bir tasarımdır. Bu mikrodenetleyici kartı

ile 16F877'nin 4 dijital I/0, 1 harici kesme (interrupt), 8 analog giriş, 2 PWM çıkış, 3 zamanlayıcı/sayıcı ve I2C, SPI, USART haberleşme portları aynı anda kullanılabilmektedir. 20 MHz bir kristalin yer aldığı bu kart üzerine, yukarıdaki bahsedilen portlara ilave olarak 4 bit veri yollu ve 3 bit kontrol uçları ile HD44780A00 çipsetli bir likit kristal gösterge bağlanabilmektedir.

Bu mikrodenetleyici ana kartı üzerinde Bluetooth modeminin takılabileceği 6 uçlu bir soket de bulunmaktadır. Haberleşmenin kablolu yapılması ihtimali düşünülerek USART (RS232) portu için bir arabirim entegresi yeri de hazır bulunmaktadır.

5.2.5. Motor sürücü kartı

Motor sürücü tasarımında, gerekli olan DC motorların özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Tasarlanan robotun hareketini sağlayan motorlar JAPAN SERVO firmasının üretmiş olduğu redüktörlü ve enkoderli DC motorlardır. Bu motorlar, 12 V çalışma gerilimine, 1.5 W güce ve 92.6 devir/dakika hıza, DME34BE50G-108 numaraya sahiptirler. Devir sensörlerden gelen sinyaller mikrodenetleyici kartına gönderilmekte ve PIC içerisindeki programa göre DC motor sürücü kartı kontrol edilmektedir.

5.3. Tasarlanan Robotun Yazılımları

Tasarlanan robotun yazılım altyapısında 2 temel öğe vardır. Bunlardan ilki; robot hareketlerinin sağlandığı mikrodenetleyicilerde yürütülen yazılımlardır. İkincisi, kontrol merkezi olarak adlandırdığımız tüm görüntü tabanlı robot faaliyetlerini yerine getiren, robot hareketlerini koordine eden, iletişimi sağlayan ve MATLAB programlama dilinde yazılan kontrol merkezi ana yazılımıdır.

5.3.1. Mikrodenetleyici yazılımı

Mikrodenetleyici ile mobil robotumuzda bulunan iki adet redüktörlü DC motorun PWM kontrol algoritmasıyla kontrolü gerçekleştirilmektedir ve kontrol merkezi ile haberleşme işlevleri yürütülmektedir. Sistemin tümünde ekonomik olması ve kolay programlanabilmesi açısından MicroChip firması tarafından üretilen mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyicinin programlanması PICC derleyicisi kullanılarak yapılmıştır.

Mikrodenetleyici için yazılım programı:

a) Kontrol merkezi ile RS232 portu üzerinden 115200 Baud hızında ve 8 bit data, parity (eşlik) biti yok, 1 stop biti biçimindeki veri formatı ile haberleşme,
b) Motorun sağ-sol ve ileri-geri dönme hareketlerini gerçekleştiren PWM kontrol algoritması ile ilgili,

fonksiyonları yürütmektedir.

5.3.2. Matlab yazılımı

Projenin ana yazılım kısmı, MATLAB ortamında kod ile uygulama gerçekleştirme (yani, m dosyası denilen metin dosyaları oluşturarak) kullanılarak yapılmıştır. Bu programı oluşturan öğeler şöyledir:

a) Görüntü yakalama fonksiyonları
b) Görüntü işleme fonksiyonları
c) Haberleşme fonksiyonları

6. TASARLANAN GÖRME TABANLI MOBİL ROBOT' UN FARKLI RENKLERDE NESNELERİ TAKİBİ

6.1. Genel Bilgiler

Bir nesnenin takip edilebilmesi için öncelikle o nesnenin arka plandaki diğer nesnelerden ayırt edilmesi gereklidir. Bu yüzden öncelikle belirli bir nesnenin içinde bulunduğu ortamdan bir görüntünün yakalanması ile algoritma başlatılmış olunur. Kullanılan kamera ve ışık özelliklerine göre görüntü üzerinde iyileştirmeler yapılır. Daha sonra nesnenin farklılığını ortaya çıkarabilecek bir dönüşüm operatörü kullanılır. Nesnenin farklılığını ortaya çıkarabilecek iki tane önemli özellik vardır. Bunlardan biricisi nesnenin rengidir. Nesnenin ayırt edici en önemli niteliğinin, o nesnenin rengi olduğu düşünülürse, görüntünün farklı bir renk uzayında incelenmesi daha iyi sonuç verir. Bunun dışında ikinci bir yol ise, nesnenin şeklidir. Örneğin, nesnenin yuvarlak ya da dikdörtgen olduğu matematiksel işlemlerle ayrıştırılabilir. Ayrıca, bu iki yolun (yani hem renk hem de şekil kriterinin) aynı algoritmada kullanılmasıyla da cismin diğer cisimlere göre arka plandan ayrışması mümkündür. Bu yüzden yöntem-1 başlığı altındaki uygulamada renge göre ayırt etme, yöntem-2 başlığı altındaki uygulamada ise hem renk hem de şekle göre ayırt etme kullanılmıştır.

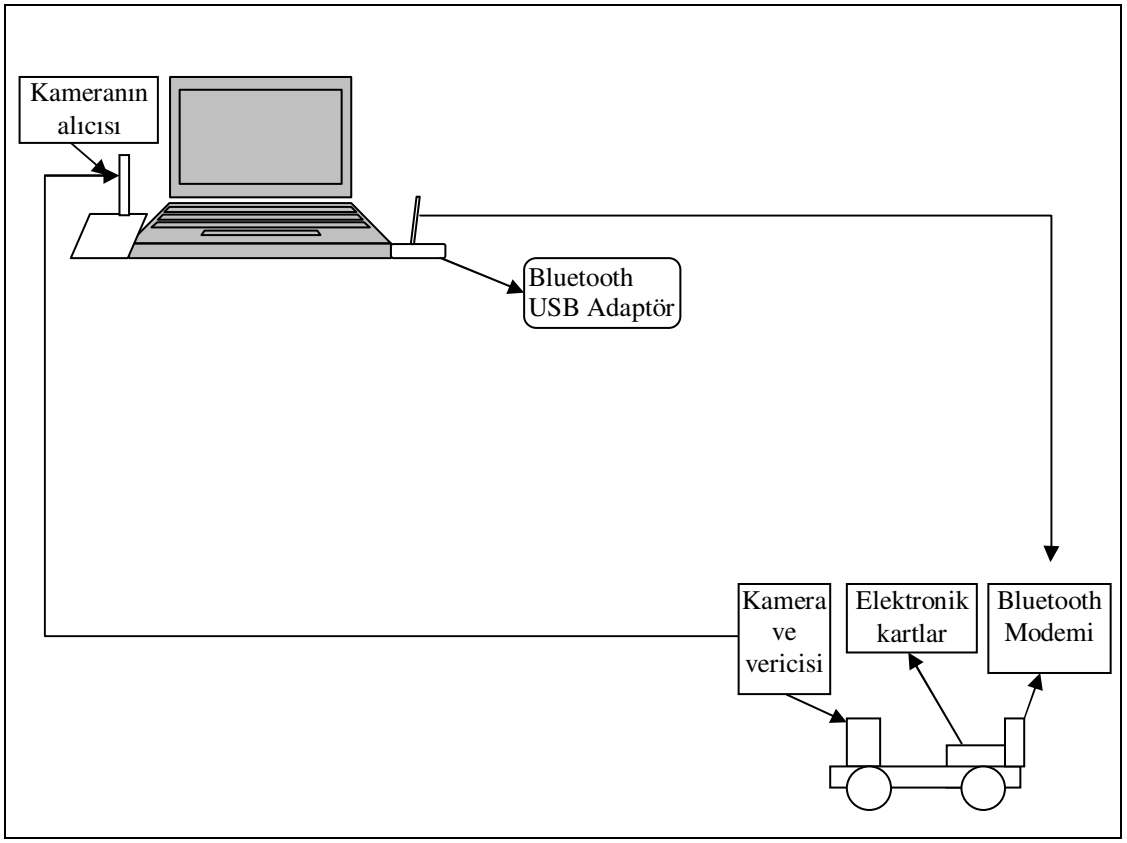
RGB renk uzayında olan görüntülerin renk tabanlı ayıklanmasında genellikle L.a.b. ve r.g.b. gibi renk uzayları kullanılmaktadır. Renk ayıklanması yapıldıktan sonra boyanabilirlik (chromaticity) yöntemi kullanılarak (yani istenen ana rengin piksel değerlerinin, üç ana rengin piksel değerlerinin toplamına bölünmesi) renk tespitinde daha başarılı sonuçların elde edilmesi sağlanabilir. Örneğin, kırmızı rengi bulmak için kırmızı piksel değerleri, kırmızı, yeşil ve mavi piksel değerlerinin toplamına bölünerek elde edilir. İstenen rengin piksellerinin bulunmasıyla algılanan nesnenin görüntü üzerindeki yeri tespit edilmeye çalışılır. Nesnenin görüntü üzerindeki yerinin tam tespiti ise, istenen renk piksellerinin ağırlık merkezinin bulunmasıyla sağlanır.

İkinci yöntem ise cismin arka plandan ayrıştırılması için nesnenin ayırt edici bir diğer özelliğinin kullanıldığı (yani, nesnenin şekli ile birlikte renginin kullanıldığı) yöntemdir. Bu yöntemde de, birinci yöntemde olduğu gibi, ilk önce renk tabanlı ayıklama yapılır. Renk ayıklaması yapıldıktan sonra nesneyle ilgili pikselleri belirten alanın, istenen şekle sahip olup olmadığına ve kapladığı bu alanın belli piksel değerinden büyük olup olmadığına bakılır. Bu kriterlere göre, cismin istenilen şekilde ve renkte olup olmadığı sonucuna varılır.

6.2. Uygulama

Bu tez çalışmasında uygulama olarak görme tabanlı bir mobil robotun, sadece bir kamera kullanarak, siyah zeminde bulunan farklı renklerde nesneleri takibi gerçekleştirilmiştir. Bina içi düz zeminlerde hareket edebilen görme tabanlı mobil robot, navigasyon çeşitlerinden nesne tabanlı bina içi navigasyona temel teşkil edecek şekilde (yani, bu uygulamadaki yöntemler kullanılarak daha fazla nesnenin kontrol merkezi tarafından algılanması sağlanarak mobil robotun o nesnelere göre hareket etmesinin sağlanması) tasarlanmıştır. Tez çalışmasında, yuvarlak cisimlerin düz zeminde daha kolay hareket edebilme özelliğinden dolayı nesne olarak top seçilmiş ve kontrol merkezinin topu algılamasıyla görme tabanlı mobil robotun bu topu takibi sağlanmıştır. Ayrıca mobil robot; gözlem ve güvenlik alanlarındaki faaliyetlerde de kullanılabilecek özelliklere sahiptir.

Bu görme tabanlı mobil robotun, görüntü işleme veya robotik görme teknikleri kullanılarak otonom bir şekilde hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Yani kamera dışında herhangi bir algılayıcı kullanılmadan, geliştirilen algoritmalar sayesinde bu işlem gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın sembolik gösterimi, Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1 Uygulamanın sembolik gösterimi

6.2.1. Yöntem-1

Birinci yöntem, cismin arka plandan ayrıştırılması için nesnenin ayırt edici en önemli özelliğinin yani nesnenin renginin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak nesnenin zemin üzerinde nerede olduğu tespit edilmiş ve algılanan nesnenin konumunun resmin tam ortasında kalmasını sağlayacak şekilde robotun hareket etmesi sağlanmıştır. Tez çalışmasında, yuvarlak cisimlerin düz zeminde daha kolay hareket edebilme özelliğinden dolayı nesne olarak top seçilmiştir.

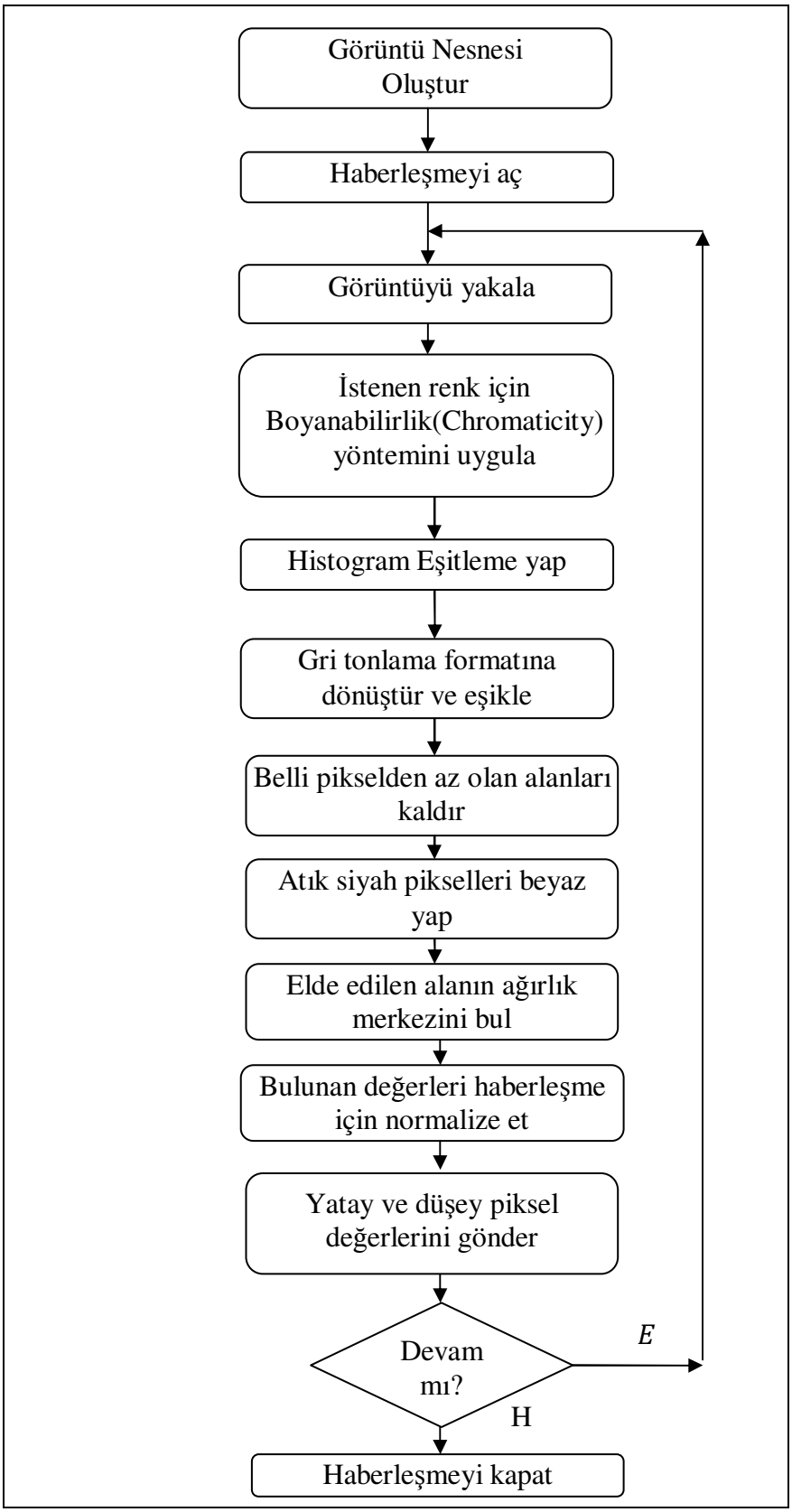
Bu yöntemde ilk olarak, MATLAB' ın görüntü yakalama araç çubuğu kullanılmak suretiyle kameradan renkli görüntünün yakalanması için görüntü yakalama nesnesi oluşturulur. Bunun için gerekli ayarlamalar yapılır. Daha sonra Bluetooth haberleşmesi için seri portun haberleşmeye açılması sağlanır. Yakalanan görüntünün çözünürlüğü, istenen piksel değerlerinin ağırlık merkezinin

bulunmasında kullanabilmek için ya da istenen piksel değerlerinin yatayda ve düşeyde pik yaptığı noktaları bulmak için belirlenir. Bu belirlemeden sonra, robotun otonom çalışabilmesi için program akışı sürekli tekrar eden bir döngüye sokulur. Bu döngüde ilk olarak görüntünün yakalanması sağlanır daha sonra renk tabanlı ayıklanmanın gerçekleşmesi için r.g.b. renk uzayı kullanılır. İstenen renge göre algoritmaya boyanabilirlik (chromaticity) yöntemi uygulanarak ilgili renk pikselleri bulunur. Histogram eşitleme tekniği ile de bu piksel değerleri arasındaki farkın azaltılması sağlanarak görüntü üzerinde iyileştirme yapılır. Daha sonra eşikleme işlemi yaparak binary formatta (yani siyah-beyaz olarak) bir görüntü elde edilir. Beyaz olan yerler, algılanması istenen cismin alanını ifade eder. Bunun dışında bazı beyazlıklar da (hatalar da) algılanabilir. Bu hataları azaltmak için belli piksellerden az olan beyazlıkları yok edilip, içlerinin siyah dolmasını sağlanır ve aynı şekilde nesnenin içindeki atıkların da (siyahlık) beyaz olması sağlanır.

Nesnenin görüntü üzerindeki yerinin tespiti, elde edilen binary formattaki görüntünün ağırlık merkezinin bulunmasıyla sağlanır. Bu ağırlık merkezinin yataydaki ve düşeydeki değerleri, görüntünün merkeze göre kaç piksel sağda ya da kaç piksel solda olduğunun bulunmasında kullanılır. Daha sonra bulunan bu değerler de haberleşme için normalize edilir.

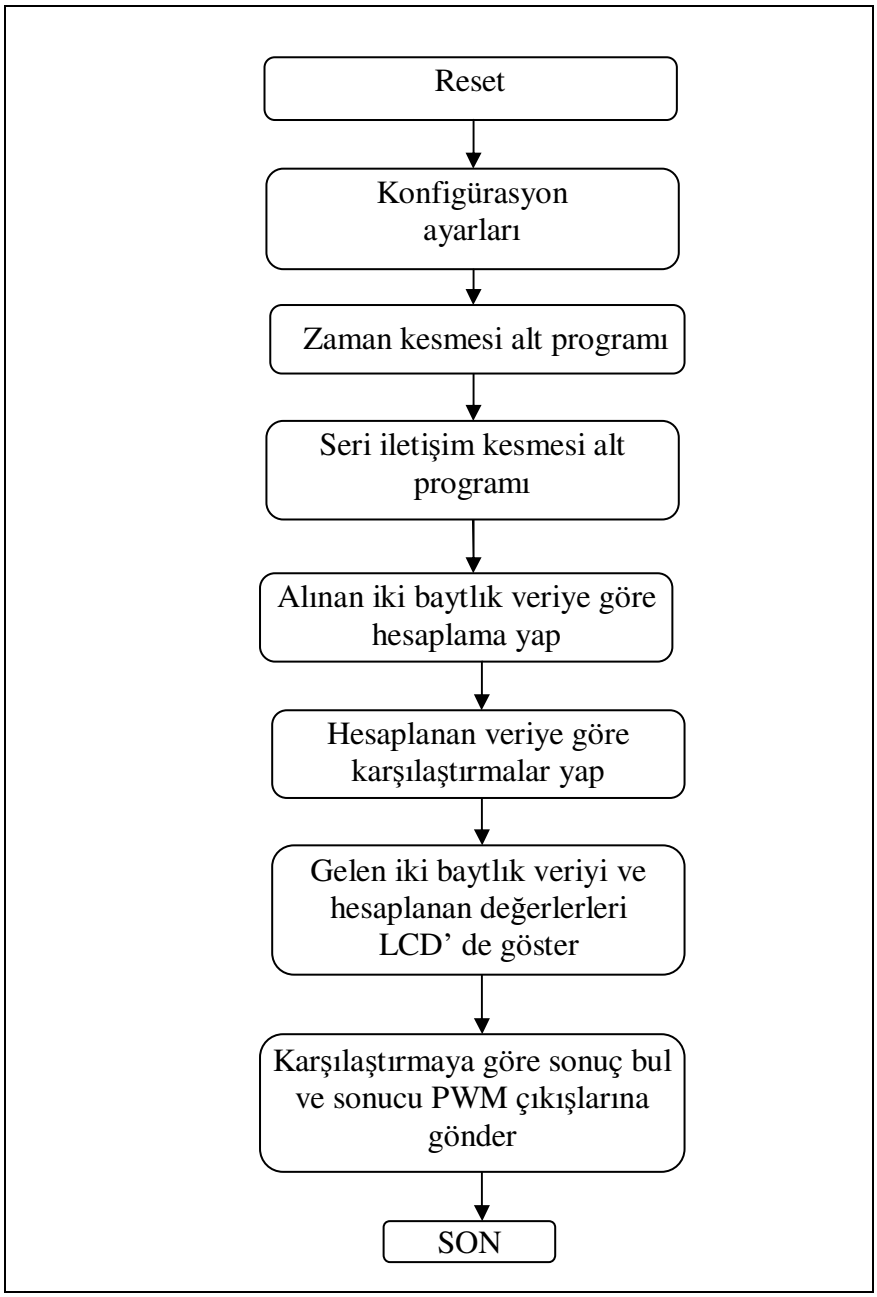
Haberleşme için normalize edilen bu değerler Bluetooh vasıtasıyla PIC' e gönderilir. PIC tarafından nesnenin görüntüdeki konumunu veren bu değerler algılanır ve algılanan bu değerler, nesnenin konumunun resmin tam ortasında kalması için bir kontrol algoritmasında kullanılır. Bu kontrol algoritmasında üretilen sonuçlar ise PIC' in PWM çıkışlarına gönderilir. PWM çıkışlarına gelen bu sinyallerin motor sürücü kartında kullanılmasıyla motorların hareket etmesi ve böylece de robotun hareketi sağlanmış olunur.

Bu uygulamanın MATLAB akış diyagramı, Şekil 6.2' de verilmiştir.



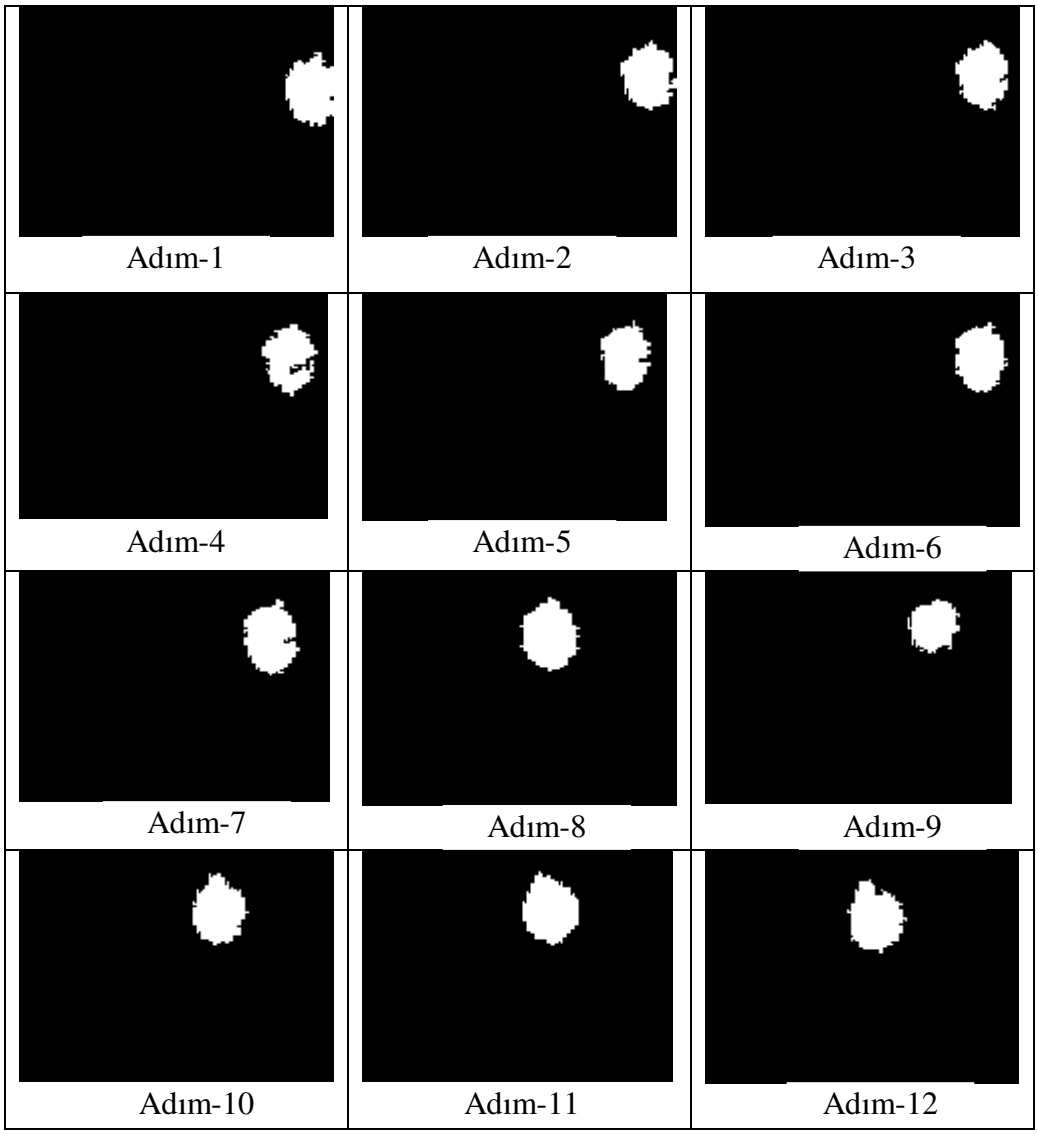
Şekil 6.2 Uygulamanın MATLAB akış diyagramı

Bu uygulamanın mikrodenetleyici programı temelde iki kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar; ana program ve alt programlardır. Ana programda; port ve arabirim konfigürasyonları, motor kontrol algoritması, LCD' ye yazdırma kısmı bulunmaktadır. Alt programlar ise seri haberleşme kesme alt programı ve seri iletişimin sağlıklı yapılabilmesi için belli sürede baytların alındığını kontrol eden zaman kesme alt programıdır. Bu uygulamanın mikrodenetleyici akış diyagramı, Şekil 6.3' te verilmiştir.



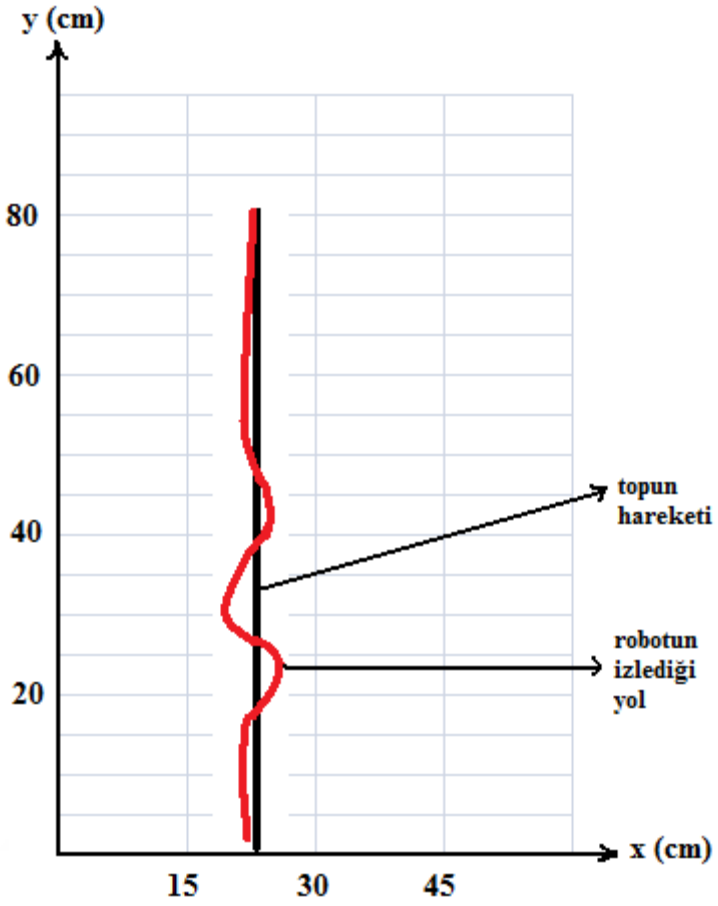
Şekil 6.3 Uygulamanın mikrodenetleyici akış diyagramı

Herhangi bir anda yöntem-1 sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 6.4' te verilmiştir. Şekil 6.4' te görüldüğü gibi topun yeri 96-106 ms' lik bir zaman aralığında tespit edilmiştir. Görüntü işleme algoritmasının mavi ve kırmızı için % 100 başarılı olduğu, yeşil için ise % 60' lık bir başarı sağladığı yapılan deneysel sonuçlarda gösterilmiştir. Bu algoritma sayesinde topun yeri tespit edilmiş ve topun konum bilgisi mikrodenetleyiciye gönderilmiştir. Mikrodenetleyici ise topu görüntünün merkezinde tutup, takip etmek için robotu hareket ettirmiştir. Topun takibinde görme tabanlı mobil robotun vereceği tepkilerin önemli olması sebebiyle Yöntem-1 daha idealdir.



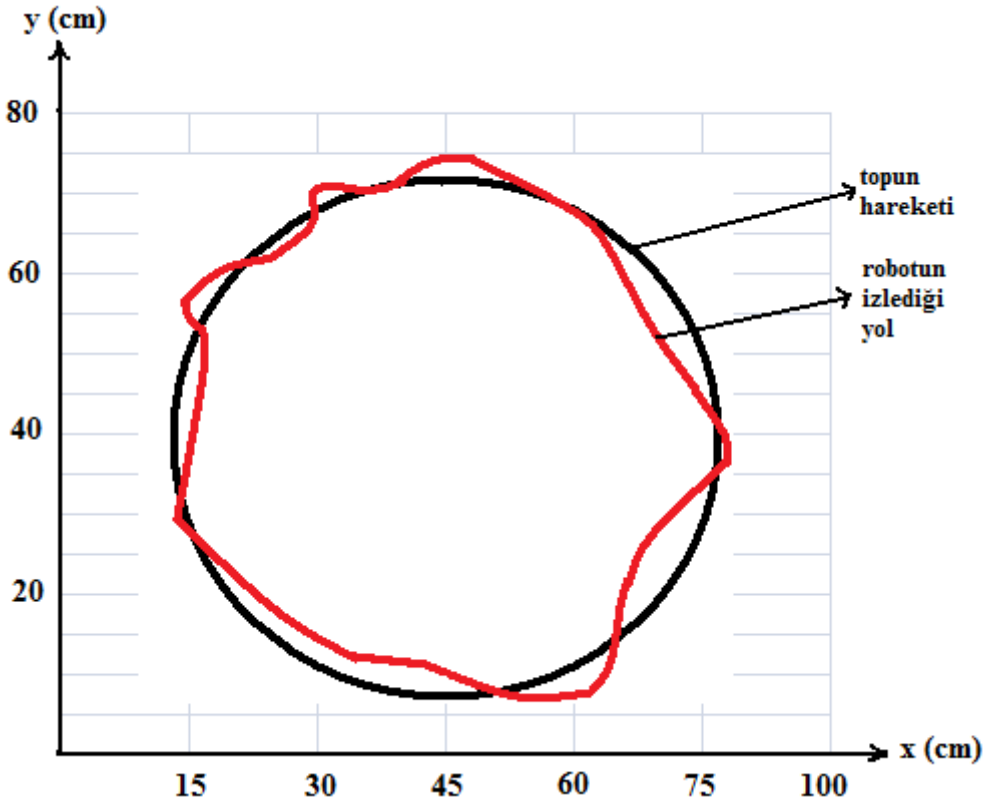
Şekil 6.4 Yöntem-1' in sonuçları

Ayrıca Yöntem-1' i kullanan görme tabanlı mobil robot için düz ve dairesel çizgiler boyunca sabit hızla hareket eden topu takip etmesiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak düz çizgi boyunca sabit hızla hareket ettirilen topun takibi yapılmıştır ve Şekil 6.5' te gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Mobil robotun düz çigi boyunca topu takibi

Görme tabanlı mobil robotun düz çizgi boyunca topu takibinde maksimum 4 cm saptığı gözlemlenmiştir. Daha sonra da dairesel çizgi boyunca sabit hızla hareket ettirilen topun takibi yapılmıştır ve Şekil 6.6' da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Mobil robotun dairesel çigi boyunca topu takibi

Görme tabanlı mobil robotun dairesel çizgi boyunca topu takibinde ise maksimum 4,5 cm saptığı gözlemlenmiştir.

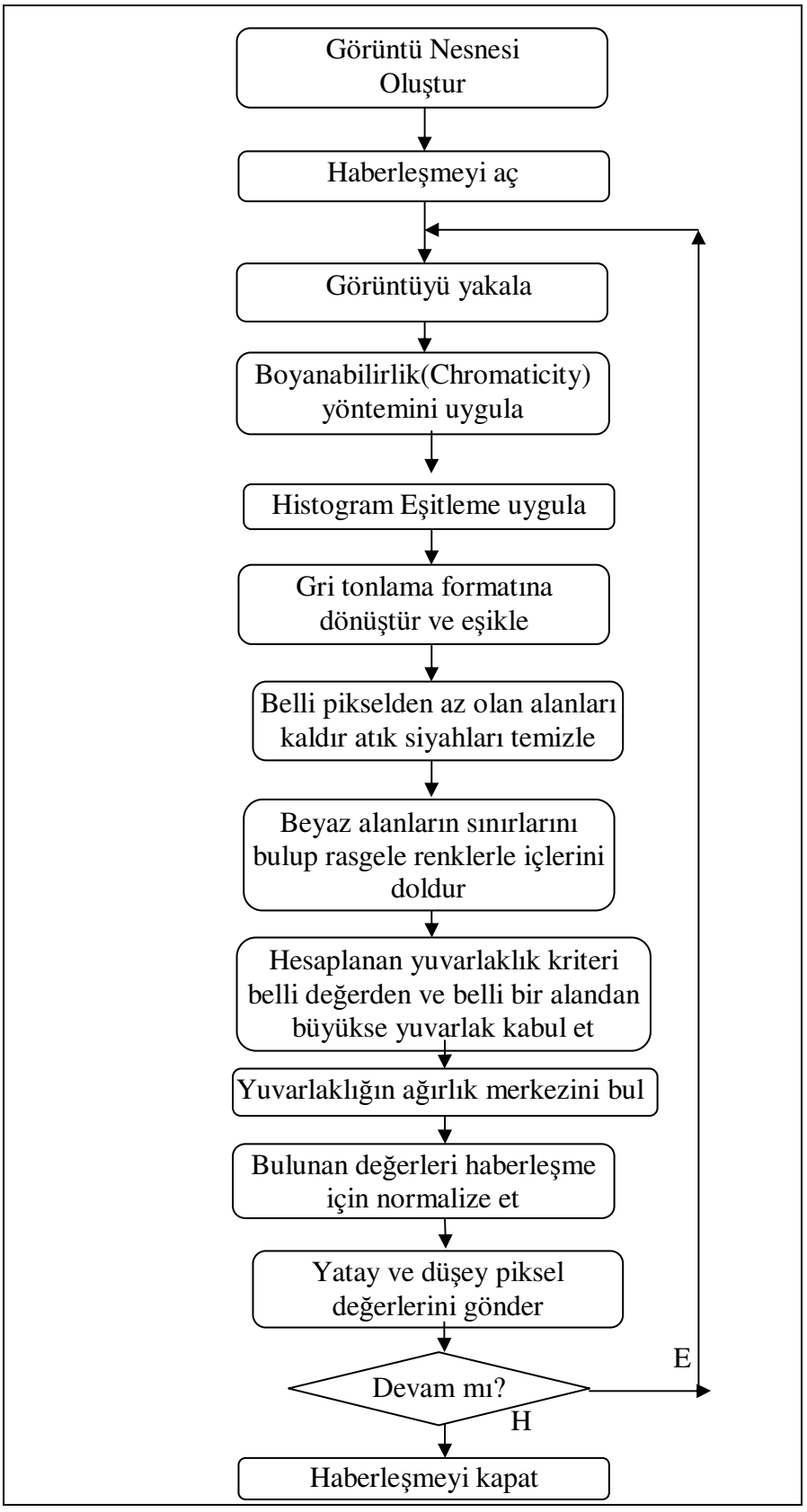
6.2.2. Yöntem-2

İkinci yöntem ise cismin arka plandan ayrıştırılması için nesnenin şeklinin ve beraberinde nesnenin renginin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde yapılan değişiklikler sadece MATLAB programını içermektedir. Bu yöntemde de birinci yöntemde olduğu gibi ilk önce renk tabanlı ayıklama yapılır ve istenen renkle ilgili pikseller bulunur. Daha sonra da eşikleme yapılıp, binary formatlı görüntü elde edilir. Elde edilen binary formatlı (yani siyah-beyaz görüntüde bulunan ve belli piksel değerinden az olan) beyazlıklar kaldırılır. Siyah-beyaz görüntüde beyaz olan yerler yani nesne belirten sınırlar bulunup rastgele renklerde içleri doldurulurken siyah olan yerler yani arka planda kalanlar istenilen bir başka renkle doldurulur. Tez

çalışmasından nesne olarak top kullandığımız için belli yuvarlaklık derecesine (dairesel olarak) sahip ve kapladığı alan belli değerden büyük nesne yuvarlak kabul edilir. Yuvarlaklık metriği denklem (6.1) ile ifade edilir.

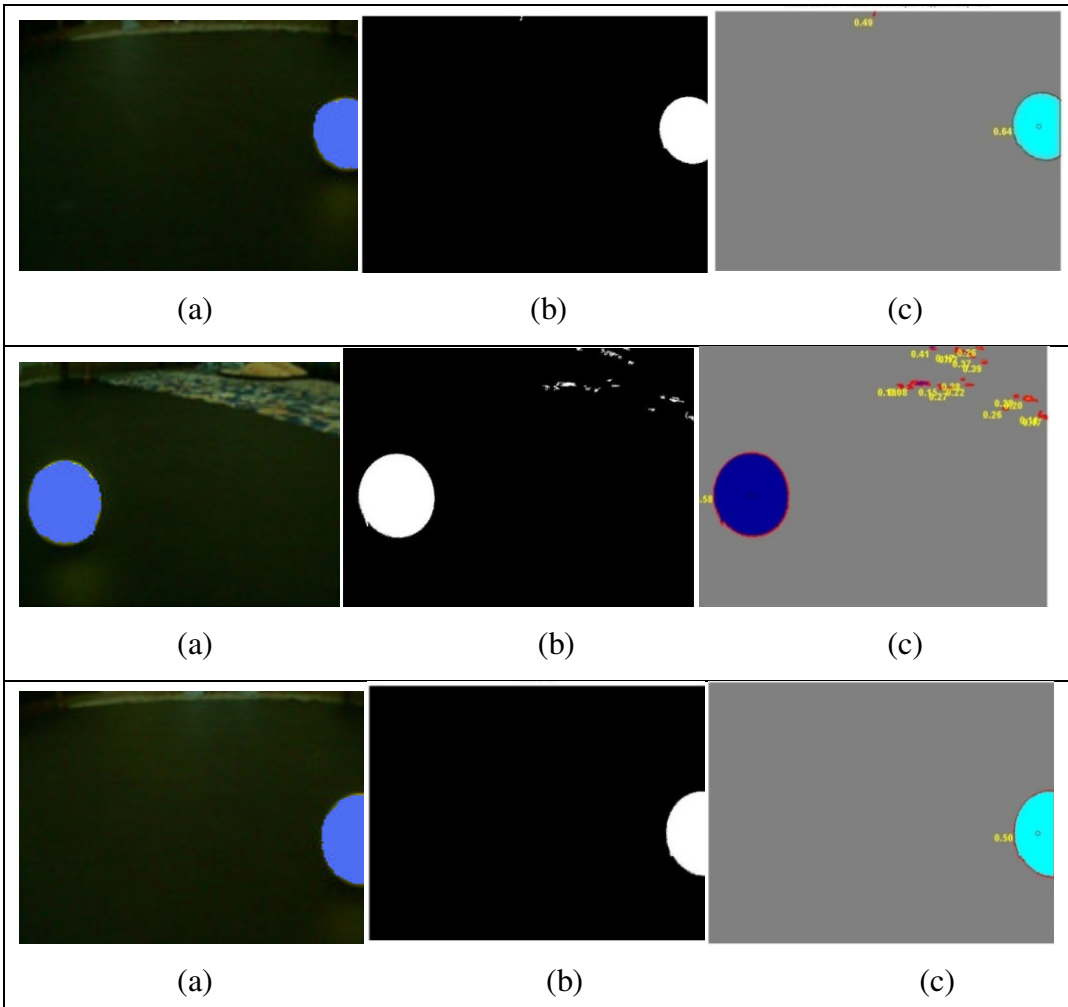
$$yuvarlaklık\ metriği = \frac{4\pi.Alan}{Çevre^2} \tag{6.1}$$

Yuvarlaklık metriği 1' e ne kadar yaklaşırsa yuvarlaklık derecesi o kadar artar. Yuvarlak kabul edilen nesnenin merkezinin yatayda ve düşeyde kaçıncı piksel olduğu tespit edilir. İlgili değerler mikrodenetleyiciye bluetooth tekniği kullanılarak modüller vasıtasıyla gönderilir. Gönderilen bu değere göre de mikrodenetleyici içinde bulunan yazılım doğrultusunda robotun hareketi sağlanır. Yöntem-2 için MATLAB program akışı Şekil 6.7' de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Yöntem-2 için MATLAB programı akışı

Yöntem-2' nin kullanılmasıyla elde edilen rasgele anlarda alınmış görüntü işleme sonuçlarından üç tanesi Şekil 6.8' de gösterilmiştir. Şekil 6.8' den de anlaşılacağı gibi bu yöntemde topun yerinin tespit edilmesi başarılı olmasına rağmen algoritmanın Yöntem-1' e göre biraz daha uzun olması sebebiyle döngü süresi yaklaşık 200 ms' yi olmuştur. Bu durumda, robotun vereceği tepkilerin gecikmesine ve hassasiyetin azalmasına yol açmıştır. Bu yüzden bu tez çalışmasında, Yöntem-2 ikinci planda kalmıştır.



(a) (b) (c)

(a) (b) (c)

(a) (b) (c)

Şekil 6.8 (a) Yakalanan görüntü, (b) Elde edilen binary görüntü, (c) topun merkezinin gösterildiği sonuç görüntü

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında görme tabanlı bir mobil robotun tasarımı, imalatı ve nesneleri takip etmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu projenin esas hedefi, nesne tabanlı bina içi navigasyona temel teşkil etmesi amacıyla görüntü işleme tabanlı bir mobil robotun farklı renklerde nesneleri takip etmesinin uygulamalı olarak gerçekleştirilebilmesidir. Bu uygulama, aynı yöntem kullanılarak farklı nesnelerin bilgisayarca algılanmasıyla daha kapsamlı bir bina içi navigasyonun gerçekleşmesine imkân verecektir.

Uygulamada kullanılabilecek pek çok hazır robot piyasada mevcut iken, proje kapsamında tasarlanarak imal edilmiş bu özellikli prototip mobil robot, ileri teknoloji unsurlarını içeren, geliştirilmeye açık bir yapı sergilemesinden dolayı önem taşımaktadır.

Tasarımı gerçekleştirilen bu mobil robotun tümüyle görüntüye dayalı olarak hareketlerinin koordine edilmesi ve otonom çalışması bu alanda önemli bir yenilik getirmiş ve çevresi ile etkileşim içerisinde bulunan böyle bir mobil robot için gerekli birçok sensörün ekonomik olarak maliyeti azaltılmış, mekaniksel ve elektriksel yapısındaki karmaşıklık ile kütle bakımından ağırlığı önlenmiştir.

Projenin bina içinde 65 metreye kadar haberleşmesinin kablosuz olarak gerçekleştirilmesi hem robotun hareket yeteneğinin artmasına ve hem de kullanım maliyetinin düşmesine yönelik esneklik sağlamıştır. Ayrıca bu durum projeye; uzaktan gözlem, güvenlik ve kontrol amaçlı kullanılabilme özelliklerini de kazandırmıştır. Tasarlanan robotta;

- Mekanik tasarım,
- Elektronik devre tasarımları,
- Denetleyici kart tasarımları ve imalatı,
- Denetleyici yazılımı,
- MATLAB yazılımı

gibi gerekli çalışmaların tümü bu tez çalışması çerçevesinde laboratuvar koşullarında yapılmış ve görüntü tabanlı otonom faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için ise birçok algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen çok sayıdaki algoritmalar arasındaki farklılıkların gözlenmesiyle prototip mobil robot için en ideal sayılabilecek algoritmaya ulaşılmıştır.

Bu uygulamada, özellikle algoritmanın ne kadar sürede işlendiği önem taşımaktadır. Çünkü algoritma süresi robotun, hızlı tepki verebilmesi için önemlidir. Görme tabanlı mobil robotun farklı renklerde (kırmızı, mavi, yeşil) nesneleri takibinde görüntü işleme için MATLAB, görüntünün kontrol merkezine gönderilmesi için kablosuz kamera, kontrol merkezinden verinin gönderilmesi içinse haberleşme de bluetooth kullanılarak robotun tepki verme süresi 96 ms ile 106 ms zaman aralığına kadar indirilebilmiştir. Bu da önerilen algoritmanın saniyede 10 giriş görüntüsünü işleyebilmesinden dolayı gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca görüntü işleme algoritmasının mavi ve kırmızı için % 100 başarılı olduğu, yeşil için ise % 60' lık bir başarı sağladığı yapılan deneysel sonuçlarda gösterilmiştir. Görme tabanlı mobil robotun düz ve dairesel çizgilerde sabit hızla hareket eden topları takibi ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır.

Erişilebildiği kadarıyla literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde (yani kameranın robotun üzerine monte edilmiş şekilde kablosuz olarak verilerin iletildiği) saniyede 12 giriş görüntüsünün işlenebildiği uygulamalar bulunmaktadır. Bu da kullanılan yöntemin saniyede 10 giriş görüntüsünü işleyebildiği için oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Görüntü işleme hızının 80 fps' ye kadar düşürülmesi ancak robotun üzerine kameranın monte edilmediği (yani kameranın sadece robotun çalışacağı alanı görebilecek şekilde monte edildiği) literatür çalışmalarında verinin kablolu olarak gönderilmesi ve algoritmanın yüksek işlemciye sahip bir kontrol merkezi tarafından işlenmesi suretiyle mümkün olmuştur. Fakat bu çalışmalarda kamera genellikle robotun çalıştığı sınırlı bir alanı görebilmektedir.

Mobil robotun farklı mekanik ve elektrik parçalarının kolaylıkla gereği halinde değiştirilmesine imkân verecek bir tasarım yapılmış ve montajı kolaylaştırmak için bazı parçalar kelepçelerle ana gövdeye tutturularak sabitlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması aşamalarında karşılaşılan bazı güçlükler ise;

- Proje ekipmanlarının elde edilmesinde (özellikle de ithalatında) yaşanan problemler,
- Robotun çalışma süresinin bataryalarla sınırlı olması,
- Uygulanabilir bir sistemin, kompakt bir tasarım gerektirmesine yönelik çok fazla konunun bir çatı altında toplanması çalışmaları

şeklinde sıralanabilir.

7.2. Öneriler

Kullanılan kameranın teknik özelliklerinin daha iyi olması (çözünürlüğünün daha yüksek olması, saniyedeki yakaladığı görüntünün daha fazla olması) veya aydınlatmadaki değişimlerden daha az etkilenecek şekilde ek bir tasarıma geçilmesi, (yani ışık miktarını algılayan bir sensör vasıtasıyla ortamdaki ışık miktarına göre yakalanan görüntüye uygulanan eşikleme değerinin değiştirilmesi) elde edilecek görüntünün kalitesini artırmakta yararlı olabilir. Ayrıca, optik geri beslemeli, enkoderli DC motorların kullanılmasıyla, hareketin daha da hassas kontrol edilmesi olasılığı artabilir ve imalatta daha az eleman kullanımı sağlanabilir.

Projede kullanılan sabit kamera yerine yatayda ve düşeyde hareket edebilen bir kamera sistemi kullanılabilir. Bu kamera sistemi için iki adet DC motor ve hızı düşürüp hareket hassasiyetini artırmak için çarklardan oluşan mekanik bir tasarım ve ikinci bir mikrodenetleyici (uydu mikrodenetleyici) gerekebilir.

MATLAB' da GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) aracılığıyla farklı renklerde nesnelerin algılanması için kullanılan algoritmalar arasında eş zamanlı olarak geçiş sağlanabilir.

8. KAYNAKLAR

Abel, E., & Siva, K. (1990). Nuclear telerobotics and dextrous controllers. *Proceedings of IProceedings of IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, IROS '90, Volume:1* , 363-371.

Akın, H. L. (2008). Robotların Kısa Tarihi. *Bilim ve Teknik* , 36-37.

Borenstein, J., & Koren, Y. (1989). Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics,vol. 19, no. 5* , 1179-1187.

Borenstein, J., & Koren, Y. (June 1991). The Vector Field Histogram–Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. *IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 7, no. 3* , pp. 278-288.

Brezak, M., Petrovic, I., & Ivanjko, E. (2007). Robust and accurate global vision system for real time tracking of multiple mobile robots. *Elsevier, Robotics and Autonomous Systems* , 1-18.

Briones L., B. P. (1994). Wall-climbİng robot for inspection in nuclear power plants. *IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume:2* , 1409-1414.

CANAN, S. (2006). Yapay sinir ağları ile GPS destekli navigasyon sistemi. *T.C. Selçuk Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Doktora Tezi* .

Choi, H. T., Hanai, A., Choi, S. K., & Yuh, J. (2003). Development of an underwater robot, ODIN-III. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS 2003), Volume:1* , 836 - 841.

Çomakcı, E. (2004). Bluetooth Güvenlik Mimarisinin İncelenmesi ve Geliştirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi Elektik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi* .

De Almeida, A. (1998). *Autonomous Robotic Systems/Lecture Notes in Control And Information Sciences; 236. Springer-Verlag.*

DEMİR, Ö. (2006). Matlab Gereçleri İle Görüntü İşleme Uygulamaları. *Marmara Üniversitesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı Yükseklisans Tezi* .

DeSouza, G. N., & Kak, A. C. (2002). Vision for Mobile Robot Navigation. *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE VOL. 24, NO. 2,* , 237-267.

Dev, A., Kröse, B., & Groen, F. (1997). Navigation of a Mobile Robot on the Temporal Development of the Optic Fl. *Proc. IEEE Int' l Conf. Intelligent Robots and Systems,* , 558-563.

Dudek, G., & Jenkin, M. (2000). *Computational principles of mobile robotics.* Chambridge UniversityPress.

Erbatur, K. (2008). İnsansı robotlar. *Bilim ve Teknik* , 46-47.

Fisher, R., Perkins, S., Walker, A., & Wolfart, E. (2003). *Image Processing Operator Worksheets*. Retrieved Ocak 23, 2008, from http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/wksheets.htm

Freda, L., & Oriolo, G. (2007). Vision Based İnterception of a moving target with a nonholonomic mobile robot. *Robotics and Autonomous Systems 55* , 419–432.

Gaussier, P., Joulain, C., Zrehen, S., & Revel, A. (1997). Visual Navigation in an Open Environment without Map. *Proc. IEEE Int'l Conf. Intelligent Robots and Systems* , pp. 545-550.

Guzman, J., Berenguel, M., Rodriguez, F., & Dormido, S. (2007). An interactive tool for mobile robot motion planning. *Robotics and Autonomous Systems* , ARTICLE IN PRESS.

Günay, Z. (2006, Mart 21). *goruntuisleme.org*. Retrieved Ocak 23, 2008, from http://www.goruntuisleme.org/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=1&id=1&Itemid=2

Han, Y., & Hahn, H. (2005). Visual tracking of a moving target using active contour based SSD algorithm. *Elsevier, Robotics and Autonomous Systems 53* , 265–281.

Hayet, J., Lerasle, F., & Devy, M. (2007). A visual landmark framework for mobile robot navigation. *Science Direct Elsevier* , in press.

Ishida, T. (2003). A small biped entertainment robot SDR-4X II. *of IEEE International Symposium on Computational întelligence in Robotics and Automation, Volume:3* , 1046- 1051.

Ivanjko, E., Dalbelo-Bašić, B., & Petrović, I. (2007). Correlation Based Approach to Mobile Robot Pose Tracking in Unknown Environments. *Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces, Cavtat, Croatia* , 445-450.

Kelley, R. (1997). Semi-autonomous robotic manipulation systems. *IEEE International Conference on Man, and Cybernetics, 'Computational Cybernetics and Simulation', Volume:2* , 1759-1764.

Kim, D., & Nevatia, R. (1994). Representation and Computation of the Spatial Environment for Indoor Navigation. *Proc. Int'l Conf. Computer Vision and Pattern Recognition* , 475-482.

Kim, D., & Nevatia, R. (1995). Symbolic Navigation with a Generic Map. *Proc. IEEE Workshop Vision for Robots* , 136-145.

Klancar, G., & Skrjanc, I. (2007). Tracking-error model-based predictive control for mobile robots in real time. *Elsevier, Robotics and Autonomous Systems 55* , 460-469.

Koide, S., Andou, H., Suzuki, S., & Oda, M. (1993). Semi-autonomous teleoperation control system with layered architecture-An application to space robots. *Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS '93, Volume:3* , 1995 - 2001.

Kosaka, A., & Kak, A. (1992). Fast Vision-Guided Mobile Robot Navigation Using Model-Based Reasoning and Prediction of Uncertainties. *Computer Vision, Graphics, and Image Process-Image Understanding, vol. 56, no. 3* , 271-329.

mathworks. (2008, Ocak 27). Retrieved from http://www.mathworks.com

Matthies, L., Gat, E., Harrison, R., Wilcox, B., Volpe, R., & Litwin, T. (1995). Mars Microrover Navigation: Performance Evaluation and Enhancement. *Proc. IEEE Int'l Conf. Intelligent Robots and Systems, vol. 1* , 433-440.

Meng, M., & Kak, A. (1993). NEURO-NAV: A Neural Network Based Architecture for Vision-Guided Mobile Robot Navigation Using Non-Metrical

Models of the Environment. *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation, vol.2* , 750-757.

Moore, K., & Flann, N. (2000). A Six-Wheeled Omnidirectional Autonomous Mobile Robot. *IEEE Control System Magazine* , 53-66.

Moravec, H. (1983). The Stanford Cart and the CMU Rover. *Proc.IEEE, vol. 71, no. 7* , pp. 872-884.

Pagnot, R., & Grandjean, P. (1995). Fast Cross Country Navigation on Fair Terrains. *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation* , 2593-2598.

Pan, J., Pack, D., Kosaka, A., & Kak, A. (1995). FUZZY-NAV: A Vision-Based Robot Navigation Architecture Using Fuzzy Inference for Uncertainty-Reasoning. *Proc. IEEE World Congress Neural Networks, vol. 2* , 602-607.

Raibert, M., Chepponis, M., & Brown, H. J. (1986). Running on four legs as though they were one. *IEEE Journal of Robotics and Automation, Volume:2, Issue:2* , 70 - 82.

Russell, R., Thiel, D., Deveza, R., & Mackay-Sim, A. (1995). A robotic system to locate hazardous chemical leaks. *IEEE International Conference on Robotics and Automation Proceedings, Volume: 1* , 556 - 561.

Santos-Victor, J., Sandini, G., Curotto, F., & Gari, S. (1995). Divergent Stereo in Autonomous Navigation: from Bees to Robots. *Int'l J.Computer Vision, vol. 14, no. 2* , 159-177.

Santos-Victor, J., Sandini, G., Curotto, F., & Garibaldi, S. (1993). Divergent Stereo for Robot Navigation: Learning from Bees. *Proc. IEEE CS Conf. Computer Vision and Pattern Recognition* .

Schulz, D., Burgard, W., Fox, D., & Cremers, A. B. (2003). People Tracking with Mobile Robots Using Sample-based Joint Probabilistic Data Association Filters. *The International Journal of Robotics Research Vol. 22, No. 2* , 99-116.

Shuxiang, G., Fukuda, T., & Asaka, K. (2003). A New type of fish-like under water microrobot. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume:8, Issue:1* , 136-141.

Stark, L., Tendick, F., Kim, W., Anderson, R., Hisey, M., Mills, B., et al. (1988). Telerobotics: problems and research needs. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Volume: 24 , Issue: 5* , 542 - 551.

Voth, D. (2004). A new generation of military robots. Intelligent Systems. *Intelligent Systems, IEEE , Volume: 19, issue: 4,* , 2-3.

Wang, X., Hou, Z.-G., Zou, A., Tan, M., & Cheng, L. (2007). A behavior controller based on spiking neural Networks for mobile robots. *Elsevier in press* .

YALÇIN, M. K. (2003). Mobil Robot Uygulaması. *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği A.B.D.*

Yılmaz, N. (2005). Web tabanlı mobil robot sistemi tasarımı,gerçekleştirlmesi ve uygulamaları. *T.C. Selçuk Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Doktora Tezi* .

Yoshida, K., & Nakanishi, H. (2003). Impedance matching in capturing a satellite by a space robot. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS 2003, Volume:3* , 3059-3064.