

Gezgin Robotlar için Seyrüsefer ve Kamera Takip Sistemi

Uğur Gürel

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2006

Navigation and Camera Tracking System for Mobile Robots

Uğur Gürel

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical Electronics Engineering

June 2006

Gezgin Robotlar için Seyrüsefer ve Kamera Takip Sistemi

Uğur Gürel

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol ve Kumanda Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Osman Parlaktuna

Haziran 2006

Uğur Gürel' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Gezgin Robotlar için Seyrüsefer ve Kamera Takip Sistemi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Doç. Dr. Osman Parlaktuna

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nihat Adar

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk Canbek

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışmasında, gezgin robot çalışmalarında oldukça önemi olan “Ben neredeyim” , “Ben nereye gidiyorum?” , ”Oraya nasıl giderim?” sorularına cevap verebilecek bir uygulama geliştirilmiştir. Gezgin robotun laboratuvar ortamı içerisindeki konumunu belirlemek için laboratuvarın tavanına bir kamera yerleştirilmiştir. Gezgin robotun ortam içerisindeki konumu alınan görüntü işlenerek bulunmuştur. Bu kapsamda gezgin robotun yapacağı işi tanımlamak için laboratuvarın tabanına yerleştirilen farklı renkteki objelerin tavana yerleştirilen kameradan alınan görüntünün işlenmesi ile bu objelerin otomatik olarak bulunması sağlanmıştır. Gezgin robota uzak bir bilgisayardan görev yüklenebilmesi için TCP/IP protokolünü kullanan, gezgin robot üzerinde çalışacak istemci ve görev tanımlayıcı makine üzerinde çalışacak sunucu programı yazılmıştır. Geliştirilen görüntü işleme uygulaması gerçek zamanlı olarak, kamera girdisi veya video kaynağı ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

ABSTRACT

In this thesis, a general application which can answer “Where am I”, “Where am I going”, “How can I go there” questions which are important in mobile robot applications was developed. In order to determine mobile robot’s position in laboratory environment a camera was attached to the ceiling of the laboratory. By processing the frames taken by this camera the mobile robot’s position is calculated. In order to define the job of the mobile robot colored objects were put on the ground of the laboratory. Also by processing the frames taken by this camera the objects positions are calculated automatically. In order to load missions to mobile robot remotely, a client program which will run on mobile robot and a server program which will run on mission server was developed. Both client and server programs are communicating with each other on TCP/IP protocol. Developed image processing program is designed to work in real-time with both camera and video sequence.

TEŐEKKÜR

Tez alıŐmalarıma yol gstermesinin yanısıra, gsterdiği anlayıŐ ve sabırdan dolayı danıŐmanım sevgili hocam Do.Dr.Osman Parlaktuna'ya, her turlu sorumu çekinmeden sorabildiğim değerli hocam Yrd.Doç.Dr.Selçuk Canbek'e, bitmez sorularımı her seferinde bryk bir sabır ile dinleyip yanıtlayan ArŐ.Gör.Metin Őzkan'a, değerli arkadaŐım ArŐ.Gör.Ekrem Aksoy'a, manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve sryekli moral takviyesi yapan eŐim Dilek Grel'e, ayrıca koŐulsuz sevgi ve desteğini benden hiç esirgemeyen annem Nuriye Grel, babam Mehmet Grel ve kardeŐim Aslı Grel'e ve beni bugynlere getiren adını burada sayamadığım değerli hocalarıma çok teŐekkür ederim

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaçlar	2
2. LİTERATÜRDE GEZGİN ROBOT SEYRÜSEFERİ	4
2.1. Otonom Seyrüsefer	4
2.2. Lokalizasyon ve Seyrüsefer Tipleri	5
2.2.1. Enkoder Yardımı ile	5
2.2.2. Aktif Yol Gösterici Yardımı ile	6
2.2.3. Yer imi Yardımı ile	7
2.2.3.1. Doğal Yer imi Yardımı ile	8
2.2.3.2. Yapay Yer imi Yardımı ile	9
2.2.4. Harita Tabanlı Konumlandırma	11
2.2.5. Görüntü Temelli Lokalizasyon ve Hareket etme	11
2.2.6. Planlı Seyrüsefer	12
2.2.7. Tepkisel Seyrüsefer	13
2.3. Kontrol Tipleri	15
2.3.1 Davranış Tabanlı Kontrol	15
2.3.2. Genetik Algoritma Tabanlı Kontrol	16
2.3.3 Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol	17
2.3.4. Neuro-Fuzzy Tabanlı Kontrol	19
3 KULLANILAN SİSTEM ve UYGULAMA	20
3.1 Görüntü İşleme Mimarisi	20
3.1.1. Çalışmanın Görüntü İşleme Kısımında Kullanılan Uygulama	21
3.1.2. Dizi Resim Dönüştürücü	22
3.1.3. Renk Fonksiyonu	22
3.1.4. Morfolojik Operatörler	23
3.1.5. Görüntü Üzerinde Robotun Bulunması	24
3.1.6. Gezgin Robotun Konumunun Dünya Koordinat Sistemine Çevrilmesi	25
3.1.6.1 Geometrik Bozulmayı Düzelten Fonksiyon	25
3.2. Robotun $P1(x,y)$ Noktasından $P2(x,y)$ Noktasına Götürülmesi	31
3.3. Çalışmada Kullanılan Gezgin Robot	32

İÇİNDEKİLER (Devam)

3.4. Geliştirme Ortamı	34
3.5. Kullanıcı Ara Yüzleri.....	35
3.5.1. Temel Fonksiyonlar	35
3.5.1.1. Gezgin Robota Görev Yükleme.....	36
3.5.1.2. Görev Noktalarını ve Robotları Bulma.....	37
3.5.1.3. Robotu Takip Etme.....	37
3.5.1.4. Kaydedilen Rotanın Çizilmesi	38
3.5.2. Ayarlar Fonksiyonlar	39
4. SONUÇ ve ÖNERİLER	39
Kaynaklar.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Yer imi Lokalizasyonu Adımları.....	7
Şekil 2.2. Yer iminin yapısı	9
Şekil 2.3. Yapay Yer imi	10
Şekil 2.4. Planlı Seyrüsefer Şeması	12
Şekil 2.5. Tepkisel Planlama.....	13
Şekil 2.6. Davranış Temelli Kontrol Yapısı.....	15
Şekil 2.7. Bulanık Mantık Blok Diyagramı	17
Şekil 2.8. Bulanık Kontrol Bloğu	18
Şekil 3.1. Görüntü İşleme Fonksiyonlarının Blok Şeması.....	20
Şekil 3.2. Uygulamanın Blok Diyagramı.....	21
Şekil 3.3. Dizi Resim Dönüştürücüden Elde Edilen RGB resim.....	22
Şekil 3.4. Morfolojik Operatörler ve Etkileri.....	24
Şekil 3.5. Görüntü Üzerinde Robotun Bulunması	25
Şekil 3.6. Düğüm Noktalar Metodu.....	27
Şekil 3.7. Seçilen Düğüm Noktaları	28
Şekil 3.8. Sistem Bilgisi.....	29
Şekil 3.9. Gerçek X Eksenindeki Hata.....	30
Şekil 3.10. Gerçek Y Eksenindeki Hata.....	31
Şekil 3.11. Gezgin Robot için Hareket Alanı	31
Şekil 3.12. Gezgin Robot için Hareket Vektörü	32
Şekil 3.13. Pioneer 3-DX Gezgin Robotu.....	33
Şekil 3.14. Pioneer 3-DX Gezgin Robotu Teknik Çizimi	33
Şekil 3.15 Gezgin Robot Koordinat Sistemi.....	34
Şekil 3.16. Uygulamanın Ana Ekranı	35
Şekil 3.17. Temel Fonksiyonlar	35
Şekil 3.18. Görev Yükleme Ekranı.....	36
Şekil 3.19. Ortamda Bulunan Gezgin Robotların ve Görev Noktalarının Bulunması.....	37
Şekil 3.20. Rota Çizdirme Ekranı	38
Şekil 3.21. Önceden Kaydedilen Rotanın Çizdirilmesi	38
Şekil 3.22. Takip edilecek renklerin değerleri.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

Şekil 3.23. Erode Dilate Ayarı.....	39
-------------------------------------	----

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1 X Koordinatındaki Alınan Ölçüm	30
Tablo 2 Y Koordinatındaki Alınan Ölçüm	30

Bölüm 1

GİRİŞ

Günümüzde otonom gezgin robotların kullanımı günden güne artmaktadır. Gezgin robotlar insanların ulaşamayacağı lağım, dar borular, ya da insanlar için tehlikeli bölgelerde, tıbbi veya nükleer atıkların toplanması gibi işlerde insanların yerini alması için kullanılmaktadır. Bu robotlar demir çelik gibi ağır sanayide kullanılan hammaddeleri taşımak ya da yarı mamul ürünlerin yer değiştirmesi sırasında bu ürünlerin teslimatında kullanılabilir. Nitekim Florence, Kentucky'de de bulunan Mazak fabrikasında otonom gezgin robotlar ağır metal plakaları iş istasyonları arasında taşımak için kullanılmaktadır (Souma,2003). Ya da daha kişisel kullanım için Transitions Research Corporation tarafından yapılan Helpmate isimli otonom gezgin robot hastanede hastalara yemek vermesi için kullanılmaktadır (Souma, 2003) .

1960 yılında SRI (Stanford Research Institute) tarafından yapılan Shakey isimli robot kendi hareketlerini bir nedene bağlayabilen ilk robottur (<http://www.sri.com/about/timeline/shakey.html>, 2006). Shakey robotunun kullanılması ile yapay us ve robotik ortak bir çalışma alanı bulmuştur. Gezgin Robot Beklenmedik bir durum karşısında kendi kendine, herhangi bir operatöre ihtiyaç duymadan karar verebilmeli, plan yapmalı ve bu beklenmedik durumu aşacak şekilde hareket etmelidir. Gezgin robot uygulama senaryoları ortamın daha önceden bilinip bilinmemesine ve ortamın dinamik olup olmamasına göre sınıflandırabilir. Eğer ortam daha önceden biliniyorsa ve dinamik değilse gezgin robot ilk yaptığı plandan sapmayarak verilen görevi rahatlıkla yerine getirebilir. Ama eğer ortam daha önceden bilinmiyor veya ortam dinamikse gezgin robotun görevi tamamlaması zorlaşır ve sürekli plan yapması gerekir. Ortamın önceden bilindiği ve durağan kabul edildiği model tamamı ile gerçek dünyadan uzaktır. Fakat ikinci model gerçek dünyanın modellenebileceği bir test ortamını sunar. Günümüz gezgin robot uygulamaları daha çok uzay araştırmalarında yoğunlaşmıştır. Robot bilinmeyen bir gezegen üzerinde bir yerden bir yere rahatlıkla seyahat edebilmeli, gerektiğinde taş toplayabilmeli ve topladığı taşları analiz edebilmeli ve tabii ki bu görevleri gerçekleştirirken

otonom olmalıdır. Çünkü bu tür uygulamalarda her zaman robotun başında bir operatör bulunmayabilir ya da operatörün müdahale şansı olmayabilir.

1.1. Çalışmanın Amaçları

Gezgin robot görevini yerine getirirken;

- Ben neredeyim?
- Ben nereye gidiyorum?
- Oraya nasıl giderim?

Sorularına cevap vermelidir (Negenborn, 2003).

Bu çalışmadaki amaç yukarıda bahsedilen sorulardan bir kısmına cevap verebilmek için araçlar geliştirmektir. Bu araçları gezgin robotun verilen koordinatlar arasında seyahat etmesini sağlamak, robotun hareketlerini test ortamının tavanına yerleştirilen bir kamera yardımı ile takip edecek programı yazmak ve gezgin robotun hareketlerini kaydetmek, kameradan alınan piksel bilgisinin gerçek dünya koordinat bilgisine dönüştürmek, istenildiği takdirde önceden tanımlı ya da tanımlı olmayan bir görevi ana makineden gezgin robota yükleyebilmek olarak sıralanabilir.

Yukarıda anlatılan amaçlar doğrultusunda, gezgin robotun dünya üzerinde kendini konumlandırması için üzerindeki enkoderler ve gezgin robotun dolaştırılacağı laboratuvarın tavanına yerleştirilen bir adet kamera kullanılmıştır. Robotun konumlandırılması ve hareket bilgisini kaydının daha sonra çeşitli testlerde kullanılmak üzere tutulması sağlanmıştır.

Alınan piksel değerleri gerçek dünya koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Gezgin robotun belirli bir noktadan başka bir noktaya hareket etmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Ayrıca robota görev yükleyebilmek ana makine ve gezgin robot arasında için TCP/IP protokolünü kullanan bir yazılım geliştirilmiştir.

Bu çalışmada göz önünde tutulan isterler:

1. Uygulamanın her bir parçası gerçek zamanlı çalışmalı. Uygulamanın gezgin robot üzerinde çalışan kısmının çalıştırılması gezgin robotu tehlikeye düşürecek kadar uzun olmamalı.
2. Uygulamada kullanılacak kameralar sisteme tanıtıldıkları takdirde tak-çalıştır şeklinde çalışmalılar.
3. Uygulamada geliştirilen her bir parçacık bir diğerinden bağımsız çalışabilmeli ve diğer program parçalarının çalışmalarını engellememeli.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde gezgin robot seyrüseferi anlatılacaktır. Üçüncü bölümde kullanılan sistem ve uygulama açıklanacak ve son bölümde ise sonuçlar ve öneriler kısmı olacaktır.

Bölüm 2

LİTERATÜRDE GEZGİN ROBOT SEYRÜSEFERİ

2.1. Otonom Seyrüsefer

Otonom seyrüseferi en temel anlamda gezgin robotun bir yerden bir yere engellerden sakınarak ve dışarıdan herhangi bir operatör müdahalesi olmadan yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir (Xiaochuan, 2004). Dinamik bir ortamda engeller, duran bir kutudan hareket halinde olan bir araca kadar çeşitlilik gösterebilir. Bu görevin planlanmasını oldukça zorlaştıran bir durumdur ve görevin planlanması, gezgin robotun görevini tamamlamasını yakından ilgilendiren bir alt görevidir. Otonom olma durumu göz önüne alındığında robotları üçe ayrılabilir (Negenborn, 2003).

- Otonom olmayan robotlar

Tamamı ile insan tarafından sürülen robotlardır. Bu robotların zekâsı sadece insandan gelen emirleri uygulayacak kadardır.

- Yarı otonom robotlar

Bu tür robotlar bazı durumlarda kendi kendilerine hareket edebilen bazı durumlarda da insanlar tarafından da sürülebilen robotlardır.

- Tam otonom robotlar

Tamamen kendi kendine herhangi bir insana ihtiyaç duymadan görevlerini tamamlayabilen robotlardır. Bu tür robotların kendilerine ait zekâ ve hareket kabiliyetleri bulunmaktadır.

Gezgin robotların doğaları gereği, endüstriyel sabit robotların aksine görevlerini tamamlayabilmek için çoğu zaman ortamda gezinmeleri gerekmektedir. Robot seyrüseferi denince aklımıza gezgin otonom robotun bir yerden bir yere yer değiştirmesi aklımıza gelmektedir. Gezgin robotun bu yer değiştirme görevini yerine getirmesi için aşağıdaki sorulara doğru cevap vermesi gerekmektedir (Negenborn, 2003).

- Ben neredeyim?

Gezgin robot tam olarak nerede olduğuna doğru karar vermelidir. Gezgin robotun yerini tayin etme işine literatürde gezgin robot lokalizasyonu denir.

- Ben nereye gidiyorum?

Gezgin robotun t anında olan hamlesinden sonra ne yapacağını bilmesi gerekmektedir. Literatürde bu göreve hedef tanımlama denilmektedir.

- Nasıl giderim?

Gezgin robotun konumu ve görevi biliniyorsa geriye gidilecek yere nasıl gideceğine karar vermesi gerekmektedir. Literatürde hedef noktaya nasıl gideceğine karar verme işine yol belirleme problemi denmektedir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen üç soruya da cevap verebilecek bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

2.2. Lokalizasyon ve Seyrüsefer Tipleri

Gezgin robotlara verilen görevi başarı ile yerine getirmek için çoğunlukla seyrüsefer görevini yapmak zorundadır. Bundan dolayı gezgin robotun yerini bilmesi oldukça önemli bir konudur. Literatürdeki çalışmalara baktığımızda enkoder, aktif yol gösterici, yer imi ve kamera kullanarak robotun yerinin belirlenmesi gibi yaklaşımlar bulunmaktadır.

2.2.1. Enkoder Yardımı ile

Odometri yöntemi gezgin robotlarda kullanılabilecek en kolay ve ucuz yöntemdir. Bu yöntemde tekerlerin dönüş miktarı enkoder yardımı ile alınarak sisteme aktarılır. Gezgin robotun tekerlek çapı belli olduğundan dönme sayısına bakarak pozisyon bilgisi bulunabilir. Bu yöntemde karşılaşılabilecek en büyük sıkıntı, sistemden kaynaklanan hataların birbiri üzerine eklenerek büyümesidir. Bu hatanın düzeltilmesi için bir referans kaynak kullanılabilir. Literatürde bulunan çalışmalarda genellikle salt lokalizasyon ya da

tek seyrüsefer çalışmaları yerine hem lokalizasyonun hem de seyrüseferin beraber kullanıldığı çalışmalar çoğunluktadır.

Rui Araiujo ve Anibal T. de Almeida çalışmalarında Nomad 200 gezgin robotun koordinatını enkoderler yardımı ile alıp robotu engel olmayan laboratuvar şartlarında bir başlangıç pozisyonundan başlatarak hedef koordinata gitmesini sağlamışlardır (Rui and Anibal, 1999).

Kyucheol Park ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada fark enkoder ve cayroskop kullanarak gezgin robotu ortamda hareket ettirmişlerdir. Cayroskop ve enkoderden alınan bilgilerden kaynaklanan hataları telafi etmek içinse genişletilmiş Kalman filtresi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ve algoritmanın, oldukça güvenilir pozisyon ve yön bilgisi verdiği gözlemlenmiştir (Kyucheol et al., 1997).

2.2.2. Aktif Yol Gösterici Yardımı ile

Aktif yol göstericileri kullanarak gezgin robotun tam olarak yerini saptanabiliriz. Bu metotta en az üç adet verici yol göstericiler yerleştirilmektedir. Bu yol göstericilerden alınan sinyaller işlenerek pozisyon bilgisi oluşturulmaktadır. Aktif yol göstericiler ışık ya da ses yayarlar olabilir.

T. Venet ve arkadaşları çalışmalarında duvara bir adet hareketli lazer vericiyi sabitlemişler ve alıcı olarak da gezgin robotun üzerinde altı adet foto diyot bulunan bir alıcı yerleştirerek gezgin robotun pozisyonunu (kartezyen koordinatlar ve yön bilgisi) bulmuşlardır (Venet et al., 2002).

M. Piaggio ve arkadaşları çalışma senaryosu olarak servis robotlarını ele almışlardır. Bina içerisine belli referans noktalarına yerleştirilen aktif yer göstericilerden alınan bilgiyi kullanan gezgin robot, üçgenleme metodu yardımı ile kendi konumunu bulmuştur. Üçgenleme metoduna ek olarak Kalman filtresi de kullanılmıştır (Piaggio et al., 2001)

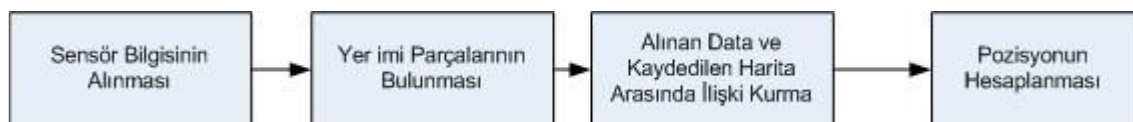
Lindsay Kleeman çalışmasında ultrasonik yer gösterici kullanarak gezgin robotun yönlendirilmesini ve pozisyonunu bulmayı hedeflemiştir. Çalışmasında enkoderden ve yer göstericiden alınan bilgiler iteratif genişletilmiş Kalman filtresine girilerek pozisyon ve yön bilgisi elde edilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak 12 metrekare çalışma alanı içerisinde gerçek zamanlı olarak (hesaplama zamanı 150 ms) yön ve pozisyon bilgisi 40 mm hata ile bulunmuştur (Kleeman , 1992)

Durieu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kızılötesi ve ultrasonik aktif yer göstericiler kullanarak robotun pozisyon bilgisini ve gezgin robotun hareketlerini takip etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan simülasyon ve testler sonucunda hesaplama süresini 1 saniye ve hata payını da 10 cm olarak bulmuşlardır (Durieu et al., 1989).

2.2.3. Yer imi Yardımı ile

Bu yöntemde ortamdan kolaylıkla ayrılabilen yer imleri bilinen yerlere yerleştirilerek gezgin robotun pozisyonu bulunması hedeflenmiştir. Yer imi ortamda olmayan bir renkte olabilir, üçgen, daire gibi geometrik bir şekilde olabilir ya da özel anlam içeren barkod RFID gibi nesnelere de yerimi olabilir. Yer imlerinin yeri mutlaka belirli olmalıdır ki gezgin robot kendini o yer imine göre konumlandırabilsin. Eğer yeri bilinen bir yer imine göre konumlandırma yapılabilirse basit bir dönüşüm yardımı ile dünya koordinat sistemine göre gezgin robot konumlandırabiliriz.

Yer imi konum belirlemede genel anlamda adımlar aşağıdaki şekilde verilmiştir. (Borenstein et al., 1996)



Şekil 2.1. Yer imi Lokalizasyonu Adımları

İki çeşit yer imi vardır, yapay ve doğal yer imi. Doğal yer imi ortamda daha önceden bulunan obje ya da özelliklerdir. Yapay yer imi ise tasarlanarak ortama konulmuş obje ya da özelliklerdir (Borenstein et al., 1996)

2.2.3.1. Doğal Yer imi Yardımı ile

Gezgin robot lokalizasyonunda doğal yer imi olarak ortamda bulunan çiçek, kapı, yer döşemesi, pencereler, tavandaki ışıklar, duvarların kesişim yerleri gibi nesnelere ve özellikleri kullanılabilir.

Doğal yer imini kullanmanın en büyük artışı dışarıdan bir yer imi yerleştirmeden ortamda bulunan özellikleri kullanarak gezgin robotu konumlandırabilmek. Bu tür sistemlerin dezavantajı ise eğer ortamdan çıkarılması gereken özellik doğru seçilmez ise ortamda ki yer imleri birbirine karıştırılabilir ve robotun pozisyonu doğru hesaplanmayabilir. Bir başka dezavantaj ise seçilecek özelliği bulacak olan bilgisayar fonksiyonu sisteme oldukça büyük hesaplama yükü getirebilir. Bu durum da robotun çalışması yavaşlayabilir ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) ve Ontario Hydro Technologies tarafından ortaklaşa yürütülen ve Toronto ve York üniversitelerinin destek verdiği proje sonucunda “Autonomous Robot for a Known Environment (ARK)” isminde doğal yer imleri ile çalışan bir sistem ortaya konmuştur (Jenkin et al., 1993) . ARK isimli sistem Cybermotion K2A+ isimli gezgin robot üzerinde kullanılmıştır. Ark sistemi robotun enkoderlerinden aldığı bilgiyi belirli zaman aralıklarında düzeltmek için kullanılmıştır (Borenstein et al., 1996).

Maosen Wang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bioalgılayıcı tabanlı ve akustik görüntülerin eşleştirmesi esasına dayanan mobil seyrüsefer sistemi ortaya konulmuştur. Çalışmada kameradan alınan görüntüler yerine ses ile oluşturulan görüntülerin eşleştirilmesi kullanılmıştır. Buradaki amaç yarasaların görme yapılarına benzer bir yapıyı kullanmak ve bu yapıyı gezgin robotlara uygulamaktır. Çalışmada doğal yer imi olarak üç adet aynı boyda yapay ağaçtan oluşturulan akustik görüntüler kullanılmıştır. Alınan bu görüntüler gezgin robot üzerinde yazılan program ile sınıflandırılmıştır (Maosen et al., 2005).

Artur Arsenio ve M. Isabel Ribeiro tarafından yapılan çalışmada lazer mesafe ölçücüsü kullanılarak gezgin robotun tam yerinin bulunması hedeflenmiştir. Çalışmada ortamın harita bilgisi ve lazer ölçücüden verilerin birleştirilmesi ile pozisyon bilgisi elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yapay yer imi ise köşelerdir (Arsenio and Ribeiro, 1998).

Zhao Feng-ji ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iki adet ultrasonik algılayıcı ve bir doğal yer iminden faydalanarak gezgin robotun pozisyonunu ve yönlenmesini bina içi ve daha önceden bilinen ortamlar için bulmayı amaçlamışlardır. Çalışmada doğal yer imi olarak bir odanın duvarlarının köşe noktalar seçilmiştir. Seçilen köşe noktalara göre gezgin robot konumlandırılmıştır (Feng-ji et al., 1998).

2.2.3.2. Yapay Yer imi Yardımı ile

Yapay yer imleri insan tarafından tasarlanarak ortama konulduğu için ortamda bulunması oldukça kolaydır. Renk bilgisi, şekli ve boyutları tam olarak bilinir. Bu bilgiler kullanılarak gezgin robotun yeri bulunmaya çalışılır.

Gijeong Jang ve arkadaşları çalışmalarında farklı iki renge ve üç boyuta sahip Şekil 2.2. görünen bir yer imi kullanmışlardır. Çalışmada özel bir düzenek sayesinde 360 derece görüş alanı sağlayabilen kameradan alınan görüntüden, bakış açısından kaynaklanan bozulma ile gezgin robotun yönlenmesi ve şeklin boyutunun uzaklığa bağlı değişmesinden de yer imine olan uzaklığı bulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar en fazla 7 cm hata ile gezgin robotun kendisini konumlandığı yönündedir ki bu sonuç bina içi uygulamaları için oldukça yeterli bir sonuçtur (Jang et al., 2005).



Şekil 2.2. Yer iminin yapısı

Kubitz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise bina içi uygulamaları için maliyeti düşük ve gürbüz olması amaçlanan bir sistem önerilmiştir. Yapay yer imi olarak RFID kullanılmıştır. RFID sistemi okuyucu ve okunacak etiket olarak iki parçadan oluşur. Bu etiketler aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Aktif etiketlerin kendi enerjileri

2.2.4. Harita Tabanlı Konumlandırma

Bu yöntemde robotun üzerindeki algılayıcılardan alınan veriler bir harita ile karşılaştırılarak gezgin robot konumlandırılmaya çalışılır. Alınan veriler ve harita üzerindeki veriler örtüşüyor ise gezgin robotun konumu tahmin edilebilir (Souma, 2003). Harita tabanlı konumlandırmada iki yaklaşım vardır. Bunlardan ilki daha önceden var olan bir haritanın kullanılması bir diğer yöntem ise robotun kendi haritasını oluşturmasıdır. Burada haritadan kastedilen konum bilgisi ve sensor bilgilerinin tutulduğu bir dosyadır (Borenstein et al., 1996). Oluşturulan haritalar geometrik ve topolojik olarak ikiye ayrılabilir. Geometrik harita robotun bulunduğu dünyadaki yerleri gerçek (x,y,z) değerleri ile gösterirken, topolojik haritalar ise robotun bulunduğu dünyayı düğüm ve yaylar şeklinde gösterir.

Caroline Pantofaru ve arkadaşları çalışmalarında lazer uzaklık algılayıcısı ve kameradan alınan görüntülerden bilginin çıkarılması üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmanın temel amacı ilgili objelere ayrılmış haritaların oluşturulmasıdır. Bu amaç için deney aracı olarak binalar seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda ulaşılmak istenilen nokta gezgin robot üzerindeki kamera ve lazer algılayıcıları kullanarak bu haritaları oluşturmaktır. Bu yaklaşım geometrik harita anlayışını bir üst aşamaya çıkaracaktır. (Pantofaru et al., 2003)

2.2.5. Görüntü Temelli Lokalizasyon ve Hareket etme

Gezgin robotlarda ulaşılması düşünülen noktalardan biri robotun insanın yerini almasıdır. Bundan dolayı görüntüyü işleyebilmesi gerekmektedir. Gezgin robotlarda görüntü işleme konusu kendine literatürde oldukça geniş bir yer bulmuştur.

Jin-Woo Lee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada gezgin robotun dönme açısını bulan sistem, üzerinde bulunan kameradan aldığı bilgiyi işleyerek dönme açısına ve dönme hızına karar vermektedir. Bulunan bu değerler bir PID denetleyicisinden geçirilerek sisteme uygulanmaktadır. Bu şekilde sistem yere çizilmiş beyaz bir çizginin kıvrılma oranlarına bakarak robotun dönüş manevralarını yapmaktadır (Len et.al, 2001)

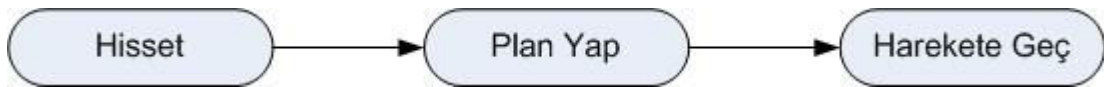
Heiko Frohn çalışmasında endüstriyel ortamlar için VISOCAR adını verdiği bir araç görüntü ile hareket sağlayan bir sistem yerleştirmiştir. Bu sistem sıcaklık ve ışık şiddetine karşı gürbüz ve yüksek örnekleme zamanına sahiptir. Ayrıca işlem yükü bakımından kısıtlı işlem hızına sahip bilgisayarlar için de uygundur. Kameradan alınan görüntü bilgisi ile aracın otonom olarak hareket etmesi sağlanmıştır (Frohn and Seelen, 1989)

Ricardo Carelli ve arkadaşlarının çalışmasında ise gezgin robotların koridorda seyrüseferini kamera yardımı ile yapması hedeflenmiştir. Çalışmada iki adet denetleyiciden söz edilmektedir. Bunlardan ilki optik akışı belirlerken, ikinci denetleyici ise koridorun perspektif çizgilerini hesaplamaktadır. Her iki denetleyici de robotun koridorda seyrüseferini gerçekleştirecek hız bileşenini üretmektedir. İki denetleyiciden alınan bilgiler Kalman filtresinden geçirilerek birleştirilmekte ve ortaya gürbüz bir seyrüsefer parametresi çıkmaktadır. Yapılan deneylerde gezgin robotun koridorda duvarlara çarpmadan hareket ettiği gözlenmiştir (Carelli et al., 2002).

2.2.6. Planlı Seyrüsefer

Planlı seyrüseferde robot algılayıcıları yardımıyla sürekli olarak çevreden bilgi toplar, alınan verileri değerlendirerek bir plan oluşturur ve bu oluşan plana göre hareket eder. Ortamda ya da robotun koşullarında, bir değişiklik olduğunda örneğin pozisyon bilgisinin değişmesi sistem yeniden tüm çevreyi algılamalı ve mevcut durum için yeni bir plan elde etmesi gereklidir. Bu planlamayı gerçek zamanda yapması gerekliliğinin sisteme oldukça büyük bir iş yükü getireceği gözden kaçırılmamalıdır. Planlı seyrüsefer dinamik ortamda gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olmayan bir sistemdir (Xiaochuan, 2004).

Planlı seyrüseferi oluşturan üç aşama vardır:



Şekil 2.4. Planlı Seyrüsefer Şeması

Sarangi P. Parikh ve arkadaşları tarafından yapılan uygulamada planlı seyrüsefer metodu yürüme engelliler için tasarlanan tekerlekli sandalyenin hareketlerinin planlanmasında kullanılmıştır. Hareket planlaması sırasında sandalyede oturan kişi gidilecek noktaları sisteme girerek en üst seviyedeki planı oluşturmuş olur ve oluşturulan plan çerçevesinde tekerlekli sandalye hareket eder. Beklenmedik durumlarda, örneğin tekerlekli sandalyenin önüne aniden bir cisim çıkması halinde çarpışmanın gerçekleşmemesi için tepkisel olarak çalışan bazı fonksiyonlar en alt seviyede hazır bulunurlar (Parikh et al., 2004)

2.2.7. Tepkisel Seyrüsefer

Tepkisel seyrüsefer ilk kez Brooks tarafından ortaya atılan kapsama kontrol mimarisine dayandırılarak ortaya atılmıştır (Xiaochuan, 2004). Robot çevreden aldığı her etkiye plan yapmadan bir tepki üretmektedir. Plan yapmaması tepkinin oluşma zamanını oldukça hızlandırmıştır. Bu mekanizmayı insanda refleks olarak yapılan kas hareketlerine benzetebiliriz. Tepkisel seyrüsefer 1992 yılından 1998 yılına kadar oldukça yoğun kullanılmıştır (Muphy, 2000).

Tepkisel seyrüseferde ise iki aşama vardır:



Şekil 2.5. Tepkisel Planlama

Bu yöntem sisteme işlem yoğunluğu bakımından oldukça avantaj getirirken karmaşık görevlerde yetersiz kalabilmektedir.

Kai-Tai Song ve Charles C. Chang tarafından yapılan çalışmada yapısal olmayan dinamik bir ortamda gezgin robot için tepkisel seyrüsefer metodu önerilmiştir. Gezgin robotun hareketi sırasında karşılaşılabileceği engeller için kamera ve ultrasonik algılayıcılar tarafından ortamdaki bilgi alınmakta ve bu alınan bilgiler çevrimdışı olarak eğitilmiş olan

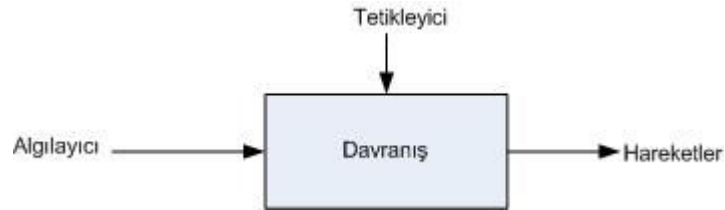
sinir ağı sitemine girdi olarak verilmektedir. Sinir ağının çıktısı da sisteme verilerek eğer ortamda bir engel var ise ondan kaçınacak Şekilde ıktı üretmesi sağlanır. Yapılan deney ve testlerde yöntemin çalıŐtıđı gözlenmiştir (Song and Chang, 1999).

2.3. Kontrol Tipleri

Gezgin robot verilen görevi yerine getirebilmek için mutlaka planlama yapmak zorundadır. Literatürde planlama tiplerine bakıldığında; davranış tabanlı, genetik algoritma tabanlı, bulanık mantık tabanlı neuro-fuzzy tabanlı kontrol algoritmalarını görülmektedir.

2.3.1 Davranış Tabanlı Kontrol

Davranış tabanlı kontrol aslında bir çeşit tepkisel planlamadır (Xiaochuan, 2004). şekil 2.6'da görüleceği gibi sisteme bir girdi verilir. Eğer davranışın tetikleyicisi de ortamda bulunuyor ise çıktı olarak bir dizi hareket üretilir. Örneğin aç olan bir çocuğun annesini gördüğünde açlığını annesine belli etmek için yaptığı hareketler gibi.



Şekil 2.6. Davranış Temelli Kontrol Yapısı

Sistemin çıktısı olan hareketler engellerden kaçın, duvar takip et, nesneyi tut, nesneyi bırak, ortamda ara gibi basit davranışlar olabilir. Ancak bu basit davranışları bir araya getirerek oldukça karmaşık davranışlar oluşturmak da mümkündür. Temelinde tepkisel bir yöntem olduğu için oldukça hızlı sonuçlar vermektedir.

Angkul Kongmunvattana ve Prabhas Chongstitvatana tarafından yapılan çalışmada kapsama mimarisi ile FPGA (Field Programmable Gate Array) aracı birleştirilmiştir. Çalışmada FPGA olarak Xling firması tarafından üretilen 4003 kodlu yonga kullanılmıştır. Çalışmada gerçekleştirmeye çalışılan senaryo canlılarda görünen yemek arama ve eve dönme davranışlarıdır. Çalışmanın öne çıkan kısmı bu davranışları gerçekleştiren devrenin tasarlanıp uygulamaya konulmasıdır (Kongmunvattana and Chongstitvatana, 1998).

Gordon Cheng ve Alexander Zelinsky tarafından yapılan çalışmada davranış tabanlı hedefe yönelik ve görsel seyrüseferin kullanıldığı bir sistem önerilmiştir. Sistemde öne çıkan özellikler görüntü algoritmasının gerçek zamanlı oluşu ve robotun davranışların birbirleri ile olan çakışmalarından doğan sorunları çözmesini öğrenebilmesidir. Örneğin hedefe yönelme ve engelden kaçma davranışlarının birbirleri ile çakışması. Önerilen bu çözüm Yamabico isimli robot üzerinde uygulanmıştır (Cheng and Zelinsky, 1998)

David Jung ve Alexander Zelinsky tarafından yapılan çalışmada yapı olarak basit bir gezgin robotun bina içerisinde dolaşması için Davranış Tabanlı Ajanlar için Mimari (The Architecture for Behaviour Based Agents) adında bir yapı önermişlerdir. Gezgin robotun üzerinde karmaşık algılayıcılar yerine kedi bıyığı olarak adlandırılan mikro şaltere (microswitch) bağlı tel, algılayıcı olarak kullanılmıştır. Gezgin robot duvara yaklaştığında kedi bıyıkları kıvrılacak bu kıvrılma şalterin açık konumdan kapalı konuma geçmesini sağlayarak robotun duvardan uzaklaşma davranışını tetikleyecektir. Bu sayede gezgin robotun duvara çarpmadan bina içerisinde dolaşması mümkün olacaktır (Jung and Zelinsky, 1996)

2.3.2. Genetik Algoritma Tabanlı Kontrol

Genetik algoritmalar adını Darwin'in evrim teorisinden alır. Bu teoriye göre popülasyonu oluşturan bireylerden sadece iyi olanlar bir diğer popülasyona aktarılır bu aktarılma sırasında popülasyonun amacına uygun olmayan bireyler elenir ve popülasyonun amacına uygun olan iyi bireyler bir sonraki nesle aktarılırlar. Bu aktarım sırasında geriye hep en iyi sonuçlar kalacağı için bunun mobil robotlar konusuna yansması her bir iterasyon, nesil, sonucunda geriye problemimizin daha iyi çözümü elimizde kalır bir süre sonra çözüm daha fazla iyileşmez ve bu değer çözüm olarak kabul edebiliriz. Ancak bu yöntem iteratif bir yöntem olduğundan çözüm hem en iyi çözüm olmayabilir hem de gerçek zamanlı uygulamalarda yavaş kalabilir. Bu yüzden literatürde genetik algoritmalar ve gezgin robotla ilgili çalışmalar daha çok rota planlama problemlerine çözüm getirir şeklindedir.

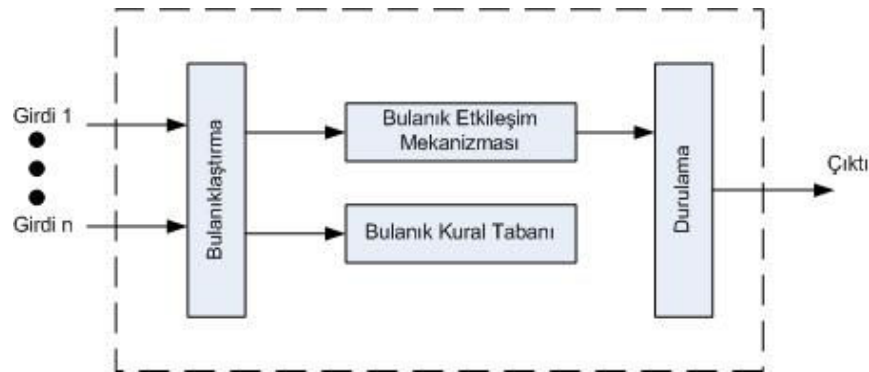
Shuhua Liu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada genetik algorithmada kullanılan operatörlerde iyileştirme yaparak, çoklu robot sistemleri için rota çıkarma problemine çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre robot sisteminin gerçek zaman isteklerini geliştirilen iyileştirilmiş genetik algoritma operatörleri karşılamaktadır. Çalışmada simülatör üzerinde bulunan sonuçların gelecekte gerçek çoklu robot sistemleri üzerinde de kullanılmasının planlandığı eklenmiştir (Liu et al. ,2004)

Yanrong Hu ve Simon X. Yang tarafından yapılan çalışmada genetik algoritma metodunu kullanarak rota planlama problemi çözülmeye çalışılmıştır. Önerilen yöntem hem durağan hem de dinamik ortamlarda gezgin robotlar için optimum ya da optimuma yakın rotalar bulabilmektedir (Yanrong and Yang, 2004) .

2.3.3 Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol

Bulanık mantık ilk kez 1965 yılında DR. Lofti A. Zadeh'in yazdığı bir makalede ortaya konulmuştur (Bakla, 2005). Boolean mantığa göre bir olgu var ya da yok olabilir örneğin bir renk ya siyahtır ya da beyaz. Arada olan tonları bir çözüm olarak kabul etmez. Bulanık mantıkta ise çözüm siyah ve beyaz arasındaki tonlar şeklindedir.

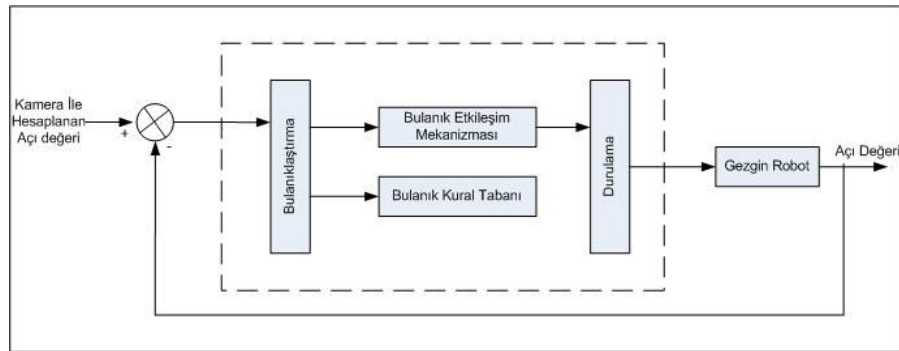
Bulanık mantık çözümlerini Eğer- O Zaman kural cümleciklerine göre çözer. Bulanık mantığın blok diyagramı şekil 2.7 deki gibidir (Xiaochuan, 2004).



Şekil 2.7. Bulanık Mantık Blok Diyagramı

Tzoo-Hseng S. Li ve arkadaşları tarafından çalışmada kızıl ötesi algılayıcılar kullanarak iki robot için bulanık mantık temelli hedef takip sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada hedef takip sistemine ek olarak aynı kontrol mekanizmasının içerisine engellerden kaçınma davranışının eklenmesi çalışmayı ilginç kılmıştır. Kontrol mekanizması üzerine yapılan gerçek zamanlı deneyler ve simülasyonlar kontrol fonksiyonunun doğruluğunu göstermiştir (Li et al., 2004).

Simon X. Yang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada davranış temelli yapay zekâya sahip gezgin robotun yönlenme (direksiyon) açısının hesaplamasında bulanık mantık kullanmışlardır. Şekil 2.8’de çalışmadaki bulanık kontrol bloğunun diyagramı görülebilir. (Yang et al., 2004)



Şekil 2.8. Bulanık Kontrol Bloğu

Ivan N. da Silva ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada gezgin robotun bilinmeyen bir bölgede seyrüseferi sırasında hız ve dönme açısı parametrelerinin bulanık kontrol tarafından karar verildiği bir yapı önerilmiştir. Bulanık kontrol bloğu girdi olarak çeşitli algılayıcı bilgilerini alır, ve çıktı olarak yukarıda da sözedilen hız ve dönme açı değerlerini verir (Da Silva et al., 1998)

2.3.4. Neuro-Fuzzy Tabanlı Kontrol

Problem çözümlerinde, bulanık mantık ve yapay sinir ağı metotlarının birleşmesinden ortaya çıkmıştır. Bu melez yöntem her iki metodun da avantajlarına sahiptir.

Khoshnejad, M ve Demirli, K tarafından yapılan çalışmada otomobil modeline benzer bir yapıda olan gezgin robotun kinematik denklemleri çıkarılmış ve bu denklemler kullanılan Neuro-Fuzzy kontrol metodu ile robotun istenilen bölgeye park etmesi sağlanmıştır. Tasarlanan kontrolör ile yapılan simülasyonlarda gerçek araba boyutundaki bir gezgin robotun da başarı ile park ettiği gözlemlenmiştir. (Khoshnejad and Demirli, 2005)

Bölüm 3

KULLANILAN SİSTEM ve UYGULAMA

3.1 Görüntü İşleme Mimarisi

Bu çalışmada mobil robotun (robotların) ortama yerleştirilmiş bir kamera sayesinde takip edilmesi, ortamda gidilmesi istenen noktaların bulunarak gezgin robotun bu noktaları dışarıdan müdahale olmadan dolaşması amaçlanıp gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme fonksiyonları yazılırken, göz önünde tutulan ölçütler, görüntüyü işleme zamanını mümkün olduğunca kısa tutmak ve gerektiğinde diğer bir program içerisine kolaylıkla entegre edilebilir olmasıdır. Bu çalışmada görüntü işleme yöntemlerini geliştirmek için OpenCV görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır (<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>, 2006). OpenCV Intel firması tarafından, resim ve görüntü işlemek için oluşturulmuş açık kaynak kodlu bir kütüphanedir. OpenCV kütüphanesi C programlama dili ile yazılmıştır. Açık kaynak kodlu olduğu için internetten ücretsiz olarak temin edilebilir

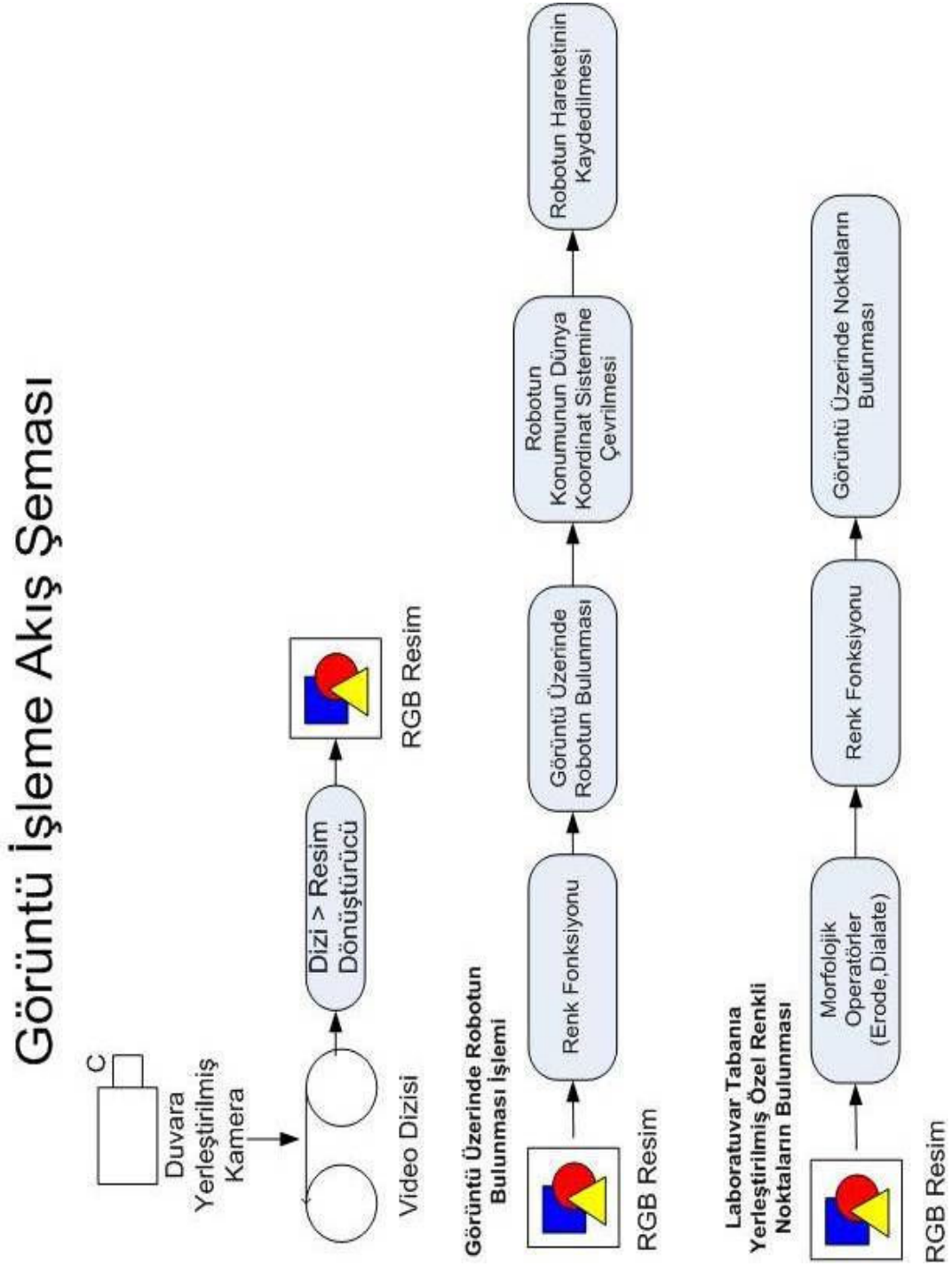
Görüntü işleme algoritmaları şekil 3.1 'de görüldüğü gibi geliştirilecek olursa, kamera ile alınan görüntü girdi olarak fonksiyona uygulanmaktadır. Fonksiyon içerisinde yazılan algoritmaya göre fonksiyondan dönen bilgi renk bilgisi, uzaklık bilgisi, konum bilgisi vb. olabilmektedir.



Şekil3.1 Görüntü İşleme Fonksiyonlarının Blok Şeması

3.1.1. Çalışmanın Görüntü İşleme Kısımında Kullanılan Uygulama

Uygulamanın görüntü işleme kısmının blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.2 Uygulamanın Blok Diyagramı

3.1.2. Dizi Resim Dönüştürücü

Uygulamanın kamera ya da bir video kaynağından alınan resim dizisindeki her çerçeveyi resme çeviren bileşenidir. Dizi resim dönüştürücü video dizisinin sahip olduğu çerçeve hızına uygun olarak video dizisi üzerinde örnekler almaktadır (Aksoy,2005).



Şekil 3.3 Dizi Resim Dönüştürücünden Elde Edilen RGB resim

3.1.3. Renk Fonksiyonu

Uygulamada alınan görüntüde robotun üzerine yerleştirilmiş renkli nesneyi bulan program parçacıdır. Burada robotun üzerine yerleştirilmiş çeşitli renklerde olan kutuları aşağıdaki eşikleme fonksiyonuna göre bulur.

Yeşil kutu için belirlenen renk aralıkları aşağıdaki gibidir:

- Kırmızı Bileşeni < 75 && Yeşil Bileşeni > 120 && Mavi Bileşeni < 100

Burada kameranın lensinden ve ortama konulan kutunun renginin tam yeşil, RGB renk paletinde (0,255,0)'a denk gelmemesi nedeniyle yukarıdaki gibi bir renk aralığı verilmek zorunda kalınmıştır.

Kırmızı kutu için belirlenen renk aralıkları ise aşağıda verilmiştir.

- Kırmızı Bileşeni >140 && Yeşil Bileşeni < 50 && Mavi Bileşeni < 50

Mavi renk için belirlenen renk aralıkları ise aşağıda verilmiştir.

- Kırmızı Bileşeni < 60 && Yeşil Bileşeni < 80 && Mavi Bileşeni > 120

Yukarıda anlatılan nedenle kırmızı kutunun bulunmasında da bir renk aralığı verilmek zorunda kalınmıştır.

Renk fonksiyon bileşeninin bu şekilde yazılmasındaki amaç daha sonra farklı renklerin takibinde de sadece piksellerin renk bileşenlerinin aralığını vererek takibini sağlamaktır.

3.1.4. Morfolojik Operatörler

Görüntü eşikleme filtresi uygulandığında görüntü üzerinde bulunan istenmeyen küçük piksel adacıkları oluşur ve bu piksel adacıklarının temizlenmesi gerekir. Bu tür temizleme işlemi için morfolojik operatörlerden yararlanır. Genelde morfolojik operatörler ikili (binary) resimlere uygulanabilirken bu algoritmaların gri (grayscale) seviyeli resimler için olan sürümleri de bulunmaktadır. Temel olarak morfolojik operatörler Erode ve Dilate ile tanımlanabilirler (Aksoy,2005). Erode filtresi resmin etrafında bulunan girinti çıkıntıları aşındırırken, dilate filtresi ise resmi biraz daha geniş hale getirerek daha yumuşak hatlara sahip bir resim ortaya çıkmasını sağlar. X ve B , iki boyutlu uzayda sırası ile nesne ve yapısal elemanlar olsunlar. B_x , B 'nin orijini x noktası olacak şekilde dönüşümünü gösterebilir.

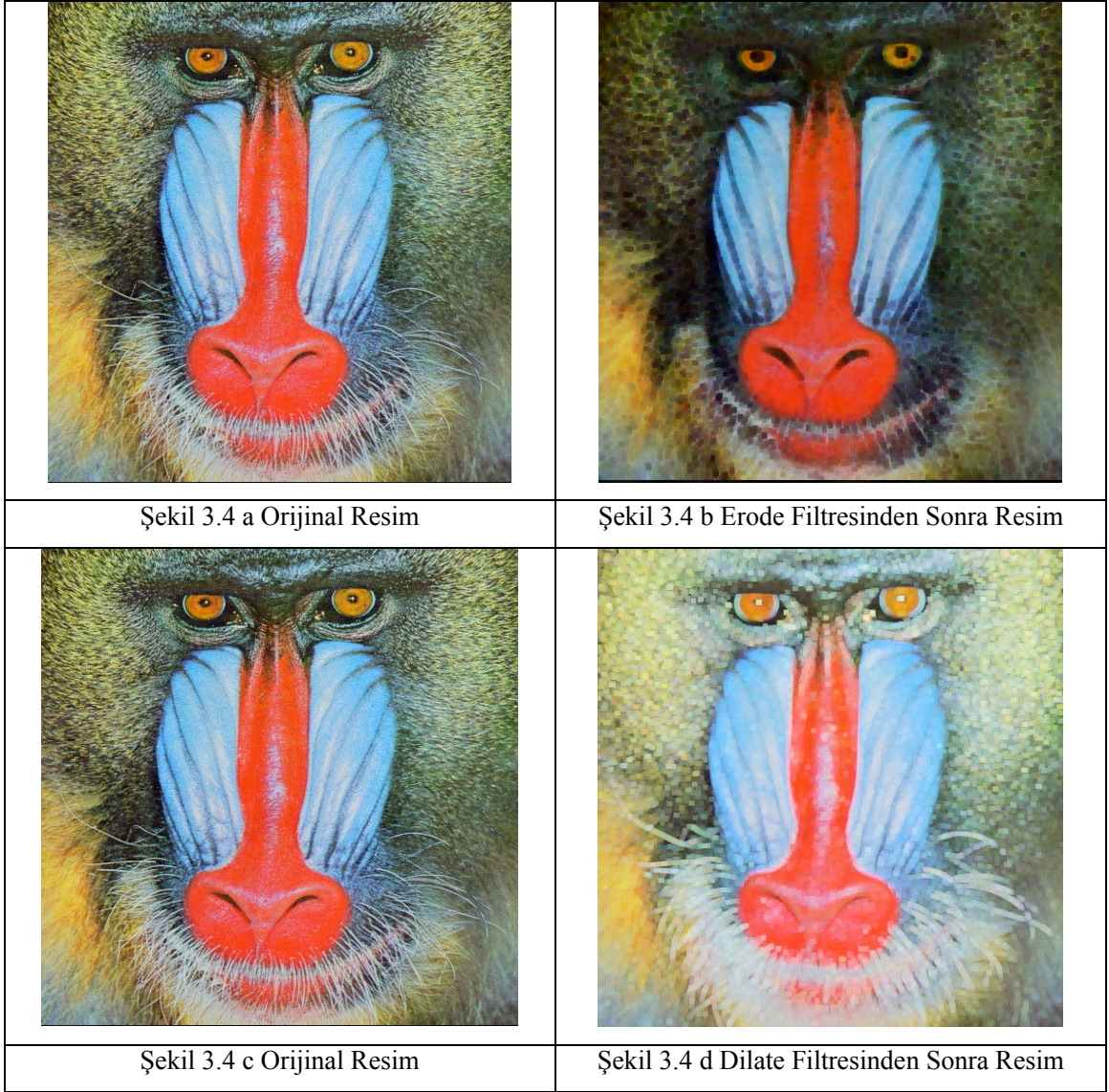
Erode işlemi

$$X \ominus B \equiv \{x \mid B_x \subseteq X\}$$

Dilate işlemi

$$X \oplus B \equiv \{x \mid B_x \cap X \neq \emptyset\}$$

Olarak Gösterilir.



Eğer Erode ve Dilate filtrelerini ardı ardına bir resme uygulanırsa bu işleme Opening ismi verilir (Castleman, 1996). Bu işlem resimde var olan küçük alana sahip objeleri birbirinden ayırırken, daha büyük objelerin de sınırlarının daha yumuşak hatlara sahip olmasını sağlar.

3.1.5. Görüntü Üzerinde Robotun Bulunması

Video kaynağından alınan ve çeşitli işlemlerden geçirilen görüntü robotun konumunun bulunmasına hazırdır. Robotun koordinatının bulunması için resim (0,0)

noktasından başlanarak sağı ve aşağıya doğru taranır. Bu taranma işlemi sırasında yukarıda yazılan “Renk Fonksiyonu” adlı fonksiyonun kriterlerine uyan pikseller kutu içine alınırlar.



Şekil 3.5 Görüntü Üzerinde Robotun Bulunması

3.1.6. Gezgin Robotun Konumunun Dünya Koordinat Sistemine Çevrilmesi

Gezgin robotun konumunun görüntü üzerinde belirlenmesinden sonra, bu piksel değerlerinin gerçek dünyada karşılık gelen koordinata dönüştürülmesi gerekmektedir.

Bu dönüşümü yaparken uygulanması gereken iki temel adım vardır bunlardan ilki kameranın lensinden kaynaklanan geometrik bozulmayı düzeltmek, ikinci adımda ise düzeltilmiş görüntüyü dünya koordinat sistemine göre büyütecek fonksiyonu bulmaktır.

3.1.6.1 Geometrik Bozulmayı Düzelten Fonksiyon

Elimizde R isimli bir resim olsun ve bu resim üzerinde (x, y) koordinatı sahip bir piksel alalım. Bu resim herhangi geometrik bozulmaya tabi tutulsun ve (x, y) noktamız (X, Y) noktasına gitsin. Bu dönüşümü aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

$$X = r(x,y)$$

$$Y = s(x,y)$$

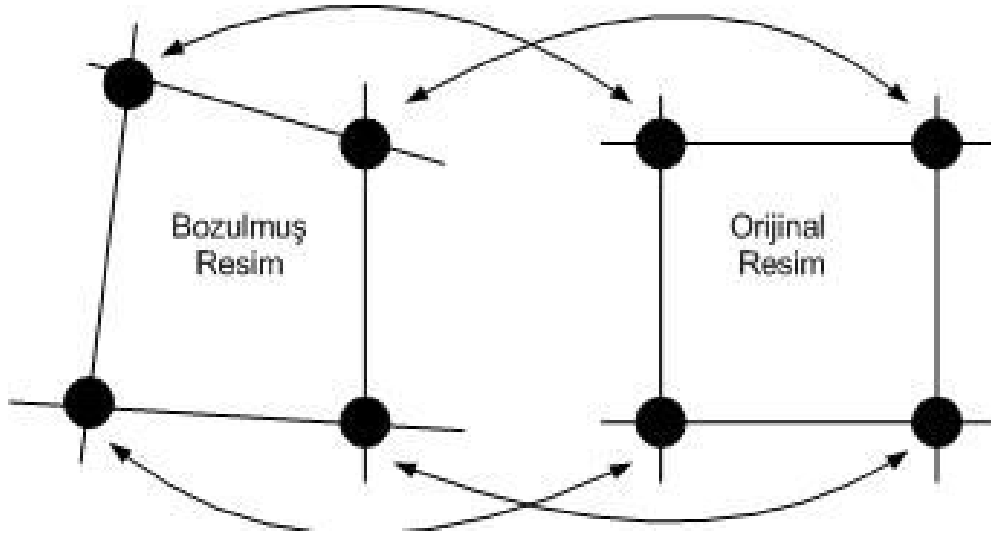
Burada görünen $r(x,y)$ ve $s(x,y)$ fonksiyonları resmi x ve y yönünde dönüştürecek geometrik fonksiyonun bileşenleridir. Örneğin resmin boyunu yarıya indirmek istesek burada kullanacağımız r ve s fonksiyonu $r(x,y) = x/2$, $s(x,y) = y/2$ olmalıdır.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Başka bir örnek olarak resmi $(0,0)$ piksel noktasına göre θ açısı kadar döndürmek için $r(x,y) = x \cdot \cos \theta - y \cdot \sin \theta$, $s(x,y) = x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta$ olmalıydı ve bu fonksiyonlarında matris gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Burada eğer bozulmalar analitik olarak biliniyorsa örneğin dönme veya resmin küçülmesi gibi, bozuk olan resimden bozulmamış resmi elde etmek oldukça kolaydır. Ancak bu gibi fonksiyonların bilinemediği hallerde düğüm noktaları metodunu kullanarak bu dönüşümler kolaylıkla bulunabilir.



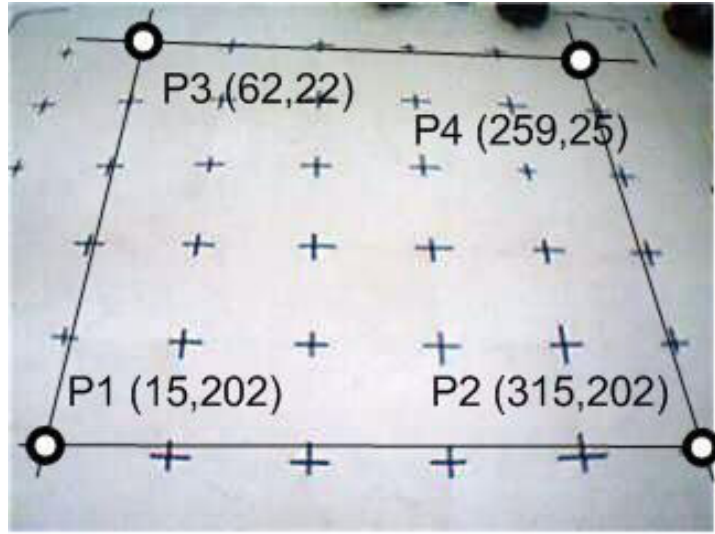
Şekil 3.6 Düğüm Noktalar Metodu

Yukarıda siyah nokta olarak gösterilen noktalar düğüm noktalar olarak adlandırılırlar. Resmin sol tarafında herhangi bir gürültüye (lens bozulması gibi) maruz kalmış resmi, sağ taraftaki resim ise elde edilmeye çalışılan düzgün doğrusal resmi göstermektedir. Bu tür bozulmalar ikili doğrusal (bilinear) denklemler şeklinde modellenebilir.

$$r(x,y) = c_1x + c_2y + c_3xy + c_4$$

$$s(x,y) = c_5x + c_6y + c_7xy + c_8$$

Burada sekiz adet bilinmeyen $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$ ve dört adet düğüm noktası bulunmaktadır. Bu dört nokta, her biri x ve y olmak üzere iki bileşene sahip olduğundan toplam sekiz bilinmeyen ve sekiz tane de nokta bulunmaktadır. Bu sekiz bilinmeyen ve sekiz adet noktayı kullanarak aşağıdaki matrisi elde edilebilir.



Şekil 3.7 Seçilen Düğüm Noktaları

Sistemin çözümü için seçilen düğüm noktaları ve koordinatları şekil 3.7 de görülebilir. Bu şekle göre:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \\ X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & x_1 y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & x_2 y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & x_3 y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & x_3 y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & x_4 y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & x_4 y_4 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \end{bmatrix}$$

Bu matrise göre

$$[XY] = [M][c]$$

$$\begin{bmatrix} 15 \\ 209 \\ 315 \\ 209 \\ 15 \\ 19 \\ 315 \\ 19 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 & 202 & 3030 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 202 & 3030 & 1 \\ 315 & 202 & 63630 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 315 & 202 & 63630 & 1 \\ 62 & 22 & 1364 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 62 & 22 & 1364 & 1 \\ 259 & 25 & 6475 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 259 & 25 & 6475 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \end{bmatrix}$$

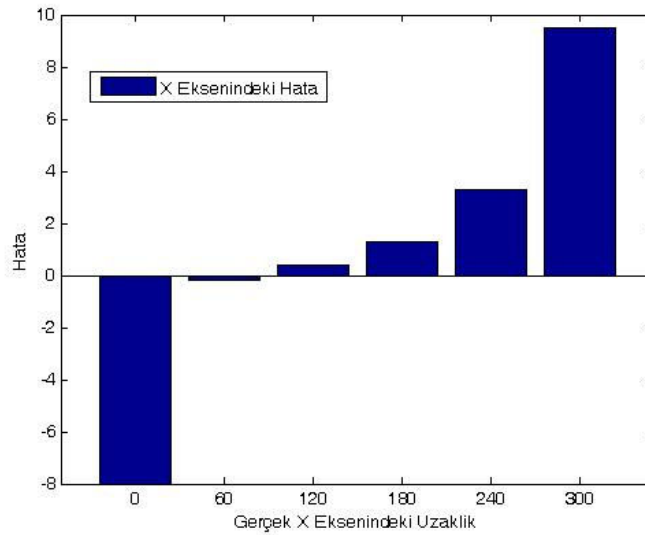
$$x=2.356e-006*x_p^3-0.0010243*x_p^2+1.0363*x_p-6.2599$$

$$y=-1.0666e-005*y_p^3+0.0071644*y_p^2-2.6797*y_p+343.31$$

Aşağıdaki tablo ve çizimlerde ölçülen değer ve gerçek değer arasındaki fark gösterilmeye çalışılmıştır.

Gerçek X Koordinatı	Hesaplanan X Koordinatı	X Koordinatındaki Hata
0	8	-8
60	60,2	-0,2
120	119,6	0,4
180	178,7	1,3
240	236,71	3,29
300	290,51	9,49

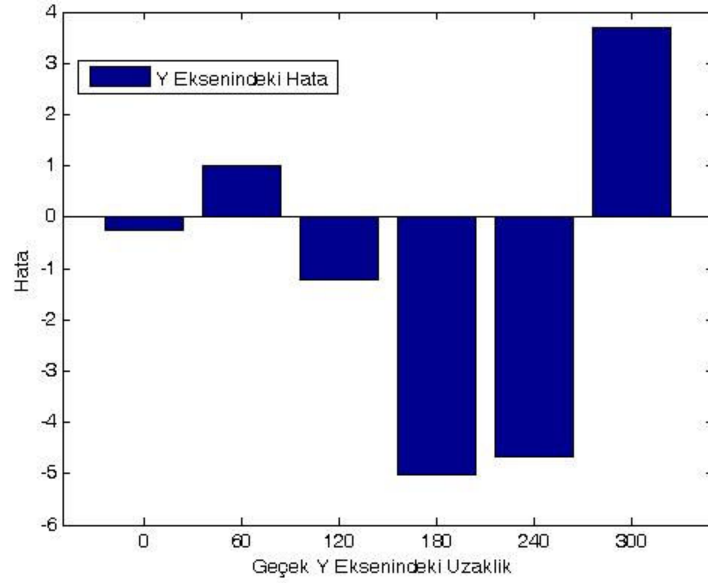
Tablo 1 X Koordinatındaki Alınan Ölçüm



Şekil 3.9 Gerçek X Eksenindeki Hata

Gerçek Y Koordinatı	Hesaplanan Y Koordinatı	Y Koordinatındaki Hata
0	0,2665	-0,2665
60	59,01	0,99
120	121,23	-1,23
180	185,03	-5,03
240	244,67	-4,67
300	296,32	3,68

Tablo 2 Y Koordinatındaki Alınan Ölçüm



Şekil 3.10 Gerçek Y Eksenindeki Hata

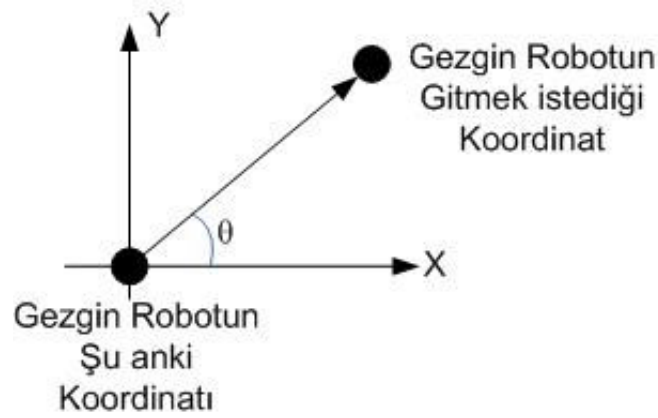


Şekil 3.11 Gezgin Robot için Hareket Alanı

3.2. Robotun $P_1(x,y)$ Noktasından $P_2(x,y)$ Noktasına Götürülmesi

Gezgin robotun bir noktadan bir noktaya götürülmesi problemi vektör tanımına benzer yöntem ile çözülmüştür. Bir vektörü tanımlaya bilmek için bir başlangıç ve bitiş noktasına ihtiyaç vardır. Aynı yaklaşım ile gezgin robotun o an bulunduğu nokta vektörün başlangıcına ve robotun gitmek istediği noktada bu vektörün bitişine benzetilmiştir. Şekil

3.12.'de de görüldüğü gibi gezgin robotun yönlenme açısı da bu iki noktadan oluşan vektörün x eksenini ile yaptığı açı olarak alınmıştır. Ve hesaplanan açı değeri Aria işletim sisteminin komutlarını kullanarak robota girilmiş ve robotun bir yerden bir yere hareket etmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.12. Gezgin Robot için Hareket Vektörü

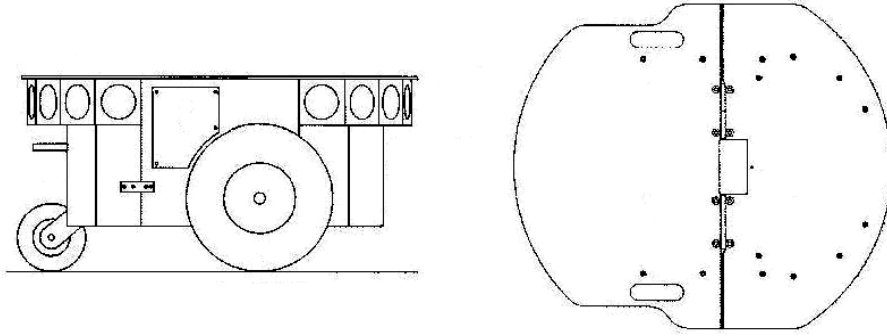
3.3. Çalışmada Kullanılan Gezgin Robot

Tez çalışmaları sırasında kullanılan robot ActiveMedia Robotics firması tarafından geliştirilen Pioneer 3-DX gezgin robotudur. Robotun boyutları 44cm x 38cm x 22cm olup alüminyum gövdeye sahiptir. Gezgin robotun hareket edebilmesi için, motorlara bağlı robotun ön kısmına monte edilmiş çapı 16,5 cm olan 2 adet ve çapı 6 cm olan bir adet sarhoş tekerleği vardır.

Pioneer 3-DX gezgin robotunun maksimum ulaşabileceği hız 1.6 mps'dir. Gezgin robotun hareketini sağlayan iki adet motor bulunmaktadır. Bu motorların bağlı olduğu iki adet 38.3:1 dişli oranına sahip olan dişli kutuları bulunmaktadır. Ayrıca robotun kendi konumunu belirlemesi için konum bilgisini oluşturan 500-delikli enkoder bulunmaktadır ([http:// www.activmedia.com](http://www.activmedia.com),2006). Gezgin robotun görünümü şekil 3.13 'de görülmektedir.



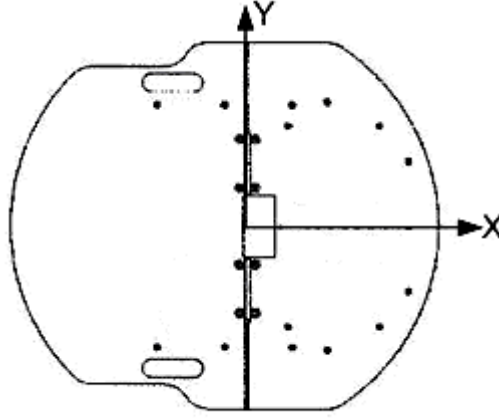
Şekil 3.13 Pioneer 3-DX Gezgin Robotu



Şekil 3.14. Pioneer 3-DX Gezgin Robotu Teknik Çizimi

Gezgin robotun enerji ihtiyacını karşılamak için robotun içine monte edilmiş üç adet akü bulunmaktadır. Ayrıca robotun üzerinde bir adet PTZ kamera, elektronik pusula ve sekizi robotun ön kısmında ve sekiz tanesi de robotun arka kısmına monte edilmiş sonar algılayıcı bulunmaktadır. Gezgin robotun programlanmasında ActiveMedia Robotics tarafından yazılan C ++ temelli bir kütüphane “ARIA” kullanılmıştır. Bu kütüphane en alt derecedeki fonksiyonlardan, pozisyon bilgisi, üst düzey fonksiyonlara, rasgele dolaşma hareketine kadar birçok komutu içerisinde barındırır.

Gezgin robotun referans aldığı koordinat sistemi şekil 3.15’da görülebilir.



Şekil 3.15 Gezgin Robot Koordinat Sistemi

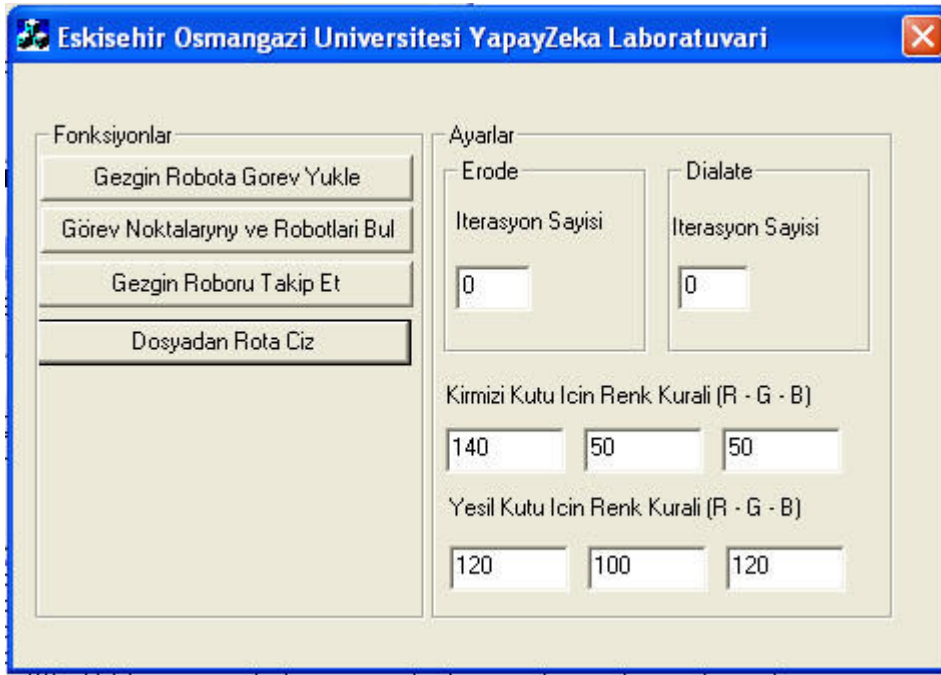
3.4. Geliştirme Ortamı

Bu çalışmanın en önemli özelliklerinden biri de uygulamanın gerçek zamanlı çalışabilmesidir. Bu ister kalemını karşılması için uygulama geliştirilmesinde C++ programlama dili kullanılmıştır. Uygulama görsel öğeleri de içerdiğinden Microsoft Foundation Classes (MFC) türündedir. Uygulama Windows işletim sisteminin koşulduğu bilgisayarlarda çalışmaktadır.

Uygulamanın görüntü işleme kısmında Intel firması tarafından geliştirilen OpenCV isimli görüntü işleme kütüphanesi kullanılmıştır. OpenCV kütüphanesini kullanarak video ve resim kaynaklarına ulaşma, çeşitli değişkenlere değiştirme metotları Erode ve Dilate işlemleri için gerekli olan metotlar kullanılmış diğer gerekli olan metotlar yazılmıştır. Gerekli metotların kütüphane içerisinden kullanılma sebebi geliştirilen kütüphanenin “.dll” biçiminde derlenmiş olmaları nedeni ile uygulama içerisinde yazılacak metotlara göre daha iyi performans sergilemesidir (Aksoy, 2005).

3.5. Kullanıcı Ara Yüzleri

Ana bilgisayar üzerindeki program çalıştırıldığında şekil 3.16'da görünen ekran karşımıza çıkar. Bu program yardımı ile kullanıcı robota görev yükleyebilir, kamera ile gezgin robotun hareketlerini kayıt edebilir, daha önceden kaydedilmiş hareketlerin ekrana çizdirebilir.



Şekil 3.16. Uygulamanın Ana Ekranı

3.5.1. Temel Fonksiyonlar



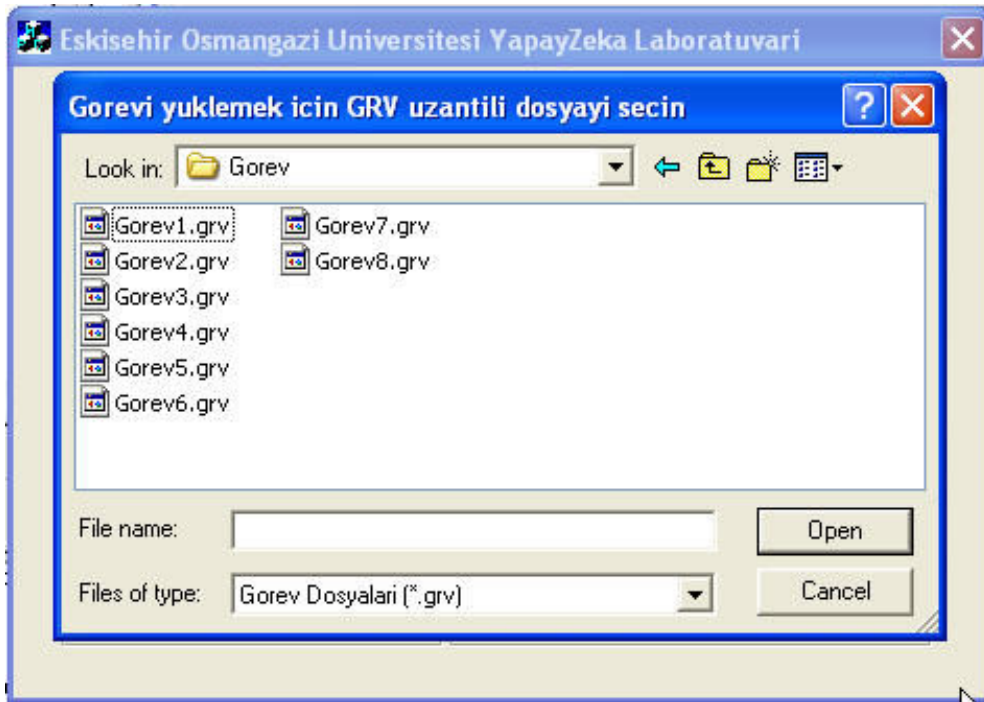
Şekil 3.17 Temel Fonksiyonlar

Şekil 3.17'de görünen ekran sayesinde

- Gezgin robota görev yüklenebilir
- Kamera yardımı ile gezgin robot ortamda takip edilebilir
- Daha önceden kaydedilmiş rota ekrana çizdirilebilir.

3.5.1.1. Gezgin Robota Görev Yükleme

Gezgin robota gideceği koordinatları belirtmek için programda “Gezgin Robota Görev Yükle” butonunu kullanırız. Butona tıkladığımızda aşağıda görülen pencere açılır bu pencereden uzantısı GRV olan dosyayı seçtiğimizde gidilecek koordinatları sisteme yüklemiş oluruz. GRV dosyası aslında özel formatlı metin tabanlı bir dosya biçimidir. İçerisinde birbirinden “,” ile ayrılmış sayılar bulunmaktadır. İlk sayı gezgin robotun kaç adet noktayı ziyaret edeceğini ve kalan sayılar ise ziyaret edilecek noktaların x,y düzlemindeki gerçek değerlerini barındırır.



Şekil 3.18 Görev Yükleme Ekranı

3.5.1.2. Görev Noktalarını ve Robotları Bulma

Gezgin robota bir görev yükleyebilmek için ortamda bulunan gezgin robotların ve ziyaret edilmesi planlanan noktaların ortamdaki çıkarılması gerekmektedir. “Görev Noktalarını ve Robotları Bul” tuşunu kullanarak ortamdaki görev noktalarını ve gezgin robotların pozisyonlarını tavana yerleştirilmiş kamera yardımı ile otomatik olarak bulabiliriz. Ortamda kırmızı renk birinci robotu, yeşil renk ikinci robotu ve mavi renkli kartonlar ziyaret edilecek noktaları göstermektedir.



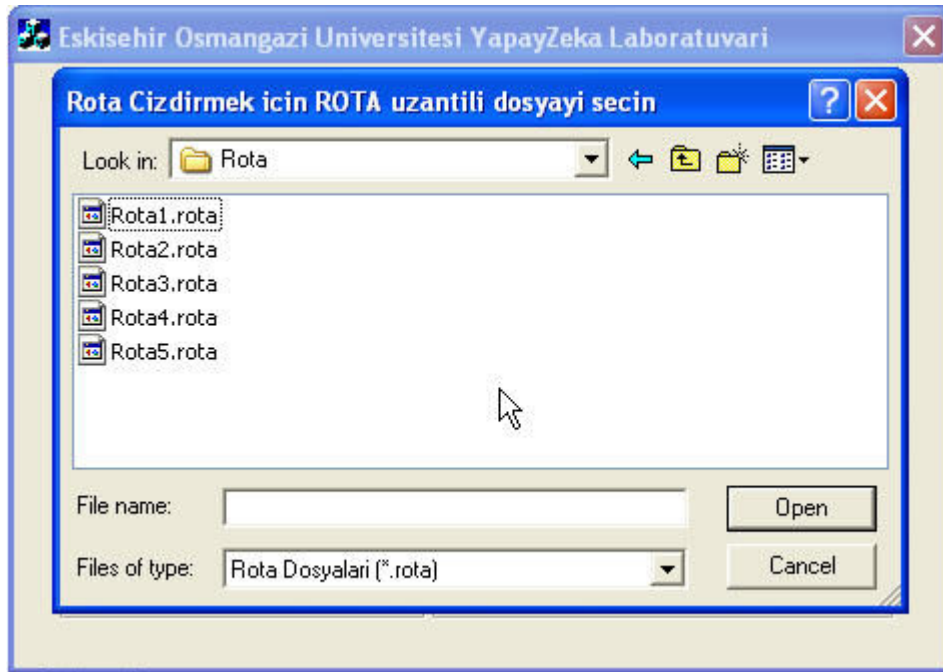
Şekil 3.19. Ortamda Bulunan Gezgin Robotların ve Görev Noktalarının Bulunması

3.5.1.3. Robotu Takip Etme

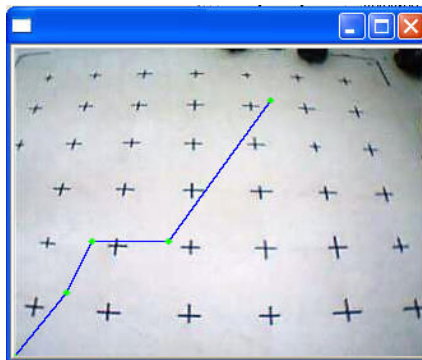
Gezgin robotun yaptığı hareketleri kaydetmek için “Gezgin Robotu Takip Et” butonu kullanılır. Bu butona tıklanıldığı takdirde deney ortamının tavanına yerleştirilmiş kameradan alınan görüntü üzerinde gezgin robot bulunur ve metin tabanlı ROTA uzantılı dosyaya kaydedilir.

3.5.1.4. Kaydedilen Rotanın Çizilmesi

Gezgin robot kamera tarafından takip edilirken alınan değerler otomatik olarak ROTA uzantılı bir dosyaya kaydedilir. Daha Sonra kaydedilen bu rotaları ekrana çizdirmek için “Dosyadan Rota Çiz” butonu kullanılır. Bu butona tıklanıldığı takdirde Aşağıdaki ekran açılacak ve bizden çizdirilecek rota dosyasının seçilmesini isteyecektir. Dosya Seçildikten sonra şekil 3.20.’da görünen rota çizimini oluşturacaktır.



Şekil 3.20. Rota Çizdirme Ekranı



Şekil 3.21. Önceden Kaydedilen Rotanın Çizdirilmesi

3.5.2. Ayarlar Fonksiyonlar

Programın ayar menüsüne geldiğimizde sistemde takip edilmesi için su an iki adet renk tanımlıdır. Kullanıcı bu iki rengin kırmızı yeşil mavi değerlerini değiştirerek bu renklerin sistemde takip edilmelerini sağlayabilir. Ekranda görünen renk aralıkları kırmızı ve yeşil renk için olan değerlerdir.

Kırmızı Kutu İçin Renk Kuralı (R - G - B)		
140	50	50
Yeşil Kutu İçin Renk Kuralı (R - G - B)		
120	100	120

Şekil 3.22. Takip edilecek renklerin değerleri

Son olarak kullanıcı aşağıdaki ekranı kullanarak programda kullanılan Erode ve Dilate fonksiyonlarının kaç kere yapılacağını belirleyebilir.

Erode	Dilate
İterasyon Sayısı	İterasyon Sayısı
0	0

Şekil 3.23. Erode Dilate Ayarı

Bölüm 4

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasının sonunda hedeflenen amaçlara ulaşılmıştır. Geliştirilen yazılım sistemi sayesinde; gezgin robot istenilen noktalar arasında dolaşabilir, tavana yerleştirilen kamera sayesinde robot ve dolaşılacak istenen noktaları otomatik olarak algılayabilir ve bu algılanan noktaların hangi sırayla dolaşılacağı konusunda planlama yapabilir. Geliştirilen yazılım sayesinde anlık olarak oluşturulmuş ya da daha önceden oluşturulmuş planlar gezgin robota geliştirilen yazılım sayesinde yüklenebilmektedir. Gezgin robota görev atayabilmek için geliştirilen sunucu – istemci mimarisinde çalışan programlar gürbüzlüğü ve programlanabilme esnekliği düşünülerek TCP/IP protokolü üzerine kurgulanmıştır. Bu protokolün kullanımı sayesinde dünya üzerinde gerçek ip

kullanarak internete bağlı herhangi bir bilgisayar ve sunucu yazılımını kullanarak robota görev yüklemek mümkündür.

Geliştirilen görüntü işleme programı sayesinde kullanıcı takip etmek istediği robotların ve gitmesini istediği noktaların renk kodunu girerek uygulamayı çeşitlendirebilir. Görüntü işleme programının uygulanması ve test edilmesi sırasında karşılaşılan en büyük problem kullanılan kameranın ışık şartlarından çok etkilenmesi. Uygulama kırmızı-yeşil-mavi renk paleti üzerine kurulu olduğundan bazı durumlarda kameranın parametrelerini değiştirmek gerekebilmektedir. Görüntü işleme programının çok gürbüz olmayışının bir nedeni de kullanılan kameranın asıl olarak web kamerası olarak bilinen kameranın kullanılmış olmasıdır. Bu tür kameralarda asıl amaç karşı tarafa görüntü kalitesi yüksek resimler yerine kabul edilebilir düşük görüntü kalitesine sahip resimleri hızlı bir şekilde aktarmasıdır. Burada kullanılan kameranın değiştirilmesi ile daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

Geliştirilen uygulama ortamda engel bulunmadığını kabul ederek hareket etmektedir.

Görüntü işleme çalışmasında öne çıkan bir diğer özellik ise uygulamanın tüm işlemlerini gerçek zamanlı olarak yapmasıdır. Uygulama single-thread yazılmıştır. Uygulamanın gezgin robot üzerinde çalışan kısmının toplam çalıştırılma zamanının robotun hayati fonksiyonlarını aksatacak kadar uzun değildir.

Uygulamada ki bir başka kabullenme de gezgin robotları ve yerde ziyaret edilecek noktaları gösteren renklerin, ortamda başka bir obje üzerinde de bulunmadığıdır. Eğer aynı tonlara sahip bir başka nesne de ortama konulur ise uygulamanın görüntü işleme kısmı için gürbüz çalışmadığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aksoy E., 2005, Hareketli nesnelerin görüntü işleme teknikleri ile belirlenmesi, Master Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 53 s.
- Arsenio A., Ribeiro M.I., 1998, Absolute localization of mobile robots using natural landmarks, Electronics, Circuits and Systems, 1998 IEEE International Conference on Volume 2, 483 – 486.
- Bakla B., 2005, Bulanık mantık planlamasıyla robot navigasyonu, Master Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 63 s.
- Borenstein, J., Everett H. R., Feng L., 1996, Where am I?, 173 p.
- Borenstein, J., Everett H. R., Feng L., 1996, Where am I?, 176 p.
- Borenstein, J., Everett H. R., Feng L., 1996, Where am I?, 206 p.
- Carelli, R., Soria C., Nasisi O., Freire E., 2002, Stable AGV corridor navigation with fused vision-based control signals, IECON 02 Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the 2433 - 2438 vol.3
- Castleman, K., R., 1996, Digital image processing, Prentice Hall, New Jersey, 473 p.
- Cheng, G., Zelinsky, A., 1998, Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference 3431 - 3436 vol.4
- Da Silva, I.N., Gomide, F.A.C., Do Amaral, W.C., 1998, Navigation of mobile robots using fuzzy logic controllers, Advanced Motion Control, 1998. AMC '98-Coimbra., 1998 5th International Workshop 346 – 349
- Durieu, C., Clergeot, H., Monteil, F., 1989, Localization of a mobile robot with beacons taking erroneous data into account, Robotics and Automation, 1989. Proceedings., IEEE International Conference, 1062 – 1068

KAYNAKLAR (Devam)

- Frohn, H., von Seelen, W.V., 1989, VISOCAR: an autonomous industrial transport vehicle guided by visual navigation, Robotics and Automation, 1989. Proceedings., 1989 IEEE International Conference 1155 - 1159
- Feng-Ji, Z., Hai-Jiao, G., Abe, K., 1998, Mobile robot localization using two sonar sensors and one natural landmark, SICE '98. Proceedings of the 37th SICE Annual Conference. International Session 893 – 898
- Hu Y., Yang, S.X. ,2004, A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot , Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference 4350 - 4355 Vol.5
- <http://www.sri.com/about/timeline/shakey.html>, 2006
- <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>, 2006
- [http:// www.activmedia.com](http://www.activmedia.com),2006
- Jang, G., Kim, S., Kim, J., Kweon, I., 2005, Metric localization using a single artificial landmark for indoor mobile robots, Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference 2857 – 2862
- Jenkin, M., Milios, E., Jasiobedzk,i P., Bains, N., Tran, K., 1993, Global navigation for ARK., Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, 2165-2171.
- Jung, D., Zelinsky A., 1996, Whisker based mobile robot navigation, IROS 96 497-504
- Khoshnejad, M., Demirli, K., 2005, Autonomous parallel parking of a car-like mobile robot by a neuro-fuzzy behavior-based controller, Fuzzy Information Processing Society, 2005. NAFIPS 2005. Annual Meeting of the North American 814 – 819
- Kleeman, L., 1992, Optimal estimation of position and heading for mobile robots using ultrasonic beacons and dead-reckoning, Robotics and Automation, Proceedings., 1992 IEEE International Conference, 2582 – 2587.

KAYNAKLAR (Devam)

- Kongmunvattana, A., Chongstivatana, P., 1998, A FPGA-based behavioral control system for a mobile robot , Circuits and Systems, IEEE APCCAS 1998. The 1998 IEEE Asia-Pacific Conference 759 – 762
- Kubitz, O., Berger, M.O., Perlick, M., Dumoulin, R., 1997, Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots, Vehicular Technology Conference, 1997 IEEE 47th Volume 1 126 – 130
- Kyucheol, P. , Hakyoun, C. , Jongbin, C. and Tang, G., 1997, Dead reckoning navigation for an autonomous mobile robot using a differential encoder and a gyroscope, ICAR'97
- Lee, J., Choi S., Lee, Y, Lee, K.S., 2001, A study on recognition of road lane and movement of vehicles using vision system, SICE 2001. Proceedings of the 40th SICE Annual Conference. International Session Papers 38 – 41
- Li, T.S., Chang S., Tong W., 2004, Fuzzy target tracking control of autonomous mobile robots by using infrared sensors, Fuzzy Systems, IEEE Transactions 491 – 501
- Liu, S., Tian Y., Liu J., 2004, Multi mobile robot path planning based on genetic algorithm, Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on 4706 - 4709 Vol.5
- Luo, R.C.,Liao, C.T.,Su, K.L., Lin, K.C., 2005, Automatic docking and recharging system for autonomous security robot, Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference 2953 – 2958
- Maosen, W., Hashem, T., Zell, A., 2005, Robot navigation using biosonar for natural landmark tracking, Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2005. CIRA 2005. Proceedings. 2005 IEEE International Symposium 3 – 7.
- Murphy, R., 2000, Ai robotics, MIT Press, London, 8 p.
- Negenborn, R., 2003, Robot localization and Kalman filters on finding your position in a noisy world, M.S. thesis, Utrecht University, P 156.

KAYNAKLAR (Devam)

- Piaggio, M., Sgorbissa, A., Zaccaria, R., 2001, Autonomous navigation and localization in service mobile robotics, Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. IEEE/RSJ International Conference, 2024 – 2029.
- Pantofaru, C., Unnikrishnan, R., Hebert, M., 2003, Toward generating labeled maps from color and range data for robot navigation, Intelligent Robots and Systems, 2003. (IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference 1314 - 1321 vol.2
- Parikh, S.P., Grassi V. Jr., Kumar V., Okamoto J. Jr., 2002, Incorporating user inputs in motion planning for a smart wheelchair, Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference 2043 - 2048 Vol.2
- Rui, A. and Anibal, T. de A., 1999, Learning sensor-based navigation of a real mobile robot in unknown worlds, IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, 29.
- Song, K., Chang, C.C., 1999, Reactive navigation in dynamic environment using a multisensor predictor , Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on Volume 29, 870 – 880
- Souma, Mahmoud, Alhaj A., 2003, Technologies for autonomous navigation in unstructured outdoor environments, PhD Thesis, University of Cincinnati P 239.
- Xiaochuan, W., 2004, Developing reactive controllers for mobile robots navigation in unknown environments using infrared range sensors, M.S. thesis, The University of Guelph P 156.
- Venet, T., Capitaine, T., Hamzaoui, M., Fazzino F., One active beacon for an indoor absolute localization of a mobile vehicle, Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference, 1 – 6.
- Yang, S.X., Li H., Meng, M.Q.-H., Liu, P.X., 2004, An embedded fuzzy controller for a behavior-based mobile robot with guaranteed performance, Fuzzy Systems, IEEE Transactions, 436 – 446

KAYNAKLAR (Devam)

Zhang, P., Milios, E.E.; Gu J., 2005, Underwater robot localization using artificial visual landmarks, Robotics and Biomimetics, 2004. ROBIO 2004. IEEE International Conference 705 – 710