

Farklı Özelliklere Sahip Gezgin Robot  
Grubunun Dağıtık Kontrolü

Metin Özkan

**DOKTORA TEZİ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2007

Distributed Control of Heterogeneous  
Mobile Robots

Metin Özkan

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Electrical Electronics Engineering

August 2007

Farklı Özelliklere Sahip  
Gezgin Robot Grubunun Dağıtık Kontrolü

Metin Özkan

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

Danışman: Doç. Dr. Osman Parlaktuna

Ağustos 2007

Metin Özkan' ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Farklı Özelliklere Sahip Gezgin Robot Grubunun Kontrolü” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Doç. Dr. Osman PARLAKTUNA (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erol SEKE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Buğra KOKU

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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Gezgin robot sistemlerinin kontrolünün gerçekleştirilmesi, zor bir problemidir. Gezgin robotların karmaşık donanımsal yapıları ve devinik fiziksel ortamlarda hareketli olarak bulunmaları nedeniyle ortaya çıkan birçok problemin çözülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Robot kontrol yazılımının, konumlandırma, hareket, çevreyi algılama, planlama ( hareket planlama, rota planlama, görev planlama, v.b ) ve öğrenme gibi farklı alanlarda geliştirilmiş yöntemleri içermesi gerekmektedir. Ayrıca, bu yöntemleri koordine edecek ve tek bir kontrol mekanizması altında toplayacak kontrol mimarilerinin geliştirilmesi kaçınılmazdır. Robotlardan beklenen görevlerin yapılmasında farklı açılardan performansı arttırmak üzere tek robot yerine robot gruplarının kullanılması düşünülmüş ve bu yönde yeni bir araştırma alanı açılmıştır. Robot grupları söz konusu olduğunda, mevcut problemler arasına robotlar arası görüşme ve işbirliği, görev paylaşımı gibi çözüm bekleyen yeni problemler eklenmiştir. Bu çalışmada, robot gruplarına yönelik erkin tabanlı bir kontrol mimarisi önerilmekte ve örnek görevlerin yapılmasıyla gerçekleştirilen uygulamalar ile mimari yapının etkinliği gösterilmektedir. Ayrıca, bir görev paylaşım yaklaşımı önerilmekte ve yapılan uygulamalar ile sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gezgin robotlar, kontrol mimarisi, çoklu erkin sistemleri, çoklu robot sistemleri, çoktörel robotlar

## SUMMARY

Control of mobile robot systems is a challenging problem. There is a need to solve many problems arising from having a complex hardware structure and acting in a dynamical environment. Mobile robot control systems have to include many methods developed in a variety of topics, such as, localization, action, perception of environment, planning (action planning, route planning, task planning, etc.) and learning. As a consequence, mobile robot control architectures have to be developed in order to coordinate these methods. In the last quarter, research activities have begun investigating issues in multi-robot mobile systems by the reason of having advantages more than single robot systems. However, multi-robot mobile systems addressed a wider range of problems, such that, like cooperation, task allocation, communication, etc. In the thesis, an agent based control architecture that includes task allocation methods for multi-robot mobile systems is proposed. Then, a few real world experiments are implemented to show the validity of the proposed scheme.

Keywords : Mobile robots, control architecture, multi-agent systems, multiple robot systems, heterogeneous robots

## TEŞEKKÜR

Akademik çalışma hayatına başladığım günden beri, gerek yüksek lisans ve gerekse doktora çalışmalarım süresince, beni yönlendiren, yüreklendiren ve her türlü çalışma olanaklarımı sağlayan, sahip olduğu bilgi ve tecrübelerinden faydalandıran çok değerli danışmanım Doç. Dr. Osman Parlaktuna' ya teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarımı ilgili olarak, verdikleri faydalı öneriler ve yönlendirici araştırmaları ile sağladıkları katkılardan dolayı, saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Aydın Sipahioğlu ve Yrd. Doç. Dr. Erol Seke' ye teşekkür ederim.

Lisans ve lisanüstü çalışmalarım süresince, benim bu noktaya gelmemde katkısı olan tüm hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım yoğun geçtiği dönemlerde, eve geç saatlerde gittiğimde, tatil dönemlerinde bile çalışmak zorunda kaldığımda, her gittiğimiz yere bilgisayar ve kitaplarımı taşıdığımda hoşgörü gösteren, her zaman desteğini esirgemeyen, hiç bitmeyen sevgisi ile hayatıma mutluluk katan biricik, canım eşim Arzu'ya en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak, doktora çalışmalarımın son yılında hayatımıza katılan, günün bütün yorgunluğunu unutturan, neşe kaynağımız dünya tatlısı kızım İpek'e de teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	v
<b>SUMMARY</b> .....	vi
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	3
1.2 Problemin Tanımı .....	6
1.3 Önerilen Yaklaşım .....	7
1.4 Katkılar .....	7
<b>2. GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Hareket Sistemleri .....	9
2.2 Algılama Sistemleri .....	11
2.3 Robot Kontrol Mimarileri .....	16
2.3.1 Tepkisel (reactive) kontrol .....	18
2.3.2 Bilinçli (deliberative) kontrol .....	22
2.3.3 Melez (hybrid) kontrol .....	25
<b>3. ÇOKLU GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİ</b> .....	<b>28</b>
3.1 Öngörülen Avantajlar .....	28
3.2 Kontrol Sistemlerinden Beklenen Özellikler .....	30
3.3 Yapısal Kontrol Yaklaşımları .....	31
3.3.1 Merkezi / dağıtık kontrol .....	31
3.3.2 Robot ayrışması yaklaşımları .....	32
3.3.3 Haberleşme yapısı yaklaşımları .....	33
3.4 Çoklu Robot Kontrol Yaklaşımları ve Mimarileri .....	36



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
<b>4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM.....</b>	<b>41</b>
4.1 Erkinlerin Tanımı .....	42
4.2 Yöntem .....	43
4.2.1 Erkin tabanlı kontrol mimarisi .....	43
4.2.2 İletişim kuralları .....	59
4.2.3 Görev paylaşım yaklaşımı .....	61
<b>5. UYGULAMALAR.....</b>	<b>66</b>
5.1 Donanım Özellikleri .....	66
5.2 Uygulama Ortamının Özellikleri .....	67
5.3 Deneysel Alt Yapı Çalışmaları .....	69
5.3.1 Tepe kamera ile robot konumlandırma .....	69
5.3.2 Robot davranışları .....	76
5.3.3 Algılama .....	90
5.3.4 Haberleşme .....	92
5.3.5 Alt yapı çalışmalarının bazı uygulamalarda kullanımı .....	94
5.4 Önerilen Yaklaşım için Deneysel Çalışmalar .....	97
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>108</b>
<b>7. KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>111</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>120</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Gezgin robot sisteminin genel gösterimi .....	9
2.2 Hareket sistemlerine göre gezgin robot örnekleri .....	10
2.3 Ses üstü duyucunun çalışma prensibi .....	12
2.4 ESOGU Yapay Zeka ve Robotik Laboratuvarının lazer mesafe duyucusundan temin edilen mesafe bilgileri ile çizdirilmiş haritası .....	14
2.5 Veri tümleşimi işlemi .....	15
2.6 Üç robotik değerler dizisi .....	17
2.7 Bir davranışın grafiksel gösterimi .....	18
2.8 Davranışın şema olarak gösterimi .....	19
2.9 Tepkisel değerler dizisinde duyucu organizasyonu.....	19
2.10 Beş temel potansiyel alan.....	21
2.11 Potansiyel alanlar metodu ile bir robotun hareketinin benzetimi .....	22
2.12 İç içe Sıradüzensel Denetleyici (NHC) .....	24
2.13 NIST Gerçek zamanlı kontrol Sistemi (RCS) .....	24
4.1 Bir çevre içindeki erkin .....	42
4.2 Erkin tabanlı robot kontrol mimarisinin en genel gösterimi .....	44
4.3 Erkin tabanlı mimari yaklaşımında bir robotun yapısının genel gösterimi .....	47
4.4 Erkinlerin genel gösterimi .....	48
4.5 Erkinlerin aktivite diyagramının gösterimi .....	49
4.6 Erkinler ile haberleşme modülü arasındaki iletişim kuralları: a) Servis kayıt iletişim kuralları, b) Servis talep iletişim kuralları .....	49
4.7 Hareket erkininin yapısı .....	51
4.8 Algılama erkininin yapısı .....	52
4.9 Konumlandırma erkininin yapısı .....	54
4.10 İnsan arabirim erkininin yapısı .....	55
4.11 Planlama erkininin yapısı .....	57
4.12 İşbirliği ve görüşme erkininin yapısı .....	58
4.13 Görevlerin gerçekleşmesinde erkinler arasındaki iletişim kuralı .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.14 Görev atama örnek gösterimi .....	64
5.1 Pioneer 3-DX gezgin robot platformu .....	67
5.2 Uygulama ortamının gösterimi .....	68
5.3 Konumlandırma amaçlı tavan kamerası .....	70
5.4 Yerden yüksekliği 450 mm olan bir yer-iminin taban ve tepe noktalarının görüntü üzerinde gösterimi .....	71
5.5 Tepe kameradan konum tespit yönteminin gösterimi .....	71
5.6 İmge işleme aşamasının iç akış şeması .....	72
5.7 Konumlandırma algoritmasında kullanılan parametrelerin gösterimi .....	75
5.8 Öndeki engellerden sakınma davranışının gösterimi .....	78
5.9 Yandaki engellerden sakınma davranışının gösterimi .....	80
5.10 Hedefe gitme davranışının gösterimi .....	82
5.11 Tutma ve bırakma davranışının gösterimi .....	84
5.12 Yanaşma davranışının gösterimi .....	87
5.13 İttirme davranışının gösterimi .....	89
5.14 Lazer mesafe duyucusu ile kutu belirleme: a) Laboratuarda, robotun lazer tarayıcısının gördüğü alanın gösterimi, b) Lazer ile tarama sonrası bulunan çizgilerin gösterimi .....	91
5.15 Açık Erkin Mimarisinin(OAA) yapısı .....	93
5.16 Nesne toplama görevinde FSA .....	94
5.17 Nesne toplama görevi için ortamın tanıtımı .....	95
5.18 Hedefe yönelik davranışların toplama görevindeki aktif olma süreleri.....	95
5.19 Uygulama ortamının tanımlanması .....	96
5.20 Taşıma robotunun görev süresince izlediği yol .....	97
5.21 Uygulama ortamının tepe kameradan görüntüsü .....	98
5.22 Uygulama 1 için mesaj akış diyagramı .....	99
5.23 İşbirliği ve Görüşme Erkininin görev kabul mekanizmasının faaliyet diyagramı .....	101
5.24 İşbirliği ve Görüşme Erkininin görev atama mekanizmasının faaliyet diyagramı	101

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.25 Uygulama 1' in gerçekleştirilmesi esnasında çekilen videodan yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler .....	103
5.26 Uygulama 2 için mesaj akış diyagramı .....	105
5.26 (devamı) Uygulama 2 için mesaj akış diyagramı .....	106
5.27 Uygulama 2' in gerçekleştirilmesi esnasında çekilen videodan yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler .....	107

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
5.1	Robotların becerilerine göre sınıflandırması .....	69

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Acıklama</u></b>
$R_i$	$i$ indisli robot
$\zeta$	Çoklu robot sistemindeki robot sayısı
$E_{ij}^R$	$i$ indisli robotun, $j$ indisli rol erkini
$\rho$	Çoklu robot sistemindeki her bir robotun sahip olduğu rol erkini sayısı
$HM_i$	$i$ indisli robotun sahip olduğu, rol erkinleri arasındaki iletişim hizmetini sağlayan Haberleşme Modülü
$B_i$	$i$ indisine sahip robotun sahip olduğu becerilerin kümesi
$b_j^i$	$i$ indisine sahip robotun $j$ indisine sahip becerisi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Robotik çalışmalarının ilgi alanı, fabrikalardaki üretim bantlarında kullanılan sabit endüstriyel robotlardan, insanların bulunduğu ortamlarda da kullanılan gezgin servis robotlarını içerecek şekilde genişleyerek devam etmektedir. Bu ortamlar, çoğunlukla devinik ve beklenmedik durumları barındırırlar ve özellikle gezgin robotlar için çözülmesi zor problemler ortaya çıkarırlar. Gezgin robot sistemlerinin tasarımında, robotun içinde bulunduğu ortam ile ilgili bilgiyi nasıl temsil edeceği; yerine getireceği görevleri nasıl öğreneceği; ne çeşit planlama ve problem çözümü yapacağı; cevaplara ulaşmak için veri bankasını ve bilgilerini ne kadar hızlı tarayabileceği; içinde bulunduğu dünyayı tanıyabilmek için hangi mekanizmaları kullanacağı gibi konularla ilgilenilmektedir (Murphy, 2000). Gezgin robot sistemlerinin geliştirilmesinde araştırmacıları güdüleyen kuvvet, bu sistemlerin insanlara yararlı olarak kullanılacakları çok sayıda uygulama alanlarına sahip olmalarıdır. Günümüzde gezgin robotlar çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır ve sistemlerde gerçekleştirilecek gelişmeler doğrultusunda gezgin robotların kullanılmasının planlandığı alanlar bulunmaktadır. Bazı uygulama alanları şu şekilde verilebilir. Gezgin robotlar, insan sağlığı için tehlikeli olan uygulamalarda; toksik atıkların temizlenmesi, nükleer güç santrallerinde atıkların toplanması, bomba ve mayın gibi patlayıcıların tespit ve imhası, yüksek gerilim hatlarının temizliği ve bakımı, zararlı atık depolama tanklarının temizliği gibi uygulamalarda kullanılabilir. Tıp alanında; hastalara ilaç, su ve yemek gibi ihtiyaçları ulaştırabilir, laboratuvar örnekleri, raporları ve biyolojik atıkları taşıyabilir, karantina altındaki ortamlarda servis robotu olarak çalışabilir. Ticari temizlik işlerinde; havaalanı, satış merkezleri ve fabrika gibi ortamların temizliğinde, yüksek binaların dış camlarının temizliğinde kullanılabilir. Tarım alanında; tohum ekilmesi, ilaçlama ve ürün toplama işlerinde kullanılabilir. Madencilik alanında; madenin yerinin tespit edilmesi, çıkarılması ve yüzeye taşınması işlerinde kullanılabilir. Uzay araştırmalarında; gezegenlerin keşfi, incelenmesi, uzay istasyonlarının yapımı gibi işlerde kullanılabilir. Askeri alanlarda; keşif araçları, askeri birliklere malzeme taşıma

gibi işlerde kullanılabilir. Güvenlik maksadıyla; büyük binaların, parkların izlenmesinde kullanılabilir. Deniz altında; batık arama ve kurtarma, deniz altı kablo hatlarının döşenmesi ve bakımı gibi işlerde kullanılabilir. Engelli insanlar için; refakatçi robotlar olarak kullanılabilir. Deprem, sel ve yangın gibi afet durumlarında insan kurtarma görevlerinde yardımcı olarak kullanılabilir. Bu uygulama alanları, çok daha fazla genişletilebilir.

Otonom gezgin robotlar, yapısal olmayan ortamlarda sürekli bir insan güdümü olmaksızın istenilen görevleri gerçekleştiren, fiziksel bir konuma sabitlenmemiş ve bulunduğu çevrede serbest olarak dolaşabilen robotlardır. Yukarıda tanımlanan uygulama alanlarında kullanılacak otonom gezgin robotların geliştirilmesi, karşılaşılan problemlerin çözülmesiyle mümkün olabilecektir. Her bir problemle ilgili yapılan araştırmalar, gezgin robotlar için alt araştırma alanlarını oluşturmaktadır. Serbest dolaşabilen gezgin robotların, içinde buldukları ortamdaki konumlarının belirlenmesi, robotların güvenli bir şekilde hareket edebilmesi ve kendilerinden beklenen görevleri yerine getirebilmeleri için içinde buldukları ortamı algılayabilmeleri, çalıştıkları ortamlara uygun hareket mekanizmalarına sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca, tüm bu problemlerin çözümüne ek olarak, çevresini tanıyan ve bu çevrede dolaşma yeterliliğine ulaşan robotlar için kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Otonom bir gezgin robot sisteminin geliştirilmesi sürecinde belirtilen bu problemlerin çözümü için araştırmalar devam ederken; son yıllarda, görevlerin yapılmasında birden çok sayıda gezgin robotun kullanılmasının getireceği avantajlar düşünülerek yeni bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır. Çoklu gezgin robot sistemleri sunduğu avantajlara rağmen, çözüm bekleyen yeni problemleri de ortaya çıkarmıştır. Robotlara görevler nasıl paylaşılacak ve kısmi sonuçlar nasıl sentezlenecek, etkin koordinasyon mekanizmaları nasıl tasarlanacak, çoklu robot sistemlerinde planlama ve öğrenme nasıl gerçekleştirilecek, bilgi nasıl betimlenecek ve robotların diğer robotların hareket, plan ve bilgilerini yorumlayabilmesi mümkün kılınacak, robotlar nasıl haberleştirilecek ve hangi haberleşme dil ve kuralları kullanılacak, robotların görüşmesi ve çatışmaların çözülmesi nasıl gerçekleştirilecek gibi birçok problem çözüm yollarının bulunmasını beklemektedir (Vlassis, 2003).



## 1.1 Literatür Özeti

Çoklu gezgin robot sistemleri ile ilgili olarak literatür çok sayıda çalışma içermektedir. Bu alan henüz oldukça yenidir ve bu alan altında yer alan konuların olgunlaştığı söylenemez. Bazı çalışmalar, çoklu gezgin robot sistemleri altında yer alan araştırma konularını sınıflandırma gayreti içindedir. Bu çabalar sonuç verdiği takdirde, araştırmacıların literatürü takip etmesi daha kolay olacaktır. Cao et al.(1997), çoklu gezgin robot çalışmalarını beş ana tema altında toplamıştır. Bu temalar,

- i. Grup kontrol mimarisi (heterojenlik/homojenlik, merkezi/dağıtık ve haberleşme yapıları gibi kavramları içermektedir),
- ii. Kaynak çatışma çözümlenmeleri (çok sayıdaki robot için paylaşılan bir çevrede yer alma, çevredeki nesnelere taşıma ve birbirleri ile haberleşmelerinde ihtiyaç duyulan mekanizmaların geliştirilmesini içerir),
- iii. Ortak çalışmanın kökenleri (ortak çalışma davranışlarının nasıl yapılacağını inceler),
- iv. Öğrenme (kontrol değiştirgelerinin (parametre) istenen ortak çalışma için kendiliğinden ayarlanmasını içerir),
- v. Geometrik problem çözümü (çok serbestlikli yol planlama, düzen oluşturma ve örüntü meydana getirmeyi içermektedir) olarak tanımlanmıştır.

Dudek, et al., (1996) ise, çoklu robot sistemlerini, haberleşme, hesaplama ve diğer yeteneklerine bakarak bir sınıflandırma önermiştir. Bu sınıflandırma,

- i. Grubun boyutu (ortamdaki robot sayısı), haberleşme menzili (hangi robot dağılımlarında haberleşmenin mümkün olabilirdiği),
- ii. Haberleşme topolojisi (hangi robotlar hangi robotlarla haberleşecek), haberleşme bant genişliği (haberleşme ortamı ne kadar yoğunlukta bilgi aktaracak),
- iii. Grubun yeniden şekillenebilirliği (grubun organizasyonu ne oranda değiştirilebilecek), grubun her bir biriminin işlem yeteneği (grubun her elemanınca kullanılan hesaplama modelini),
- iv. Grubun oluşumu (grup elemanlarının heterojen ya da homojen olması) başlıkları altında toplanmıştır.

Stone ve Veloso (2000), ilgi alanlarının tersine kendilerince en önemli buldukları açılardan bir sınıflandırma yapmıştır. Sınıflandırmayı, sadece çoktürelilik (heterojenlik)

ve haberleşme açısından değerlendirmiştir. Buna göre, çoklu gezgin robot sistemlerini, tektürel (homojen) haberleşmeyen erkinler, çoktürel haberleşmeyen erkinler, tektürel haberleşen erkinler ve çoktürel haberleşen erkinler olarak dört sınıfta toplamıştır.

Son olarak; araştırmaları, başlıca konu başlıkları altında toplayan çalışmalar da yapılmıştır (Parker, 2000; Arai, et al., 2002). Parker, bir sınıflandırma oluşturmak yerine, geniş ölçüde çalışmaların üretildiği başlıca konu alanlarını tanımlamıştır. Bunlar, biyolojik yapılardan esinlenmeler, haberleşme, mimariler, görev dağıtımı ve kontrol, konumlandırma, harita oluşturma ve keşif, nesne taşıma ve güdümü, hareket koordinasyonu, yeniden şekillenebilen robotlar ve öğrenme şeklinde tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma, literatürdeki yayınlar dikkate alındığında daha uygun gözükmektedir.

### ***Biyolojik Yapılardan Esinlenmeler***

Davranış tabanlı kontrol değerler dizisi (paradigma) kooperatif gezgin robot araştırmaları üzerinde büyük etkiye sahiptir. Gezgin robot kontrolünde bu değerler dizisinin çıkış noktası biyolojik yapılardan esinlenmeler ile olmuştur. Böylece gezgin robot araştırmacıları, böcek ve hayvanların sosyal karakteristiklerinin incelenmesiyle elde edilen bulguların çoklu gezgin robot sistemlerine uygulanabileceğini keşfetmişlerdir.

Uygulamalarda en çok kullanılan biyolojik topluluklar karıncalar, arılar ve kuşlar olmuştur. Bu şekildeki biyolojik sosyal yapılardaki bireyler, çok basit bilişsel yeteneklere sahiptir. Bu bireyler tek tek ele alındıklarında çok basit davranış sergilerler. Ancak, topluluk içindeki ilişkileri sonucunda karmaşık davranışlar ortaya çıkmaktadır.

### ***Yeniden Şekillenebilen Robotlar***

Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmalarda, parçaların ya da robotların çeşitli yollarla bağlanıp, sökülmek suretiyle ihtiyaç duyulan fonksiyonu sağlayacak şekle bürünmesi beklenir. Bu sistemler teorik olarak, gürbüzlük, her işe uygunluk ve kendini onarabilirlik özelliklerini göstermelidir.

Bu alandaki araştırmalar henüz yenidir ve çoğu geliştirilen sistem hala laboratuvar deneyleri dışında gerçekleştirilememektedir.

### ***Hareket Koordinasyonu***

Çoklu gezgin robot sistemlerindeki bir konu başlığı da hareket koordinasyonudur. Bu alanda en fazla çalışma yapılan araştırma temaları: çoklu robot yol planlama, trafik kontrolü, düzen oluşturma ve düzeni koruma şeklindedir.

### ***Nesne Taşıma ve Güdüleme***

Nesnelerin taşınması, itilmesi ya da güdülenmesini içeren bu konuda çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu araştırma alanında, yapılan pratik uygulama sayısı da çoktur. Çalışmalarda genellikle, nesnelerin taşınması, tutup kaldırarak ve iterek gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, nesnelerin değişik formlarda yerleştirilmesi için çalışmalar mevcuttur. Örneğin, montajı yapılacak parçaların birleşme noktaları çakışacak şekilde döndürülmesi, bu alanda yer alan bir çalışmadır.

### ***Konulandırma, Harita Oluşturma ve Keşif***

Gezgin robotlarda oldukça fazla sayıda araştırma, konumlandırma, harita oluşturma ve keşif üzerine yoğunlaşmıştır. Çoklu gezgin robot sistemlerinde çalışmaların başlaması ile birlikte, bu konudaki çalışmalar robot grupları için metotların geliştirilmesiyle devam etmiştir. Çok robotlu sistemler, konumlandırmanın hassasiyetini tek robota göre geliştirmiştir. Hızlı keşif uygulamaların gerçekleşmesi, daha hassas ve hızlı elde edilebilen haritaların sağlanması, konumlandırma hassasiyetini arttırmak bu alanda geliştirilen metotlar ile sağlanmaktadır.

### ***Öğrenme***

Öğrenme, bir robotun çevresine uyum sağlayabilmesi için stratejidir. Robotlar, çevreleriyle etkileşimleri sonucu kazandıkları deneyimler ile belirli davranışı uygulamasında kavrama yetisini şekillendirebilmektedir. Öğrenme ile ilgili yapılan çalışmalar, sistem tasarımına yapılacak müdahaleler için harcanacak çabayı ve zaman kaybını daha azaltmaktadır.

### ***Haberleşme***

Çoklu robot gruplarında haberleşme, çok önemli bir yer tutmaktadır. Robot takımlarının işbirliği içinde çalışmasında ve bilgi paylaşımında haberleşmenin rolü

büyüktür. Gezgin robotlarda haberleşme, dolaylı ve açık olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır.

### ***Mimariler, Görev Dağıtımı ve Kontrol***

Literatürdeki araştırmaların önemli bir kısmı, mimariler, görev planlama yetenekleri ve kontrol üzerine odaklanmaktadır. Bu araştırma alanı, hareket seçme, yetkilendirme ve kontrol, haberleşme yapısı, robotların tektürel ve çoktüreli, hareketler arası tutarlılığı sağlama, çatışmaları çözme ve diğer ilgili konulara hitap eder. Çoklu robot takımları için geliştirilen her bir mimari, robot takımına belirli bir yetenek kazandırmak üstüne odaklanır. Yetenekler, görev planlama, hata dayanıklılığı, sürü kontrolü ve diğerleridir.

Genel araştırma sorusu, her robot takımı tipi ya da uygulama alanı için özel bir mimariye mi ihtiyaç vardır; yoksa çoğu çoklu robot sistemine kolayca uyarlanabilecek daha genel bir mimari geliştirilebilir mi? Bu sorunun cevabı henüz verilebilmiş değildir.

## **1.2 Problemin Tanımı**

İlgilenilen problem, algılama, hareket, ortak çalışma, işbirliği, planlama gibi birçok fonksiyonu gerçekleştiren ve bu nedenle de karmaşık bir kontrol yapısına sahip gezgin robot sistemleri için bir kontrol mimarisinin geliştirilmesidir.

Çoklu robot sistemleri ile ilgili çok sayıdaki çalışma alanında, teknikler geliştirilmekte ve bu alanlardaki teknikleri tek bir kontrol çatısı altında toplama problemi ortaya çıkmaktadır. Robot, çevresini algılayabilir, çeşitli davranışlar sergileyebilir, verilen görevleri planlayabilir, kendisinin ve çevresindeki nesnelerin konumlarını belirleyebilir, diğer robotlarla ve insanlarla iletişim kurabilir; ancak, tüm bu faaliyetleri bir koordinasyon içerisinde yapabilmesi ve bunun için de iyi bir kontrol mimarisine sahip olması gerekmektedir. Kontrol mimarilerinden de beklenen bazı ölçütler vardır. Bu ölçütler:

i) Sistem hatalarına karşı dayanıklı olması beklenir. Sistemde oluşabilecek donanımsal ya da yazılımsal hatalarda, sistem tamamen başarısızlığa uğramamalı, hatayı telafi ederek işlerliğini devam ettirmelidir.

ii) Sistemin genişleyebilir olması beklenir. Sistemin yeteneklerini geliştirmek

üzere, yeni tekniklerin eklenmesi ve mevcut yapının geliştirilmesi mümkün olmalıdır.

iii) Performansın doğrulanabilir olması gerekmektedir. Farklı platformlarda gerçekleştirilen uygulamalarda aynı başarımların elde edilebilmesi gerekmektedir.

iv) Tek bir uygulamayı gerçekleştirmeye yönelik olmamalıdır. Farklı uygulamaların da aynı yapıda gerçekleştirilebilir olması gerekmektedir.

### 1.3 Önerilen Yaklaşım

Açıklanan probleme çözüm olarak erkinli (ajan) bir kontrol yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda robotun gerçekleştirmesi gereken faaliyetler amaçlarına göre gruplandırılmış ve her grubun bir erkin olarak tasarlanması düşünülmüştür. Her erkin belli bir amaç doğrultusunda tasarlanmış ve aynı zamanda diğer erkinlerle iletişim kurması sağlanmıştır. Böylece, bir insan vücuduna benzetilebilecek yapı ortaya çıkmıştır. İnsan vücudu çeşitli organlar içermektedir. Her organ oluşum amacına göre diğer organlardan bağımsız çalışmakla birlikte onlarla etkileşim içinde bulunmaktadır. Sonuçta, tüm bu organların belli bir koordinasyon ile çalışması insan denilen yapıyı ortaya çıkarmaktadır. Robot için düşünülen yapı da bu şekilde düşünülebilir. Değişik tasarım amacına sahip erkinler (hareket, algılama, planlama, konumlandırma, v.b.) bağımsız çalışmakla birlikte, birbirleri ile etkileşim içindedir. Ayrıca, çoklu robot sistemi içinde robotlar tarafından görevlerin paylaşılmasında, görevi hangi robotun üstleneceğini belirlemede karar kriteri olarak kullanılacak bir yaklaşım önerilmektedir.

### 1.4 Katkıları

Bu yaklaşım ve yapılan uygulamalar, gezgin robot kontrol alanında çeşitli katkıları sağlamaktadır. Bu katkıları şu şekilde listelenebilir:

- *Modülerlik:* Kontrol sisteminin geliştirilmesi esnasında modüler yapı kullanılmıştır. Robotların kontrolünü sağlayan erkinler (birbirinden ayrı süreçlere sahip programcılar) birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmekte ve test edilmektedir. Testler sonucunda doğru çalıştığı görülen erkin, kontrol sistemine bütünleştirilmektedir. Böylece, karmaşık kontrol sisteminin

geliştirilmesinde kolaylık sağlanmaktadır.

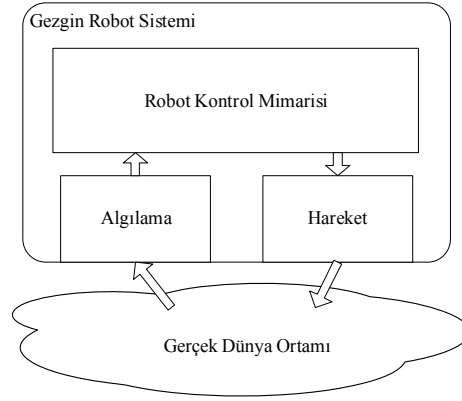
- *Gürbüzlük*: Kontrol yaklaşımı, donanımsal ya da yazılımsal hata durumlarında sistemin işlerliğinin devam etmesini sağlamaktadır. Böylece, robot tamamen hizmet dışı kalmamakta; eksik de olsa bazı faaliyetlerini yerine getirmeye devam edebilmektedir. Örneğin; bir insan gözünü kaybettiğinde hayatı sona ermez, sahip olduğu diğer organlarla hayatını devam ettirir. Robotların kontrol yapısını oluşturan bir erkinin program hatasına sahip olması ya da erkinin yönettiği donanımın arızalanması durumunda, robot sadece o erkinin sağladığı fonksiyonunu kaybeder; ancak tamamen hizmet dışı kalmaz.
- *Genişleyebilirlik*: Bu yaklaşım ile sistemin genişleyebilmesi de mümkün olacaktır. Yeni kabiliyetler kolaylıkla sisteme eklenebilecektir.
- Bu çalışma içinde, uygulamalar ile yapılan katkılar da mevcuttur. Çoklu gezgin robot çalışmalarında geliştirilen yöntemlerin, test edilmesi için uygun senaryoların bulunması zordur. Burada yapılan uygulamalar için kullanılan senaryolar, bu alanda yapılan çalışmaların uygulamalarında bir kaynak teşkil etmektedir.
- Uygulama geliştirme esnasında geliştirilen algılama ve hareket teknikleri de bu araştırma alanına bir katkı sağlamaktadır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde şu konular yer almaktadır. Bölüm 2’de gezgin robotların içerdiği sistemler ve kontrol mimarileri verilmektedir. Bölüm 3’de çoklu gezgin robot sistemleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Bölüm 4, önerilen yaklaşımla ilgili çalışmaları içermektedir. Bölüm 5’de, önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermek üzere yapılan uygulamalar verilmektedir. Son olarak Bölüm 6’da, yapılan tez çalışması ile ilgili sonuçlar ve öneriler verilmektedir.

## BÖLÜM 2

### GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİ

Çoklu gezgin robot sistemleri ile ilgili çalışmalara geçmeden önce gezgin robot sistemlerinin tanınması yerinde olacaktır. Gezgin robotlar, fiziksel ortamlarda hareket edebilmeleri ve ortama etki edebilmeleri maksadıyla hareket sistemleriyle ve içinde buldukları ortamı algılayabilmeleri maksadıyla da algılama sistemleriyle donatılan; kendilerinden beklenen görevleri gerçekleştirmek üzere bu sistemlerin koordinasyon ve kontrolünü gerçekleştirecek kontrol mimarisine sahip araçlardır. Şekil 2.1’de bir gezgin robot sisteminin genel gösterimi verilmiştir. Gezgin robot sistemlerini oluşturan parçalar farklı bakış açıları ile çeşitli kaynaklarda anlatılmaktadır (Arkin, 2002; Murphy, 2000; Siegwart and Nourbakhsh, 2004; Borenstein, et al., 1994).



**Şekil 2.1.** Gezgin robot sisteminin genel gösterimi

### 2.1 Hareket Sistemleri

Gezgin robotlar, buldukları ortama (kara, deniz veya hava) bağlı olarak değişik hareket mekanizmalarına sahiptirler. Buldukları ortamın bina içi ve dışı olması, bina dışında ise zeminin kayalık ya da kumlu olması, aracın havada ya da suda bulunması robotun hareket sistemlerinin geliştirilmesinde etken olmaktadır. Bu durumlara bağlı olarak, gezgin robotlar genellikle tekerlekli, ayaklı, paletli ve yılanı hareket

mekanizmalarına sahiptirler. Şekil 2.2’de çeşitli hareket mekanizmalarına sahip gezgin robot sistemlerinden örnekler gösterilmektedir.



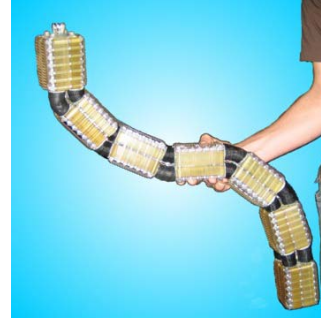
a)



b)



c)



d)

**Şekil 2.2** Hareket sistemlerine göre gezgin robot örnekleri: a) Pioneer 3-DX tekerlekli robot (<http://www.mobilerobots.com>), b) Asimo ayaklı robot (<http://world.honda.com>), c) IRobot PackBot paletli robot (<http://www.irobot.com>), d) The OmniTread Model OT-4 yılanı robot (<http://www.engin.umich.edu>).

Ayrıca, robotun hareket sisteminin yapısı, robotun konumu ve yönlendirmesinin hesaplanmasında kör tahmin (dead-reckoning) olarak adlandırılan metodun kullanılması nedeniyle de önem kazanmaktadır. Özellikle tekerlekli ve paletli robotların hareket mekanizmalarına bağlanan hareket sayma duyucuları vasıtasıyla, robotun bağlı konum ve yönlendirmesi tahmin edilmektedir. Bu nedenle, çeşitli kinematik tasarımlara göre farklı robot hareket mekanizmaları ortaya çıkmıştır. Bunlardan en yaygın olanları şunlardır: Diferansiyel sürüş, üçtekerli sürüş, Akerman sürüş, eşzamanlı sürüş, çok yönlü sürüş, çok serbestlik dereceli sürüş.

Robotlar kendi hareketliliklerini sağlayan sürüş sistemlerine ek olarak, ortama etki etmelerini sağlayan hareket mekanizmalarına da sahip olabilirler. Bu maksatla, insansı robotlardaki kollar ve eller; diğer robotlardaki tutucular, çok eklemliler, kolların



uçlarına eklenen çeşitli fonksiyonlara sahip aparatlar robotların hareket sistemleri içinde değerlendirilebilir. Bu tip mekanizmalar, robotların işlevselliğini arttırarak ortama etki etmelerini sağlarlar.

## 2.2 Algılama Sistemleri

Algılama sistemleri, robotun içinde bulunduğu dünya ile iletişim kurabilmesi için gereklidir. Algılama sistemleri, duyuçulardan temin edilen verilerin çeşitli teknikler vasıtasıyla işlenmesini içerir. Robot, çevresindeki engellerin yerlerini ve kendisinin bulunduğu konumu çeşitli algılama sistemleri vasıtasıyla belirler. Gezgin robot, davranışlarının sonuçlarını duyuçulardan topladığı veriler ile öğrenir ve bu veriler doğrultusunda davranışlarını düzenler.

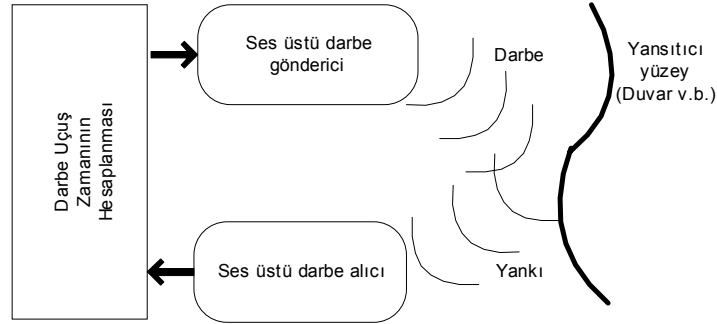
Duyucular fiziksel değişkenleri elektriksel değere dönüştürür. Duyucuların bazı nitelikleri mevcuttur. 1) Görüş alanı, duyuçunun gördüğü alanı tanımlar. 2) Menzil, ise algılayıcının güvenilir ölçüm yapabileceği en uzak mesafeyi tanımlar. 3) Hassasiyet, algılayıcının ne kadar doğrulukla ölçüm yaptığını tanımlar. 4) Tekrarlanabilirlik, aynı koşullarda algılayıcının bir ölçümde aynı değeri ne kadar sıklıkla vereceğini belirtir. 5) Çözünürlük, algılayıcının ölçebileceği ardışık iki değer arasındaki farkın ne kadar olduğunu belirtir. Çözünürlük değerinin küçük olması her zaman tercih sebebidir. 6) Güç tüketimi, bir algılayıcı için önemli bir niteliktir. Gezgin robotlar bataryalardan beslendikleri için mümkün olduğunca az enerji tüketen donanıma sahip olması istenir. 7) Donanım güvenilirliği, duyuçular için bir ölçüttür. 8) Duyucunun boyutu da, özellikle gezgin robotlar için önemli bir niteliktir. Duyucuların, robot üzerinde fazla yer kaplamaması beklenir.

Burada, gezgin robotlarda yaygın olarak kullanılan duyuçular ve bunların çalışma prensiplerinden bahsedilecektir.

### Sonar ya da Ses Ötesi Duyucu

Sonar, gezgin robotlarda uzaklık ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir duyuçudur. Ölçüm için, ses sinyalinin hareketi ve engellerden yansıması kullanılmaktadır. İnsan kulağının duyamayacağı frekansa sahip ses sinyalleri yolların. Aynı anda, süreölçer çalışmaya başlar. Sinyaller engellere çarptığında geriye doğru

yansır. Yansıma sonrası dönen sinyal algılandığı anda süreölçer durdurulur. Böylece sinyalin engele gidip dönme süresi hesaplanmış olur. Ses sinyalinin, havadaki yayılma hızı bilindiğinden, engel ile duyucu arasındaki uzaklık bulunabilir. Şekil 2.3’de sistemin çalışmasının blok gösterimi verilmiştir.



**Şekil 2.3** Ses üstü duyucunun çalışma prensibi

Ses üstü duyucular, ucuz, hızlı ve büyük çalışma aralığına sahip olmasına rağmen, birçok dezavantajlara da sahiptir. Bu sorunlardan biri, birden fazla sonar kullanıldığında, bir sonarın yaydığı sinyalin yansiyarak diğer bir sonar tarafından algılanmasıdır. Bu ölçümlerde hata oluşturur. Ayrıca, köşelerden yansıma, öndeki cisme bağlı olarak yansıyan sesin şiddeti (pamuk, cam, tahta, pürüzlü-pürüzsüz ortamlar) gibi sorunlarda ölçümlerin hatalı olması sonucunu doğurur. Bu nedenle, bu algılayıcıların ölçüm kalitesini arttırmak ve daha verimli kullanmak amacıyla değişik teknikler geliştirilmiş ve günümüzde de geliştirilmeye devam edilmektedir.

### **Kızılötesi (IR) Duyucular**

Kızılötesi duyucular, aktif yaklaşım duyucularıdır. Kızılötesi enerji yayar ve yansıyıp dönen kızılötesi ışık miktarını ölçer. Ancak çok kısa mesafeleri ölçmekte kullanılır. Menzili, birkaç adımdır. Ortamın aydınlığından etkilendiğinden, hatalı ölçüm sonuçları verebilir.

### **Çarpma Duyucuları**

Çarpma duyucuları, robotun etrafında bir halka şeklinde monte edilen ve bir engelle çarpma gerçekleştiğinde anahtarlama yapan duyuculardır. Farklı temas baskıları

için hassasiyeti ayarlanabilir.

Çarpma duyucularının robota yerleştirilmesi çok önemlidir. Sonarların menzili dışında kalacak kadar alçak seviyeli nesnelere karşı karşıya kaldığında robotun hasar görmemesinde rol alır. Çarpma esnasında, alınan sinyalle motorlar durdurulur ve sistemin zarar görmesi önlenir. Ayrıca, algılama tekniklerinin test aşamasında olması ya da duyucuların devre dışı kalması durumunda da çok kullanışlıdır.

### **GPS (Global Konumlandırma Sistemi)**

Genellikle, dış ortamlarda kullanılan bu sistem uydulardan alınan sinyaller ile çalışır. Dört uydudan aldığı sinyaller ile üçgenleme hesaplamasını kullanarak robotun konumunu, yönü ve bunlardaki değişimi hesaplanabilir. Algılama sisteminin uydulara olan uzaklıkları, gelen sinyalin katettiği süre ve sinyalin hızı kullanılarak hesaplanır.

Algılama işleminin tamamlanması için algılama sisteminin uyduya olan uzaklığı kadar uydularında konumlarının bilinmesi gerekir. Uyduların tam konumunun tesbit edilmesi ve algılama sisteminin konumunun ulusal standart zamana referans olarak bulunması için algılama sisteminin uydulardan aldığı verileri bir ana istasyona gerçek zamanlı iletilir. Ana istasyonlar uyduları sürekli izlemekte ve onların konumlarını sürekli güncellemektedir.

### **Lazer Mesafe Duyucusu**

Ses üstü duyucuya benzer bir çalışma prensibi vardır. Bir lazer ışın demeti yollar ve yansıyıp dönen ışınların seyir süresi hesaplanarak, uzaklık hesaplanır. Geniş bir görüş alanı mevcuttur. Bir CRT göstericide, ışın demetinin taramasına benzer olarak lazer de belirli bir alanı tarar ve bu alanın görüntüsünü oluşturur. Elde edilen görüntü, kamera görüntüsünden farklı olarak derinlik değerlerini içerir.

Harita çıkartma ve konum belirleme işlemlerinde oldukça kullanışlıdır. Ancak, cihazın fiyatı yüksektir. Şekil 2.4'de *ESOGÜ Yapay Zeka ve Robotik Laboratuvarının*, A noktasından B noktasına hareket eden robotun üzerinde sabit duran lazerden elde edilen mesafe bilgileri ile çizdirilmiş haritası görülmektedir. Açık olan kapılar resimde görülmektedir.



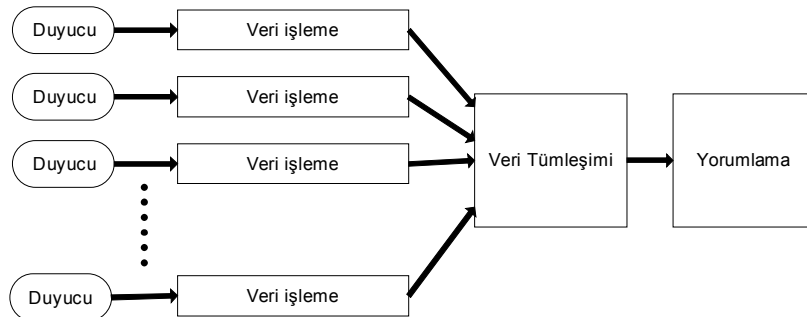
## Kameralar

Kameralar, gezgin robotlarda yaygın olarak kullanılan çok etkin bir algılayıcıdır. Genel çalışma prensibi, nesnelere yayılan ışığın, iris, iğne deliği ya da lens olarak adlandırılan açıklıktan geçerek, kameranın iki-boyutlu matris şeklinde dizilmiş ışık duyuclarına düşmesi ile olur. Resimdeki her bir pikselin parlaklığı, nesnenin yüzeyinden kameraya ulaşan ışık miktarı ile orantılıdır.

Kameralar, çevredeki nesnelere biçimsel olarak tanınması için kullanışlıdır. Böylece, şekilsel yerimlerinin tanınması ve konumun belirlenmesi mümkün olur. Kameranın gezgin robotlarda etkin bir şekilde kullanılması için, görüntünün gürültüden temizlenmesi, aydınlatma etkisinin bastırılması, resmin iyileştirilmesi ve köşelerin bulunması gibi işlemleri yapacak algoritmaların geliştirilmesi gerekir. Eğer kamera, bu işlemleri gerçek zamanlı yapacaksa, iyi bir işlem gücüne ve büyük hafızaya sahip bir bilgisayara ihtiyaç vardır. En büyük dezavantajı da, verilerin işlenmesinde çok işlem gücü gerektirmesidir.

## Veri Tümeleşimi (Sensor Fusion)

Genellikle, gezgin robot uygulamalarında tek bir duyucu ile ortamın tam ve güvenilir bir şekilde algılanması yeterli olmaz. Bu durumda, veri tümeleşimi kavramı bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kavram, birden çok sayıdaki duyuculardan temin edilen bilginin tümeleştirilmesi ile tek bir algının elde edilmesi işlemini ifade etmektedir. Şekil 2.5’de, veri tümeleşimi işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Veri tümeleşimi işlemi

Bazı durumlarda, belirli bir duyucu kullanıldığında sahip olduğu gürültü nedeniyle kullanışlı veri sağlamayabilir. Bu durumda, ikinci bir duyucu kullanılması, algıyı oluşturacak veri hakkında yeni bir bilgi oluşturabilir. Böylece, veri tümleşimi işlemi sonucu, algıyı oluşturan verinin doğru olup olmadığı ve hatalıysa ne kadarlık toleransa sahip olduğu hakkında bilgi elde edilebilir. Uygulamanın hassasiyetine göre, tolerans belirlenerek verinin kullanılıp kullanılmayacağı hakkında karar verilir.

Eğer, her iki duyucudan da aynı veri alınıyorsa, duyucular gereğinden fazla kullanılmış demektir. Uygulamalarda, birbirinin aynısı duyucu veya veriyi algıya dönüştüren aynı algoritmaların kullanılması yerine; birbirine rakip duyucu ya da algoritmaların kullanılması daha etkin olacaktır. Örneğin; şekli tanımlanmış bir cismin uzaklığını bulmak için, bir çiftli kamera ve bir lazerin veri tümleşimi amacıyla kullanılması mümkün olabilir.

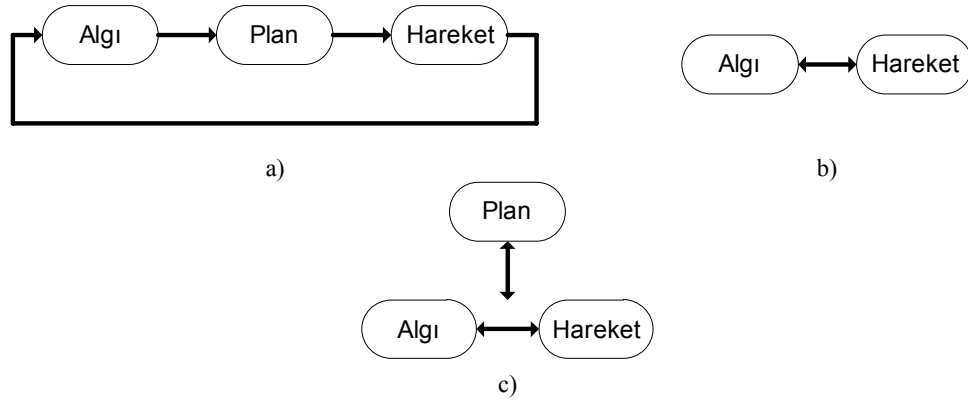
Veri tümleşimi sadece, tutarlı veri elde etmek amacıyla kullanılmaz. Algılanacak nesnenin, birden fazla özelliğinin verilerine ihtiyaç duyulabilir. Örneğin; göçük altında hayatta kalan insanları arayan bir robotun, sıcaklık duyucusu ile onun vücut ısısını ve kamerası ile onun hareketini gözlemlemesi; daha sonra bu verileri kullanarak sağ insan algısını oluşturması mümkündür.

### **2.3 Robot Kontrol Mimarileri**

Gezgin robotlar için, birçok kontrol tekniği ve yaklaşımı geliştirilmiştir. Gezgin robotlarda kontrol sistemleri, içinde buldukları dünya bilgilerini, gerçekleştirilmesi beklenen görevlere ulaşmak maksadıyla hareketlere dönüştürme gayretindedir. Mimari kavramı, denetim sistemini organize etme prensiplerini sağlayan ve bunun yanında denetim probleminin nasıl çözüleceğinin kısıtlarını koyan yapıdır (Mataric, 1992). Robot mimarilerinin ortak özelliği olarak şunlar sayılabilir: algı ve hareketi sıkı bir şekilde birleştirme gerekliliği üzerindeki vurgu, temsili sembolik bilgidan kaçınma, genel durumun anlamlı parçalara ayrılması (davranış ve durum-hareket ilişkileri).

Kontrol mimarilerini daha iyi anlayabilmek için robotik değerler dizisinden (paradigma) bahsetmekte fayda vardır. Değerler dizisi, bir sınıf probleme yaklaşımı tanımlamak için bir felsefe ya da kabullenme ve/veya teknikler kümesi olarak tanımlanabilir (Murphy, 2000). Bu bağlamda, robotlar için üç tip değerler dizisinden

bahsedilmektedir. Bu değerler dizileri, robotikte kabul görmüş üç farklı temel kavramdan türetilmektedir. Şekil 2.6'da robotikte tanımlanmış üç değerler dizisi görülmektedir.



**Şekil 2.6** Üç robotik değerler dizisi: a) Sıralı, b) Tepkisel, c) Melez (düşünsel/tepkisel)

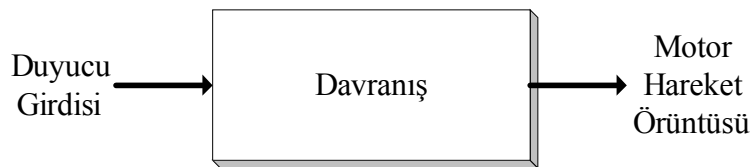
Sıradüzensel değerler dizisi, en eski değerler dizisidir. Robot, çevresini algılar, o andaki algıya göre hareketini planlar ve planlanan hareketi uygular. Bu sürekli bir döngü şeklinde devam eder. Robot hareketini kesikli olarak yapmakta, aldığı algıya göre ortamın yapısını oluşturmakta ve buna göre bir sonraki hareketi planlayarak hareket edici mekanizmaya komut göndermektedir. Algılama ve planlama zaman alıcı süreçler olduğundan robotun hareketleri yavaş olmakta ve gerçek zamanlı problemlerde sorun oluşturmaktadır. Bu problemlerin çözülebilmesi amacıyla tepkisel değerler dizisi ortaya çıkmıştır. Robotik alanında büyük ilgi görmüş ve yaygın olarak kullanılmıştır. Tepkisel değerler dizisi, planlamayı kullanmamış ve algı-hareket tipinde bir organizasyon kullanmıştır. Çok hızlı çalışma süresine sahip olma avantajına rağmen, hiçbir planlamanın kullanılmaması, bu değerler dizisini sınırlandıran bir faktör olmuştur. Sonuç olarak, hem planlamayı içeren hem de tepkisel değerler dizisini kapsayan melez değerler dizisi ortaya atılmıştır. Bu değerler dizisinde, robot öncelikle görevleri nasıl alt görevlere ayıracağı ve bu alt görevleri hangi davranışlar ile gerçekleştireceği ile ilgili planlama yapar. Daha sonra davranışlar, birer tepkisel değerler dizisi gibi hareketleri gerçekleştirir.

Kontrol teknikleri, algısal verilerin nasıl işlendiği ve hareketlerin oluşturulduğuna bağlı olarak dört grup altında toplanabilir. İleriye dönük planlama yapılmadan, algının

ardından hareket etme eğilimindeki sistemlere *tepkisel kontrol sistemleri* denir. Bu tip kontrol, insanlardaki refleks hareketlerine benzetilebilir. Tepkiler hızlı bir şekilde gerçekleşir. *Davranış-tabanlı kontrolde*, yapılacak hareketler üzerinde düşünme işlemi mevcuttur. Ancak, düşünme işlemi hareket üzerinde dağıtılır. Bu tür kontrol örüntüleri, genellikle canlıların davranışlarından esinlenerek geliştirilir. *Maksatlı (Hedefli) (deliberative) kontrolde*, geçmişteki ve şu andaki duruma bakılır, düşünülüp plan yapılır ve daha sonra harekete geçilir. Tepkide yavaş olmasına rağmen, yüksek seviyede zeki bir sistemdir. *Melez kontrol sistemi* ise, tepkisel bir kontrol mekanizması, yavaş çalışan hedefli planlama birimi ve bunları birleştiren sıralama mekanizmasından oluşan üç katmandan meydana gelen son zamanların en tercih edilen kontrol yapısıdır.

### 2.3.1 Tepkisel (reactive) kontrol

Tepkisel kontrol, en eski metot olan sıradüzensel değerler dizisine alternatif olarak oluşmuştur. Tepkisel kontrol yaklaşımı, navigasyon kabiliyetlerinin daha hızlı ve yetenekli olması nedeniyle tercih edilmektedir. Doğadaki canlıların basit davranışlarını taklit eden davranışlar, güçlü bilgisayar hesaplama gereksinimi olmadan gerçekleştirebilmektedir. Bütün hareketler, davranışlar üzerine kurulmuştur. Davranış, algısal girdilerin bir görevi gerçekleştirmek üzere kullanılan motor hareketleri örüntüsüne dönüştürülmesidir. Matematiksel bakış açısından, algısal girdileri hareket komutlarına aktaran bir aktarım fonksiyonudur. Tepkisel kontrolün temelini oluşturan bir davranışın grafiksel gösterimi Şekil 2.7’de verilmektedir.

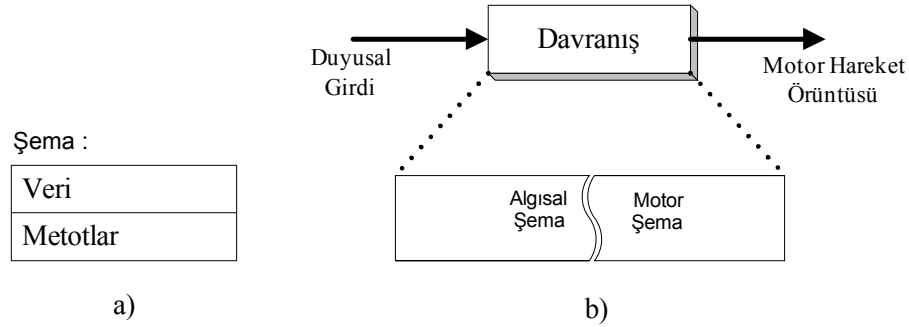


Şekil 2.7 Bir davranışın grafiksel gösterimi

Davranışların programlanmasında, önceleri psikologlar tarafından kullanılan ve robotlarda ilk olarak Arbib (1989) tarafından kullanılan *Şema (Schema) Teorisi* yaygın olarak kullanılmıştır. Şemalar, bir aktiviteyi vurgulama yoludur. Yapısında bir

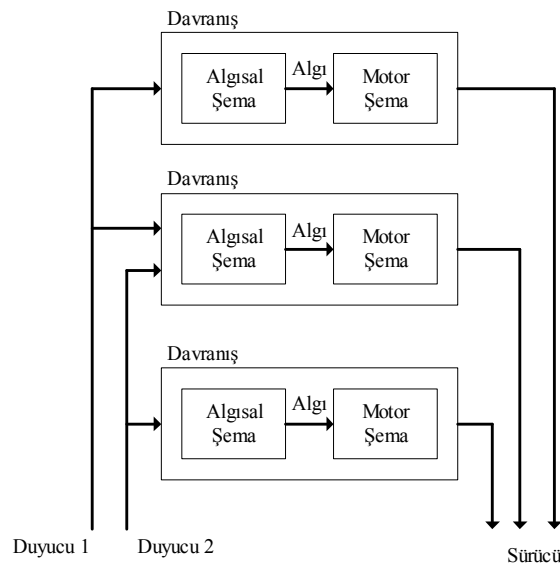


aktivitenin oluşması için bilgi ve hesaplama süreçleri bulundurur. Temel olarak yapısı, nesne tabanlı programlamadaki sınıf yapısı ile özdeşleştiği için robot davranışlarının programlanmasında çok kullanışlı olmaktadır. Şekil 2.8’de bir şemanın yapısının gösterimi ve şemalara ayrıştırmış bir davranış yapısı görülmektedir.



**Şekil 2.8** Davranışın şema olarak gösterimi: a) Şemanın yapısı, b) Algısal ve motor şema olarak ayrıştırmış davranış yapısı

Tepkisel kontrolde, aynı duyucu verileri farklı davranışlar tarafından farklı işlenerek kullanılabilir. Benzer şekilde bir davranış farklı duyuculardan gelen algıları birleştirerek kullanabilir. Şekil 2.9’da tepkisel kontroldeki duyucu organizasyonu görülmektedir.



**Şekil 2.9** Tepkisel değerler dizisinde duyucu organizasyonu

Tepkisel değerler dizisine uygun birçok mimari mevcuttur. Bunlardan en çok bilinen iki tanesi, *kapsama (subsumption) mimarisi ve potansiyel alan* yöntemidir.

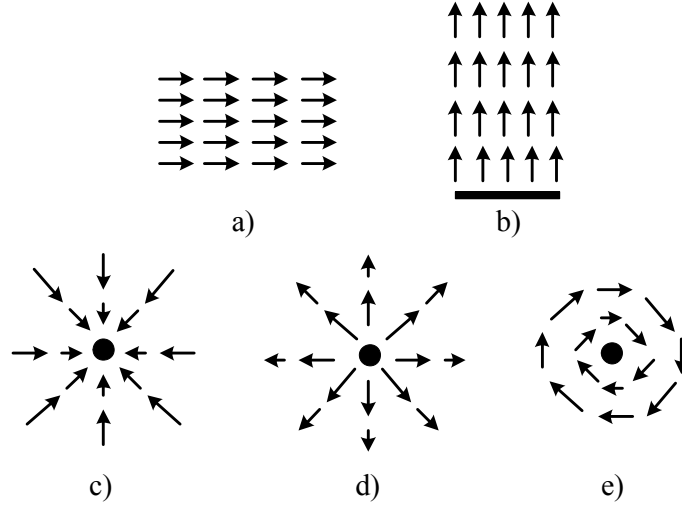
Brooks (1986), tarafından önerilen kapsama mimarisi, tepkisel sistemlerin en çok etkin olanıdır. Birçok uygulamada, davranışlar doğrudan robotun donanımına ya da kuk mikroışlemcilere yüklenmektedir. Böylece, robotlar dşunme işlemi olmaksızın yürüyebilmekte, engelleri aşabilmektedir. Bu mimaride davranışlar seviyeler şeklinde tasarlanır. Öncelikle robotun en dşuk seviyedeki basit davranışları gerçekleştirilir, örneğin ortamda rastgele dolaşma ya da engelden sakınma gibi. Daha karmaşık davranışlar gerektiren uygulamalar, örneğin duvar takibi veya koridorun ortasından gitme, için gerekli üst seviye davranışlar alt seviyedeki basit davranışların üzerine tasarlanır ve gerektiğinde alt seviyedeki davranışın çalışmasını engeller ya da onun çalışmasını da kapsayarak karmaşık işlemi gerçekleştirir.

Gezgin robotun bir görevi yerine getirmesi esnasında, sahip olduğu davranışlardan bulunduğu duruma göre birini seçmesi gerekir. Örneğin, robotun tanımlanan hedefe doğru yol alırken, karşısına bir engel çıktığında engeli açma davranışının devreye girmesi gerekir. Bu durumda, bir seviyede bulunan davranış öğeleri, alt seviyede bulunan davranış öğelerini bastırabilir. Bu mimaride, bir seviyedeki davranışlar, alt seviyelerindeki davranışların ne gördüğünü ya da yaptığını idare edebilir. Her davranış girdi, çıktı ve sıfırlamaya (reset) sahiptir. Üst seviyede bulunan bir davranış, alt seviyedeki davranışın girdisini görmesini engelleyerek, onun girdisini bastırabilir. Ayrıca, bir davranış, alt seviyedeki davranışın çıktısını bastırarak onun hareket etkisini kısıtlayabilir. Bu yapı içerisinde, basit bir davranış, üst seviyedeki bir davranış tarafından kapsanmış olur. Böylelikle, davranış üzerine eklenen her bir üst seviye davranışı robota yeni bir kabiliyet kazandırır.

Tez alışması sürecinde, kapsama mimarisinin bir uygulaması benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir (Metin vd., 2004). Bu uygulamada, nesne toplama görevi rastgele dolaşma, engelden sakınma, tutma ve eve dönme davranışlarının kapsama mimarisine göre tasarlanması sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Gezgin robotlarda, Khatib (1986) tarafından geliştirilen potansiyel alan yntemibiliminde ise, davranışlar temsil edilirken vektörler kullanılmakta olup, bir sonuç davranış diğer davranışları temsil eden vektörlerin toplamına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde, belirli bir görev veya amaca uygun bir veya fazla davranış

belirlenmekte, bütün davranışlar potansiyel alanlar cinsinden ifade edilmekte ve tüm davranışlarla ilgili potansiyel alanlar toplanarak robotun hareketinin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 2.10** Beş temel potansiyel alan: a) Düzgün dağılımlı, b) Dikey, c) Çekici, d) itici, e) Teğetsel

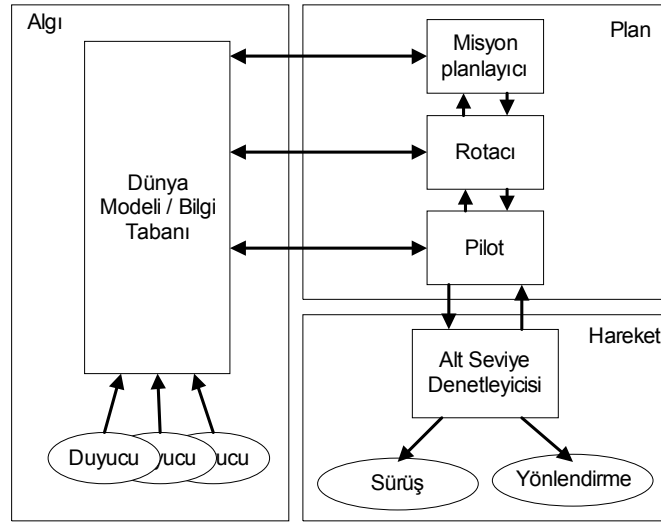
Şekil 2.10'da beş temel potansiyel alan görülmektedir. Şekil 2.10a'da düzgün dağılımlı alan görülmektedir. Bu alan robotu, her noktada aynı kuvvet ile belirtilen yönde ilerletir. Bu, belirtilen yönde gitme davranışını tanımlar. Şekil 2.10b'de dikey alan görülmektedir. Bu alan, duvar, nesne ya da sınır gibi düzlemsel bir engelden robotun uzak durmasını sağlar. Şekil 2.10c'de verilen çekici alan, merkeze yaklaştıkça kuvveti azalan vektörler ile ifade edilir. Çekici alan, robotu bir hedef noktaya çekmeyi sağlar. Hedef noktadan uzak olan robot çekici alanın büyük kuvvetine maruz kalırken, noktaya yaklaştıkça çekim kuvvetinin şiddeti azalır. Çekim kuvvetinin şiddetinin azalması, robotun çekici alana yaklaştıkça hızını azaltması ve güvenli bir şekilde durmasını temin eder. Şekil 2.10d'de itme alanı gösterilmiştir. Bu alanda kuvvetin şiddeti noktaya yaklaştıkça artmaktadır. Bu alan, robotun uzak durması gereken engeller için kullanılır. Son olarak, Şekil 2.10e'de teğetsel alan gösterilmektedir. Bu alan, bir nokta etrafında halkalar şeklinde dönen bir alanı ifade eder. Robotun bir engelin etrafından dolaşması ya da o noktada bir şeyleri keşfetmesi için kullanılan alandır. Bütün bu alanların bir ortamda kullanılması ile robotun hareketini belirleyen bir



tarafını oluşturmaktadır. Bir robotun, içinde bulunduğu dünya hakkında tam bir bilgiye sahip olması gerekmektedir. Robot, içinde bulunduğu dünyanın bir modelini oluşturup, yapacağı hareketlerin etkilerini bu modele göre belirler. Bu sebeple, oluşturulan dünya modeli hakkında güçlü varsayımlar yapmak zorundadır. Robotun vereceği hareket kararlarının, oluşturulan modele bağımlı olması ve dinamik dünyanın değişkenliği bu yöntemle kontrolü pek mümkün kılmamaktadır. Gerçek dünya robotları, neredeyse hiç bir zaman tamamen bilinçli bir kontrole sahip olamaz.

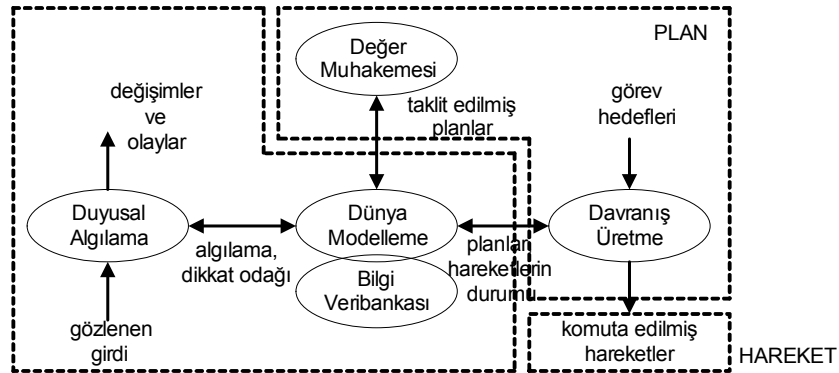
Shakey olarak adlandırılan ilk yapay zeka robotu, bilinçli kontrol yaklaşımını kullanmıştır (Murphy, 2000). Bu robotun planlama işlemlerinde Strips olarak adlandırılan *Genel Problem Çözme Metodu* kullanılmıştır. Bu metot, niyet-sonuç analizi olarak bilinen bir yöntem kullanılmaktadır. Bir hedefe ulaşmak için, halihazırda içinde bulunulan dünya durumlarının hedefe ulaşıldığında ortaya çıkacak dünya durumlarından farkının alınması ve bu farkı azaltacak şekilde hareket operatörlerinin belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşımın gerçekleştirilmesi için kapalı bir dünya kabullenmesi yapılması gerekmektedir. Zaman içinde değişen durumlara sahip bir dünya için kullanılacak bir yaklaşım değildir.

En çok bilinen iki bilinçli kontrol mimarisi vardır. Bunlardan biri, Meystel (1990) tarafından geliştirilen İç içe Sıradüzensel Denetleyici (NHC) olarak adlandırılan mimaridir. Bu yapıda, öncelikle ortam algılanmakta ve dünya modeli oluşturulmaktadır. Bu model kullanılarak hareketler planlanmakta ve sonrasında hareketler gerçekleştirilmektedir. Bu yapının önemli katkısı planlamayı Şekil 2.12'de gösterildiği gibi görev planlayıcı, rotacı ve pilot olarak üç kısma ayırmasıdır.



Şekil 2.12 İç içe Sıradüzensel Denetleyici (NHC)

Bir diğer çok bilinen mimari yapı ise, Albus (1996) tarafından geliştirilen NIST Gerçek zamanlı kontrol Sistemi (RCS) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.13’de bu yapının gösterimi verilmektedir. Bu yapının da, İç içe Sıradüzensel Denetleyici (NHC)’e benzemesine rağmen, bazı farklılıkları mevcuttur. Duyusal algı modülü, duyucu ve veri tümleştirme arasında bir ön işleme adımı içermektedir.



Şekil 2.13 NIST Gerçek zamanlı kontrol Sistemi (RCS)

Bu mimarinin bir sürümü, uzayda bir robot kolun kumanda edilmesi için geliştirilmiştir. Geliştirilen mimariye NASREM adı verilmiş ve günümüzde de kullanımdadır.

### 2.3.3 Melez (hybrid) kontrol

Melez kontrolün felsefesinde, bağımsız, ama paralel, düşünmek ve hareket etmek vardır. Tepkisel ve bilinçli kontrol metotların en iyi yönlerini birleştiren bir yaklaşımdır. Böylece, melez yapı içerisinde iki ana bileşen mevcuttur. Tepkisel bileşen, robotun ihtiyaç duyduğu engellerden sakınma gibi ani tepkileri sağlar. Robot, gerçek zamanlı hızlı bir şekilde tepkisini sergiler. Bilinçli bileşen ise, daha kavramsal ve dünyanın sembolik betimlemelerini kullanır ve bunlar üzerinde işlemleri yürütür. Robotun planlı hareket etmesini sağlar.

Melez kontrol yapısı içinde tepkisel ve bilinçli bileşenler birbirleri ile çakışmazlar. Ancak, bazı durumlarda etkileşim içerisindedirler. Tepkisel bileşen, içinde bulunulan dünyada karşılaşılan ani ve beklenmedik durumlarda bilinçli bileşeni bastırabilir. Bilinçli bileşen de daha etkin hareket planlarını gerçekleştirebilmek adına tepkisel bileşene rehberlik yapabilir. Sistemdeki bu etkileşimi sağlayacak bir ara bileşen gerekmektedir. Bu durumda, tepkisel, ara ve bilinçli bileşen olmak üzere üç kısmı içeren melez kontrol üç seviyeli sistem olarak da tanımlanmaktadır (Paluska, et al., 2003).

Bu yapıyı kullanan çok sayıda kontrol mimarisi geliştirilmiştir. Bunlardan, en eski olanı ise *Otonom Robot Mimarisi (AuRA)* olarak adlandırılan Arkin ve Balch (1997) tarafından geliştirilen mimari yapıdır. AuRA, tepkisel ve bilinçli katmanı içeren iki katmanlı bir kontrol yapısına sahiptir. Bilinçli katman, haritacı ve planlamacı kısımlarını içerir. Haritacı kısmı, robotun harita oluşturması ve seyrüsefer için gereken fonksiyonları okuması görevini üstlenmektedir. Planlamacı birim ise; insanlar ile arabirim oluşturmak üzere *görev planlayıcı*, yol planlama ve görevi alt görevlere bölmek üzere *seyrüseferci*, alt görevleri alıp davranışları oluşturmak için gereken bilgileri sağlamak üzere *pilot* kısımlarını içermektedir. Mimari yapının algılama ve hareket kısmını içeren tepkisel katmanı, hareketlerin oluşması için motor şema yöneticisi kullanmaktadır. Hareketleri potansiyel alanlar ile tanımlayan motor şemalar, eş zamanlı olarak işlemlerini yerine getirmektedir. Motor şemaların fiziksel hareketlere dönüşmesini, *pilot* biriminden aldığı bilgilere göre motor şema yöneticisi idare etmektedir.

AuRA mimarisinin bir uzantısı olarak önerilen bir başka kontrol yapısı Veri

Tümleştirme Etkileri (SFX) olarak adlandırılan mimaridir (Murphy and Arkin, 1992). Bu yapı, felsefe olarak AuRa ile özdeştir. Algılama açısından farklı bir yaklaşım ilave edilmiştir. Duyusal işlem her duyucu için ayrıdır ve her duyucunun algılamada belli bir yenilikçi alanı bulunmaktadır. Ancak, duyucuların sağladığı veriler, birden çok davranış tarafından kullanılmakta ve veri tümleşimi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu durumda, duyucu hatalarının önleendiği iddia edilmektedir. Bu yapı, iç ortamda ofis seyrüseferinde, dış ortamda yol izlemede, arama ve kurtarma işlerinde robotlarda kullanılmıştır.

Bir başka önemli mimari yapı, *3T mimarisi* olarak adlandırılmakta ve sıralı üç katmandan meydana gelmektedir (Bonasso, et al., 1997). Bu katmanlar, planlama, sıralama ve beceri yönetici olarak adlandırılmaktadır. Planlama katmanı, görev planlama ve harita çıkarma işlerini yürütmektedir. Görevler, sıralama katmanı tarafından alınır, tepkisel hareket planı (RAP) olarak tanımlanan tekniği kullanarak kütüphanesindeki temel davranışları seçer ve davranışlar için hedefe yönelik hareket sırasını belirler. Göreve yönelik olarak sıralanan bu davranışlar, alt seviye olan beceri katmanını şekillendirir.

Saphira olarak adlandırılan mimari, üç özellik üzerine odaklanmış olan melez mimari yapısına sahiptir (Konolige, et al., 1997; Konolige, and Myers, 1998). Odaklandığı özellikler, koordinasyon, tutarlılık ve haberleşmedir. Mimari yapı, tepkisel katmanda davranışların koordinasyonunda bulanık mantık yöntemlerini kullanmaktadır. Tutarlılık için, dünya modelinin kurulması ve himaye edilmesi sağlanmaktadır. Haberleşmeye, robotun insanlarla ve sonrasında da robotlarla iletişim kurmasının gerekliliği nedeniyle başvurulmuştur. Bu mimarinin merkezinde, yerel algısal uzay (LPS) olarak adlandırılan ve tüm dünya betimlerinin bulunduğu bir birim yer almaktadır. İnsan takibi, nesne tanıma, yüzey oluşturma, konumlandırma ve harita oluşturma gibi bazı fonksiyonlara sahip birimlerce LPS birimine dünya betim bilgileri sağlanır. Planlama için kullanılan ve PRS-lite olarak adlandırılan Prosedürel Karar Verme Sistemi, tepkisel bir planlayıcı olarak LPS birimindeki dünya betimlerinden faydalanmaktadır.

Görev Kontrol Mimarisi (TCA) olarak adlandırılan bir mimari, melez yapı içinde farklı bir yaklaşım sergilemektedir (Reid, 1994). Tepkisel ve bilinçli değerler dizilerini içeren bu mimari, genel amaçlı bir mimariden çok bir işletim sistemi yapısına sahiptir.



Bu yapı içerisinde, her robot için özdeş olan mesaj iletim tabloları, kaynak çizelgeleri ve görev ağaçlarını içeren merkezi kontrol birimi yer almaktadır. Bunun yanında, her robot sistemi için farklılık gösteren değişik fonksiyonlarda birimler yer almaktadır. Bu birimler, merkezi kontrol birimi ile iletişim içinde bulunmaktadır.

*Gezgin Seyrüsefer için Dağıtık Mimari (DAWN)* olarak tanımlanan kontrol mimarisinde birden çok parça robot kontrolünü paylaşmaktadırlar (Rosenblatt, 1997). Bu mimari yapıda, davranışlar eş zamanlı olarak çalışan parçalar şeklinde tasarlanmaktadır. Bu parçaların, hareket talepleri bir oylama şeklinde DAWN hakemi olarak adlandırılan birime iletilmekte, bu birim, Mod Yöneticisi olarak adlandırılan birimden aldığı ağırlık değerlerine göre değerlendirme yaparak sonuç hareketi sürücülere iletmektedir.

ATLANTIS olarak adlandırılan mimari, üç katmanlı bir yapıya sahiptir (Gat, 1992). Mimarideki, denetleyici katmanı temel aktiviteleri kontrol eden tepkisel bir mekanizmadır. Sıralayıcı, başlatma ile sonlandırmaları ve temel aktivitelerin parametrik hale getirilmesini kontrol eden özel amaçlı işletim sistemidir. Düşünme mekanizması ise, dünya modeli oluşturma ve planlama gibi zaman gerektiren işleri yapar. Bu mimari hareketten çok aktiviteleri kontrol eder.

## BÖLÜM 3

### ÇOKLU GEZGİN ROBOT SİSTEMLERİ

Çoklu gezgin robot sistemleri üzerindeki çalışmalar, 1980'lerin sonlarında yapılmaya başlanmıştır. Bu tarihten önce, çalışmalar tek robot üzerinde yapılmıştır. Bazı görevlerde, tek robotun yetersiz kalması ya da çok robot kullanımının tek robota göre bazı avantajlar sağlaması nedeniyle, araştırmacılar bu konuda çalışmaya başlamıştır. Çoklu gezgin robotların işbirliği içinde çalışmasını sağlamak ve çoklu robot sistemlerinin avantajlarından faydalanmak üzere, bazı teknik güçlüklerin üstesinden gelmek gerekmektedir. Bu güçlükler, robotlar arası haberleşme, çok sayıdaki robottan sağlanan algılama verilerinin birleştirilmesi, istenen kooperatif çalışmayı gerçekleştirebilecek grup mimarilerinin oluşturulması, robot hareketlerini koordine edecek metotların geliştirilmesi ve benzeri konuları içermektedir.

#### 3.1 Öngörülen Avantajlar

Bazı görevlerin gerçekleştirilmesinde, çoklu gezgin robot sistemlerinin tek robotlu sistemlere göre sağladığı faydalar mevcuttur. Bu faydalar, araştırmacıları bu konuda çalışmak üzere harekete geçirmektedir. Bu avantajlar, şu şekilde sıralanabilir:

- Çoklu gezgin robot sistemleri, bir robotun tek başına yerine getiremeyeceği görevleri başarıyla yapabilir. Bazı görevlerin tek bir robot tarafından yapılması mümkün olmayabilir. Örneğin; gezgin robot uygulamalarında yaygın olarak ele alınan nesne taşıma görevinde, bazı nesnelere bir robot tarafından taşınamayacak kadar ağır olabilir. Bu durumda, daha fazla robota ihtiyaç duyulur. Ya da farklı konumlarda bulunmayı gerektiren ve eşzamanlı yapılması beklenen işlerde de, tek robotun aynı anda farklı yerlerde bulunamayacağından bu görevleri yerine getirmesi mümkün olmayacaktır. Robot grupları bu tür işlerin üstesinden gelebilir. Bu örnekleri arttırmak mümkündür.

- Çoklu gezgin robot sistemleri, verilen görevleri tek robota göre daha hızlı tamamlayabilir. Görevler, alt görevlere bölünebilir ve her bir alt görevin bir robot

tarafından eşzamanlı olarak yapılması mümkün olabilir. Böylece, görev daha hızlı tamamlanabilir. Geniş alanları kapsayan görevlerde (mayın arama, temizlik, v.b.), çoklu robot sistemleri ile aynı anda daha fazla alan taranabileceğinden görevin tamamlanma süresi kısalmaktadır.

- Çoklu gezgin robot sistemleri, görevlerin yapılmasında oluşacak kusurlara karşı daha gürbüzdür. Verilen görevin yerine getirilmesi esnasında, grup içerisindeki bir robotun kısmen ya da tamamen fonksiyonlarını yitirmesi durumunda dahi, diğer robotların katkısı ile görev başarıyla tamamlanabilir. Örneğin; nesnelerin taşınmasını içeren bir görevde, grup içinden bir robotun bir engelle takılması durumunda, diğer robotlar gecikmeli de olsa görevin başarı ile tamamlanmasını sağlayabilirler.

- Çoklu gezgin robot sistemleri, tek bir amaç için tasarlanmış uzmanlıkların grup içinde kullanımı ile iş yapma etkinliğini arttırabilir. Örneğin, ağır nesnelerin taşınmasında nesneyi taşıyacak ağır ve sağlam yapıya sahip bir robot ve hızlı hareket kabiliyetine sahip, kamerası ile nesnenin taşınmasında görsel geribesleme sağlayabilecek bir robot, tek bir robota göre işi daha etkin bir şekilde tamamlayabilecektir.

- Çoklu gezgin robot sistemlerinde, konumlandırma daha etkin ve hassas olarak gerçekleştirilebilir. Robot gruplarında, farklı yer-imlerini tanıyan ve değişik yer-im tiplerine göre özkonumlandırma yeteneğine sahip robotlar, bu bilgi ve yeteneklerini paylaşarak daha etkin bir konumlandırma gerçekleştirebilirler. Örneğin; kamerası ile görsel yer-imlerine göre konumunu belirleyen bir robot, yetersiz ışık ortamında lazer mesafe algılayıcısı ile harita karşılaştırması yaparak konum bulan başka bir robottan destek alabilir.

- Çoklu gezgin robot sistemleri, buldukları çevre ile ilgili daha fazla bilgiye sahip olabilirler. Ortama farklı açılardan bakan, farklı algılayıcılar ve algılama metotlarına sahip olan robotlar, sahip oldukları çevre bilgilerini paylaşarak, tek robota göre çevre hakkında daha fazla bilgi sahibi olabilirler.

Görüldüğü gibi, çoklu gezgin robot sistemleri tek robotlu sistemlere göre birçok avantaj sağlamaktadır. Bunlardan faydalanmak, yapılacak araştırmalar ile etkin metotların geliştirilmesi ile mümkün olabilecektir.

### 3.2 Kontrol Sistemlerinden Beklenen Özellikler

Uygulamalarda, çoklu gezgin robot sistemlerinden yüksek performans beklenmektedir. Bu nedenle de, geliştirilecek metotların bazı taleplere cevap vermesi beklenmektedir. Çoklu robot sistemlerinden beklenen özellikler şöyle listelenebilir (Dias and Stentz, 2001; Liu and Wu, 2001):

- *Gürbüzlük* Sistemdeki robotların kısmen ya da tamamen fonksiyonlarını kaybetmesi durumunda dahi, görevin tamamlanması beklenir.
- *Genişleyebilirlik* Sistemin, yeni fonksiyonları içermek üzere kolayca genişletilebilmesi istenir. Uygulamalara bağlı olarak sisteme yeni fonksiyonlar isteğe göre kolayca eklenip, çıkarılabilir olmalıdır.
- *Ölçeklendirilebilirlik* Yaklaşım, her sayıdaki robot için ölçeklendirilebilmelidir. Bazı uygulamalar bir kaç robot gerektirirken, bazı uygulamalar performans arttırmak üzere daha çok sayıda robota gereksinim duyabilir. Bu durumda, metotlar her sayıdaki robot için kolayca kullanılabilirdir.
- *Esneklik* Farklı uygulamalara kolayca uyarlanabilmelidir. Farklı uygulamaların, farklı gereksinimleri olabilir. Bu durumda, mimari farklı uygulamalar için kolayca düzenlenebilmelidir.
- *Öğrenme* Sistemin, belirli uygulamalar için kendini adapte etmesi beklenir. Değişen çevre koşulları ve uygulamalara göre kendini uyarlamalıdır. Böylece, mimariyi yeni uygulama alanlarına uyarlamak üzere harcanacak çabadan kurtulunabilir.
- *Güvenilirlik* Sistem, verilen her görevde doğru bir şekilde hareket edebilmelidir.
- *Çoktürelilik* Mimari, çoktürel robot takımları için kullanılabilirdir. Başarılı bir mimari, sistemin hem tektürel hem de çoktürel olması durumunda da geçerli olmalıdır.
- *Haberleşme* Sınırlı ve mükemmel olmayan haberleşme ortamlarında da çalışmalıdır.
- *Uygun Kaynak Kullanımı* Kısıtlı kaynakların değerlendirilmesinde karar verebilmelidir. Kaynakların en iyi kullanılması için, mevcut kısıtlı kaynaklarla ilgili muhakeme yapılabilirdir.

- *Görev Tahsisatı* Görevlerin, grup içerisindeki tahsisatı en uygun şekilde yapılmalıdır. Bu, mimari tasarımda çok önemlidir.
- *Roller* Robotlar, değişik rolleri en iyi şekilde benimsemelidir. İstendiğinde robotlar birçok rolü oynayabilmelidir. Koşullar değiştiğinde farklı rollere geçiş yapabilmelidirler.
- *Yeni girdiler* Sistem, yeni görevleri, kaynakları ve rolleri dinamik olarak ele almalıdır.
- *Hız* Dinamik koşullara karşı hızlı tepki vermelidir.
- *Uygulama* Mimarinin, fiziksel sistemlerde, uygulanmış ve kanıtlanmış olması gerekir. Yazılım ve benzetim sistemlerinde görülmeyen çoğu detayı keşfetmek ve çözmek, fiziksel ortamdaki uygulamalar ile mümkün olabilir.
- *En Uygunluk* Dinamik koşullarda, en uygun tepkiler vermelidir.

Çoklu gezgin robot sistemleri için kontrol yöntemleri geliştirilirken belirtilen bu özellikleri kapsamasının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

### 3.3 Yapısal Kontrol Yaklaşımları

Çoklu robot kontrol sistemlerinin geliştirilmesinden önce bazı altyapı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler, kontrol sisteminin yeteneklerini ve kısıtlarını belirler.

#### 3.3.1 Merkezi / dağıtık kontrol

Çoklu robot kontrol sistemlerinde verilmesi gereken temel karar, kontrolün merkezi ya da dağıtık olarak gerçekleştirilmesidir. Merkezi kontrolde, merkezi tek bir denetleyici, bütün robotlarla ilgili bilgileri toplar, tüm planlamaları gerçekleştirerek onlara yapmaları gereken hareketleri bildirir. Bu yaklaşım en uygun çözümlerin hesaplanabilmesi için faydalıdır. Ancak, çok sayıda olumsuz tarafları bulunmaktadır. Tüm kontrolün tek bir denetçide bulunması nedeniyle, bu denetçinin başarısız olması tüm sistemin başarısız olmasına yol açacaktır. Ayrıca çok fazla bilginin tek bir denetçide toplanması, planlamayı çok yavaşlatacaktır. Ayrıca, küresel haberleşmenin

bulunması da kaçınılmazdır. Haberleşme kesintileri de, problem teşkil edecektir.

Çoklu robot sistemlerinde, baskın olan ve en yaygın başvuru yaklaşım dağıtık kontroldür. Bu yaklaşımda, grup içerisindeki her robot kendi karar mekanizmasına sahiptir. Bu yaklaşımın en önemli faydası, bir robotta oluşacak başarısızlık tüm sistemin başarısızlığı ile sonuçlanmayabilir. Diğer robotlardan bilgi toplama gerekliliği yoktur. Grup içindeki robot sayısı zaman içerisinde artabilir ve azabilir. Haberleşme azaltılabilir ve hatta hiç başvurulmayabilir. Bu durumda, haberleşme kesintilerine karşı sistem daha dayanıklı olur. Ancak, bu yaklaşımın da istenmeyen tarafları vardır. Robotların grup içerisinde planlı ve organize hareketinin gerçekleştirilmesi zordur. Robotların ortak davranışlar sergilemesi için yöntem geliştirmek oldukça güçtür.

### 3.3.2 Robot ayrılaşması yaklaşımları

Kontrol yaklaşımının geliştirilmesinde kullanılan özelliklerden birisi de robotlar arası farklılık durumudur. Grup içerisinde yer alan robotlar, tektürel ya da çoktürel olabilir. Robotların, bireysel yetenekleri aynı ise tektürel, farklı ise çoktürel olarak adlandırılmaktadır. Her iki yaklaşımı kullanan çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır.

Tektürel robotlardan oluşan gruplarda, özdeş yeteneklere sahip robotlar grup içerisinde sergiledikleri ortak davranışlar ile yeni kabiliyetler kazanmaktadırlar. Tektürel robotlarla ilgili çalışmalar genellikle, ortak taşıma, alan kapsama, dağıtık algılama gibi görevlerde yapılmaktadır. Sürü robotik olarak tanımlanan yaygın çalışma alanında, karıncalar, arılar ve kuşlar gibi sürü halinde hareket edebilen canlıların sosyal yaşamlarının gözlemlenmesinden esinlenilmektedir. Bu canlıların sürü içindeki davranışları robotlar için modellenmeye çalışılmaktadır. Bu alanda kullanılan robotlar oldukça basit çalışma mekanizmalarına sahiptirler.

Çoktürel robot gruplarında, robotların yetenekleri birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Belli bir görevde uzmanlık ön plandadır. Çoktürel robotlardan oluşan gruplarda, farklı uzmanlıklara sahip robotların bir araya gelmesi ile ortak kabiliyetler artmaktadır. Buna bağlı olarak yapılabilecek görev sayısı da artmaktadır. Ancak, çoktürel robot sistemlerinde çözüm bekleyen önemli problemler vardır. Bunlardan en önemlisi, robotlar arasında görev paylaşımının yapılmasıdır. Robotların ayrı ayrı modellenmesi gerekliliği vardır. Robot kabiliyetlerini göz önünde bulundurarak,

görevlerin planlanması da zor bir problemdir.

### 3.3.3 Haberleşme yapısı yaklaşımları

Çoklu robot gruplarında haberleşme, çok önemli bir yer tutmaktadır (Arai et al., 2002; Parker, 2000). Robot takımlarının işbirliği içinde çalışmasında ve bilgi paylaşımında haberleşmenin rolü büyüktür. Gezgın robotlarda haberleşme, dolaylı ve açık olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Dolaylı haberleşme, robotların diğerk hareketlerinin birer yan etkisi şeklinde ya da çevrede yaptıkları değışiklikler sonucu ortaya çıkar (Pagello et al., 1999). Bir robot, takım üyelerini sadece sonar, kamera gibi algılayıcılarını kullanarak etkileyebilir. Örneğın; bir alanın temizliğini yapan iki robot olsun. Her iki robotta, temizlenmiş bölgeleri temizlenmemiş bölgelerden ayırt edebilmektedir. Robotlar birbirlerine açıkça temizledikleri yerleri bildirmemelerine rağmen; temizlenmiş yerleri algılayabilmekte ve bu kısımları temizlemekle zaman harcamamaktadır. Görüldüğü gibi robotlar, çevreye yaptıkları değışiklikler aracılığıyla birbirleri ile haberleşmektedirler. Bunun iyi tarafı, dolaylı haberleşmenin gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Robotlardan biri diğerkinden bu bilgiyi saklayamaz. Bu nedenle de, gürbüz bir haberleşme şeklidir (Zebrowski, 2004). Bu tip bir haberleşmede önceden tasarlanmış bir haberleşme alt yapısına ihtiyaç yoktur.

Açık haberleşme, bilginin takımdaki diğerk robotlara aktarılması için tasarlanmış eylemlerdir. Maksatlı olarak bilginin gönderilmesi ve alınması söz konusudur. Genellikle, alt yapıda bulunan kablosuz ethernet, kızılötesi seri port, ya da mavidiş (bluetooth) gibi özel haberleşme donanımı ile oluşturulmuş haberleşme mekanizmaları kullanılır. Çoklu robot sistemlerinde açık haberleşme, tüm robotlara (broadcasting) ya da tek bir robota (unicasting) yönelik kullanılır.

Dolaylı haberleşmenin, açık haberleşmeye göre bazı avantajları vardır. Bunlar, basitlik, bozuk haberleşme ortamlarında gürbüzlük, düşük güç tüketimi olarak sıralanabilir. Haberleşme ağı ya da diğerk haberleşme mekanizmalarına bağımlı değildir. Balch ve Arkin (1994), haberleşmenin robot gruplarının performansını önemli derecede arttırmasına rağmen, dolaylı haberleşmenin gerçekleştirebildiği görevlerde açık haberleşmeye gerek olmadığını iddia etmektedir. Ancak, genellikle daha karmaşık işbirliği gerektiren görevler, dolaylı yoldan aktarılamayacak detaylı ve soyut bilginin

paylaşılmasını gerektirir. Dolaylı haberleşme, robotların algılayıcıları ile algılayabildikleri ile sınırlıdır. Bunun yanında, çevre üzerindeki değişiklikler ile gönderilebilecek bilgi miktarı da sınırlıdır.

Açık haberleşmenin de avantaj ve dezavantajları vardır. En önemli avantaj, robot takım üyeleri arasında zengin bilgi paylaşımının sağlanmasıdır. Dezavantajları ise, sistemin haberleşme mekanizmaları ve altyapısına bağımlılığı ve güvenilir olmayan haberleşme altyapısına karşı güçlü olamamasıdır.

Ayrıca, robot takımlarının açık haberleşmelerinde kullanılmak üzere, dillerin temsillerinin oluşturulması ve bu temsillerin fiziksel dünyada bir zemine oturtulması üzerine yoğunlaşmaktadır (Hugues, 2000; Jung and Zelinsky, 2000).

Literatürde, her iki tip haberleşme yaklaşımını da kullanan çalışmalar mevcuttur. Dolaylı haberleşme yapısını kullanan bazı önemli çalışmalar şunlardır: Kuniyoshi (1994), çoklu robot işbirliği için görüntü tabanlı davranışlar geliştirmiştir. Bu davranış tabanlı mimaride, gözleme dayanan işbirliği gerçekleştirilmektedir. Böylece, geliştirilen işbirlikçi davranışlar bazı senaryolarda kullanılmıştır. Senaryolardan birinde, robotlardan birisi bir kutuyu itmekte, diğeri ise onu gözlemektedir. Kutu iten robotun hareket istikametinde çarpma üzere olduğu bir engel bulunmaktadır. Gözleyici robot bu engeli farketmekte ve engeli iterek kutu taşıyan robotun yolunu açmaktadır. Diğer bir senaryoda, robotlardan biri bir kutuyu belli bir noktaya kadar itmekte ve geri çekilmektedir. Onu gözlemleyen diğer robot, kutunun artık itilmediğini algılamakta ve kutuya yaklaşarak aynı istikamette kutuyu ittirmeye devam etmektedir. Böylece, sadece gözleme dayalı dolaylı bir haberleşme ile işbirliği gerçekleşmektedir. Dudek et al. (1995), yaptığı çalışmada robotlar arasındaki müşterek amacı gerçekleştirmek üzere görsel algılamayı kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir robot diğer bir robotu izlemektedir. Ancak, burada açık haberleşmeden de faydalanmanın performansı arttıracığı sonucunu çıkartmıştır. Birbirini izleyen araçların dönüşlerinde birbirine sinyal vermesi gibi, burada takip edilen robotun yapacağı hareketleri önceden bildirmesi daha düzgün bir takibin oluşmasını sağlamaktadır. Pereira et al. (2002), nesne taşıma görevi için robot takımının koordinasyonunda açık haberleşmeye başvurmamıştır. Yapılan bu çalışmada, nesne taşıma görevinin gerçekleştirilmesi için yerel algılama bilgilerinin kullanıldığı bir haberleşmenin, açık haberleşme ile birlikte ya da onun yerini alacak şekilde kullanılabilirliğini göstermişlerdir. İki robot karşılıklı bir kutuyu hedef noktasına



taşımaktadır. Bu esnada, birbirlerinin kutuya yaptıkları kuvveti hissederek hareket etmektedirler.

Diğer taraftan, robot takımlarının ortak çalışmalarında açık haberleşmenin kullanıldığı çok sayıda çalışmalar da mevcuttur. Asama et al. (1991), robot gruplarının birbirine çarpılmaktan sakınmaları için kural ve haberleşme tabanlı bir yöntem önermiştir. Bu çalışmada, robotların hareket istikametlerinin çakışması durumunda, kural tabanlı yaklaşım kullanarak ve sahip oldukları telsiz haberleşme sistemleri vasıtasıyla mesaj alışverişi yaparak çarpışmadan sakınmaktadırlar. Ichikawa et al. (1993), yaptıkları çalışmada sürü anlayışı ile işbirlikçi çoklu robot davranışları geliştirmektedir. Robotlar arasında, "Hello-Call" olarak adlandırılan bir haberleşme düzeni kullanılmaktadır. Bu düzen, mutlak konum bilgisi kullanmayan bir seyrüsefer metodudur. Burada, haberleşme alanı içindeki robotlar birbirlerinin bağıl yön bilgilerini kullanmakta ve hareket halinde olsalar bile haberleşmeyi kaybetmemektedirler. Arkin et al. (1993), basit bir haberleşmenin toplama görevindeki robot gruplarının performansına etkisini göstermek üzere bir çalışma yapmıştır. Robotlar, takım arkadaşlarının davranış durumlarının en az bilgisini almaktadır. Bu çalışmada çıkartılan sonuç, haberleşmenin performansı çok az arttırdığı yönündedir. Matellan ve Borrajo (2001), yaptıkları çalışmada, otonom robotların ortak çalışmalarını mümkün kılan bir kontrol modeli sunmaktadırlar. Kararlaştırılmış hareketlerin listesini tutmak üzere bir not defteri kullanılmaktadır. Hareketler not defterine, diğer hareketler, çevredeki olaylar, ya da diğer robotlardan gelen istekler doğrultusunda eklenmektedir. Robotların birbirlerinden, her hangi bir hünerini sergilemesini isteyebilmesi ya da birbirlerine bilgi gönderebilmeleri için bir mesaj yapısı tanımlanmıştır. Çalışma, futbol oynayan robotlarda uygulanmıştır. Murphy et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada, algı-motor seviyesinde aktif davranışların yeniden gözden geçirilmesinde ve şematik seviyede aktif davranışların değiştirilmesinde çok katmanlı hiyerarşik duygular kullanılmıştır. Servis yapan robotlarda uygulanan bu yaklaşım için, telsiz ethernet üzerinden KQML (Knowledge Query Markup Language) asenkron olarak robotlar arası haberleşmede kullanılmıştır. Gerkey ve Mataric (2002), yaptıkları çalışmada, robotlar arasında görev dağılımını gerçekleştirmek üzere, bahis yaklaşımını kullanmıştır. Bu yaklaşımda, görev tüm robotlara yayınlanmakta, onlardan gelen bahisler toplamakta ve kazanana görevi yapma fırsatı verilmektedir. Burada kullanılan haberleşmede, yayınlama/abone ol

(publish/subscribe) haberleşme yöntemi kullanılmıştır. Donanımsal altyapıda, telsiz ethernet kullanılmış ve tüm robotlar birbirleriyle haberleşebilmektedir.

Bazı çalışmalar ise, açık ve dolaylı haberleşme üzerindeki karşılaştırmaları içermektedir. Balch ve Arkin (1994), yaptıkları çalışmada, üç farklı görev için haberleşme çeşitlerinin etkinliği test etmişlerdir. Yapılan denemeler sonrası elde ettikleri sonuçlar şu şekildedir: Az bir çevresel haberleşme ile görevlerde performans önemli düzeyde artmaktadır. Dolaylı haberleşme içeren görevlerde, açık haberleşme gerekli değildir. Karmaşık haberleşme yöntemleri, düşük seviye haberleşmeye göre az bir fayda sağlar ya da hiç fayda sağlamaz. Jung et al. (1997) tarafından yapılan çalışmada, temizlik görevi için hem açık ve hem de dolaylı haberleşme gerçekleştirilmiştir. Belirttikleri sonuçlar içerisinde, dolaylı haberleşme yerine açık haberleşme kullanarak görevin tamamlanma performansını arttırdıklarını iddia etmişlerdir.

### 3.4 Çoklu Robot Kontrol Yaklaşımları ve Mimarileri

Birçok araştırma, çoklu gezgin robot sistemleri için kontrol mimarileri oluşturmak üzere gerçekleştirilmiştir. Çoklu robotlar için geliştirilen bu mimariler, robot takımlarına belirli bir kabiliyeti kazandırmak üzerine odaklanmıştır. Bu kabiliyetler, görev planlama, hata dayanıklılığı sağlama, görev tahsis etme gibi belirli problemlere vurgu yapmaktadır.

Parker (1998;1999), *Alliance* adı verilen hatalara dayanıklı çoklu robot işbirliği için bir mimari geliştirmiştir. Bu mimaride, aralarında zayıf bağ bulunan alt görevlerden oluşmuş işleri yerine getiren çoktörel gezgin robot takımlarının dağıtık kontrolü gerçekleşir. Takımdaki her robotun üzerinde, yapılacak görevlerle ilgili olarak harekete geçecek davranış setleri mevcuttur. Bu davranış setlerinden hangisinin aktif olacağı, güdüleyici davranışlar ile gerçekleşmektedir. Bu güdüleme davranışları, sabırsızlık ve kabullenme duygularını içermektedir. Bir işin tamamlanamadığını gören bir robotun sabırsızlık değeri artmakta ve belli bir eşik değerine ulaşırsa, görevi üstlenmek üzere harekete geçmektedir. Böylece, hata durumlarında sistem dayanıklılığı sağlanmaktadır. Farklı uygulamalar ile mimari yapının etkinliği gösterilmiştir. Bu yapı, bağımsız görevlerde çalışan robotlar için geçerlidir ve uygulama için davranış dili

kullanmaktadır. Bütün görevler, bütün robotlarda mevcuttur. Sistemin yeni bir görevi yapabilmesi için, o göreve yönelik olarak robot kontrol mekanizmalarının tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, bir robotun başka bir robotu bir kaynak için beklediğinde, mimarının nasıl tepki vereceği açık değildir.

Mimari yapısında duyguların kullanıldığı bir başka çalışma da, Murphy et al. (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, birbirine bağlı görevlerin yapılması esnasında, hareketlerin seçilmesinde duygular kullanılmaktadır. En az seviyede haberleşme kullanılmakta ve merkezi olmayan planlama içermektedir. Bu çalışmada, asıl ilgilenilen görev tipi birbirine bağlı görevlerdir (interdependent). Bağlı görevler ile kastedilen şey, görevin bir ya da daha çok robot tarafından ardışık bir sıra ile gerçekleştirilecek adımlar içermesidir. Örneğin, şarj olacak ve şarj istasyonu olarak görev yapan iki robot olduğu kabul edilsin. Bu durumda şarj olacak robot kaynaktır. Şarj istasyonu olarak görev yapan robot, şarj olacak robot kendisine yanaşana kadar görevini tamamlamaz. Aynı şekilde, şarj olacak robotta şarj istasyonu robot hazır olmadıkça ona yaklaşamaz. Mimari, iki durum üreticisi içermektedir. Bunlar, davranış durum üreticisi (Behavior State Generator-BSG) ve duygusal durum üreticisi (Emotional State Generator-ESG) şeklindedir. BSG, girdileri doğrudan motor hareketlere dönüştürürken; ESG davranışı daha iyi çalışır hale getirmektedir. Şöyle ki; robot “buraya gel” mesajı aldığı anda BSG hedefe git davranışını aktifleştirir. Ancak, “acele et” mesajı aldığı anda ESG davranışı daha iyi ilerleme sağlayacak şekilde uyarlar. Hızını arttırır, engellere olan hassasiyetini düşürür, v.b. Geliştirilen bu mimarının uygulaması için içecek servis görevi seçilmiştir. Görevi yerine getirmek üzere, servis robotu ve dolum robotu olmak üzere iki robot kullanılmaktadır. Servis robotu insanlar arasında dolaşır, içecek dağıtmakta; dolum robotu ise, servis robotundaki içecekler boşalınca yanına giderek bunları doluları ile değiştirmektedir. Böylece, servis robotu dolum istasyonuna giderek zaman harcamamaktadır. Bu işte, servis robotu içecekler tükenince dolum robotunu çağırılmaktadır. Dolum robotu engele takılıp, gelmesi gecikince servis robotu daha fazla beklemeyip, dolum aracını yolda karşılamak üzere gitmektedir. Bu yaklaşımda, belirli görevleri yerine getirmek üzere önceden tasarlanmış robotlar, özel bir uygulamayı gerçekleştirmektedir. Bir görev paylaşımı, söz konusu değildir. Ancak, robotların işbirlikçi çalışmasında duyguların kullanımını göstermesi açısından önemli bir çalışmadır.

Gerkey ve Mataric (2002), “MURDOCH” olarak adlandırılan ve görev tahsisatının gerçekleştirildiği hataya dayanıklı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda, iki temel kısım içerilmektedir. Bunlar, yayınla/kaydol (publish/subscribe) mesajlaşma ve müzayede iletişim kurallarıdır. Yayınla/kaydol mesajlaşma yapısı, adres belirtmeksizin yapılan haberleşmeyi içermektedir. Bir veri kaynağı, mesaj içeriği ile ilgili bir başlığı haberleşme kanalı üzerinden yayımlar. Bu konu ile ilgilenen veri alıcıları, bu başlık için veri kaynağına kaydolur ve mesaj içeriğini otomatik olarak alır. Yaklaşımın diğer kısmını, müzayede iletişim kuralları oluşturmaktadır. Geliştirilen yaklaşımda, bu iletişim kuralları görevlerin tahsis edilmesinde kullanılır. Bir robot, elindeki bir görev için ilan mesajı yayımlar. Mesaj, görevle ilgili olarak isim, boyut, konu gibi detayları içerir. Ayrıca, mesaj her bir robotun uygunluğunu belirlemesi için metrikler içerir. Metriklerin robotlarca çözümlenmesinin ardından her aday robot kendi uygunluk skorunu müzayedeye açan robota mesaj ile gönderir. Belirli bir süre boyunca talepleri toplamak üzere bekleyen robot, gelen talepleri değerlendirerek kazananı belirler. Robotlara müzayedenin kapandığını belirten mesaj yollar. Kazanan robotla, belli bir zaman kısıtı içinde görevi tamamlaması için anlaşma yapar. Diğer robotlar dinlemeye devam eder. Müzayede açan robot, görevin yapılıp, yapılmadığını takip eder. Görevin tamamlanması için tanınan süre zarfında tamamlanmayan görev tekrar müzayedeye çıkartılır. Bu yaklaşım, kutu itme, nöbet tutma, temizlik ve nesne gözlemlenme olmak üzere dört farklı görevde uygulanmıştır.

Matellan ve Borrajo (2001), ortak çalışmaya olanak sağlayan otonom çok erkinli robotların kontrolü için bir mimari sunmuştur. Bu mimari, iki seviyeli bir yapıdan meydana gelmektedir. Basit hareketleri içeren tepkisel beceriler, ilk seviyede yer almaktadır. İkinci seviyede, temel becerileri bütünleştirmek, etkinleştirmek ve eşgüdümlemek üzere fırsatçı bir planlama mekanizması olarak kullanılan bir ajanda kullanılmaktadır. Mimari, merkezinde sonsuz bir döngü içinde işleyen kontrol süreci bulunmaktadır. Ayrıca, bu kontrol sürecinin kullandığı 5 parça bulunmaktadır. Bu parçalardan biri basit ve tepkisel denetleyicileri içeren *beceri* parçasıdır. Diğerleri, hareketlere karar vermekte kullanılan kuralları içeren *sezgisel* parça; robotun gruptaki diğer robotlarla ilgili sahip olduğu bilgileri içeren *sarı sayfalar* parçası; dünya durumları ile ilgili betimlenmiş bilgi barındıran *bilgi* parçası; kendi amacı doğrultusunda ya da diğer robotlardan gelen talepler neticesinde belirlenen hareketlerin listesini tutan *ajanda*

parçasıdır. Hem tepkisel hem de düşünsel kontrol yapılarını içeren bu çalışma, melez mimari yapısına sahiptir. Bu mimari, robot futbolunda ve kutu itme görevinde uygulanmıştır.

Asama et al. (1989) tarafından sunulan ve *ACTRESS* olarak adlandırılan otonom ve dağıtık robot kontrol yaklaşımı, çoklu robot sistemlerinde yapılan araştırmaların ilk kez başladığı dönemde ortaya atılmıştır. Bu yaklaşımda, mesajlaşmaya dayalı bir ortak çalışma gerçekleştirilmektedir. Robotlar için, içinde bulunulan duruma göre geçiş yapılabilen bireysel ve ortak çalışma modları tanımlanmaktadır. Uygulama olarak kutuların itilerek belli noktalara taşınması görevi gerçekleştirilmektedir. İki robot kullanılmaktadır. Ortamda tek robotun ve iki robotun itebileceği iki tipte kutular rastgele bulunmaktadır. Robot, iteceği kutu küçük kutu ise bireysel modda çalışmakta ve yol planı yaparak kutuyu itmektedir. Eğer, büyük kutu itilecekse yardım istemek üzere ortak çalışma moduna geçmektedir. Ayrıca, kutu itme yardımı talebi aldysa, ikinci bir ortak çalışma moduna geçerek yardıma gitmektedir. Böylece, robotlar buldukları durumlara göre üç farklı modda hareket etmektedir.

Çoklu robot sistemlerini, matematiksel olarak modelleyerek bir kontrol gerçekleştirmek istenen çalışmalarda mevcuttur. Lerman et al. (2004) çalışmalarında, çok erkinli sistemlerin ortak davranışlarının matematiksel modelleri göstermektedir. Matematiksel modelleri, iki gruba ayırmıştır: Mikroskopik ve makroskopik. Mikroskopik modeller, erkini modelin temel birimi olarak ele alır. Ancak, makroskopik modeller, doğrudan bir erkin grubunun ortak davranışlarını tanımlar. Zor çevrelerde, basit erkinlerin davranışı karmaşıktır. Bu nedenle, çok erkinli sistemlerin bir stokastik sistem gibi olasılıkla en iyi tanımlanacağı belirtmektedir. Bu çalışmada, nesnelere bir bölgeye toplama (foraging) ve ortak çalışma (collaboration) ile yatık durumdaki silindirik boruları dikme şeklinde en eski ve en çok çalışılan problemlerde model oluşturulmuştur. Sunulan oran denklem (rate equation) yaklaşımının, Markov (Erkinin gelecekteki durumları sadece şu andaki durumuna bağlıdır) ve yarı-Markov (o durumda ne kadar süre harcadığına bağlı, geçmişteki durumlara bağlı değil) sistemler için geçerli olduğu söyleniyor. Böylece, tepkisel ve davranış tabanlı robotik sistemleri Markov özelliğine uyarken; hafızalı, öğrenme ya da düşünme kapasitesine sahip sistemler Markov özelliğine uymaz ve bundan dolayı, bu çalışmada sunulan basit modeller ile tanımlanamazlar şeklinde bir sonuca varmaktadır.

Iocchi ve Nardi (2003) tarafından yapılan çalışmada, dinamik rol atamaya bağı çoklu robot sistemlerinin dağıtık koordinasyonu için bir mimari önerilmiştir. Bu mimaride, her robotun bir görev için yeterliliğini tanımlayan fayda fonksiyonun haberleşme kanalından yayınlanarak paylaşılmasını içermektedir. Yöntemin yapı blokları, bir haberleşme katmanı ve koordinasyon iletişim kurallarından oluşmaktadır.

Chaimowicz et al. (2004), tarafından yapılan çalışmada ortak çalışma gerektiren işlerin yapılmasında çoklu robotların koordinasyonu için yöntem önerilmektedir. Bu değerler dizisinde, rollerin robotlara atanması ve görevin başarılı bir şekilde tamamlanması için rol değişimi söz konusudur.

## BÖLÜM 4

### ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu tezde, çöktürel çoklu robot sistemleri için bir kontrol mimarisi ve görev atama yaklaşımı sunulmaktadır. Bu yaklaşımda, çoklu robot sistemlerinin karmaşık kontrol yapıları için modüler, hata dayanıklılığına sahip, genişleyebilir ve tasarımı kolaylaştıran bir kontrol mimarisi geliştirmek üzerinde odaklanılmıştır. Ayrıca, görev ataması içinde fırsatçı bir yaklaşım önerilmiştir.

Tasarım aşamasında, sistemle ilgili olarak bazı kabullenmeler yapılmıştır. Tasarım bu kabullenmeler dahilinde gerçekleştirilmiştir. Kabullenmeler, şu şekildedir:

- Çoklu robot sistemi, fiziksel ve belli bir geometrik şekle sahip robotlardan oluşmaktadır.
- Robotlar, çöktürel; yani ortak ve/veya farklı becerilere sahip olabilirler.
- Sisteme herhangi bir zamanda bir robot dahil olabilmektedir.
- Robotlar, tamamen ya da kısmen hizmet dışı kalabilir.
- Robotlar, çok amaçlıdır; göreve özel değillerdir.
- Robotlar açık haberleşmeye sahiptirler.
- Robotlar dürüst ve işbirlikçidir.
- Robotlar, bir görevi icra edecekse; görevin ilerleyişini ve tamamlanmasını belirleyebilir.

Kabullenmeler, gerçek bir ortamı tanımlamaktadır. Geliştirilen yöntemin uygulama sahasını daraltmamaktadır. Aksine, ilk beş kabullenme, problemin güçlüğünü arttırmaktadır.

Geliştirilen yaklaşımda, çoklu robot sistemine bazı yönlerden kazanımlar sağlamak üzere çaba gösterilmektedir. Bunlar,

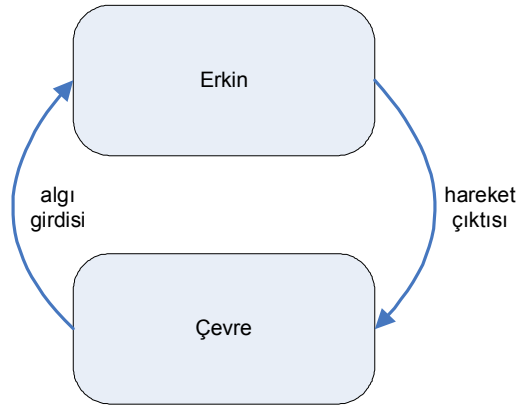
- Kaynakların kullanımı,
- Görevlerin tamamlanma süreleri,
- Hata dayanıklılığı,
- Genişleyebilirlik,

- Modülerlik,

şeklinde listelenebilir. Bu değerler, çoklu robot sistemleri için kontrol yaklaşımları geliştirilen çalışma tarafından ele alınmaktadır. Bir sonraki bölümde, önerilen kontrol yaklaşımının yöntemi verilmektedir. Ancak öncelikle, önerilen kontrol mimarisinin erkin tabanlı bir yaklaşımı kullanması nedeniyle, erkinler ile ilgili bilgi verilmektedir.

#### 4.1 Erkinlerin Tanımı

Erkinlerin tanımı ile ilgili tam bir fikir birliği yoktur. Ancak, otonom olmaları genellikle kabul gören özelliktir. Programlama açısından erkinler, bir çevre içinde bulunan ve tasarım amaçlarına hizmet edecek şekilde bu çevrede otonom hareket edebilen bilgisayar sistemleridir (Weiss, 2000; Wooldridge, 2002). Şekil 4.1’de görüldüğü gibi erkin çevresinden algısal girdi alır ve çevresini etkileyecek hareket çıktıları üretir. Bu etkileşim süreklidir.



**Şekil 4.1** Bir çevre içindeki erkin

Kabaca tanımlanan erkin kavramını zeki erkinlerin tanımı ile açılabilir. Zeki erkin ile ifade edilmek istenen, tasarım amaçlarını karşılamak üzere esnek otonom hareketler gerçekleştiren erkinlerdir. Burada esneklik, erkinlerin çevresine karşı tepkisel olması, tasarım amaçlarını sağlamak üzere inisiyatif alarak hedef güdümlü davranış sergileyebilmesi ve tasarım amaçlarını gerçekleştirmek üzere diğer erkinler ile etkileşim kurabilmesini ifade etmektedir.



Yazılım açısından bakıldığında, erkinler nesnelere benzetilebilir. Ancak, erkinler metotlar ve uzantılar ile tanımlanmak yerine davranışlar ile tanımlanmaktadır. Bu önemlidir; çünkü bir erkin tabanlı sistem, sınıflar, metotlar ve uzantılar tanımlamak yerine erkin davranışları tanımlar. Her erkin, tekbaşına bir süreç gibi çalışma yeteneğine sahiptir.

Erkinlerin temel kullanım sebebi, karmaşık yazılım yapılarını yönetilebilir hale getirmektir. Erkinler, birçok avantaj sağlar. Ancak, kusursuz bir yapı da değildir. Erkin tabanlı yaklaşım kullanılacak sistemler bu yaklaşıma uygun olup olmadıkları dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir. Erkinler, dağıtık hesaplama yapmaya uygun olmaları nedeniyle ağ ve internet ortamları için kullanışlı olabileceği gibi, tek bir makine üzerinde kullanılması da faydalı olabilir. Erkinler, eşzamanlı olarak aynı işlemcide çalışabilir ya da çok sayıdaki işlemcilerle kolaylıkla dağıtılabilir.

Bir sistem tasarlanırken her fonksiyon için bir erkin kullanmak çok mantıklı olmayabilir. Erkinler arasındaki veri haberleşme gereksinimi, haberleşme bant genişliği, işlem gücü, hafıza ve bilgisayar kaynaklarındaki kısıtlar dikkate alınarak, sistem mimarisi geliştirilmelidir.

Karmaşık yazılım erkinlerinin kurulması oldukça zordur. Belirli alanlarda, özel yetenek ve bilgiye ihtiyaç duyulur. Bu alanlar, erkin mimarisi, haberleşme teknolojisi, karar verme sistemleri, bilginin betimlenmesi, erkin haberleşme dilleri ve iletişim kuralları şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, öğrenme ve planlama yetenekleri de eklenmek istenebilir. Diğer taraftan, erkin tabanlı uygulama sistemleri oluşturmak için bu alanlardaki yöntemleri içeren çok sayıda yazılım araçları internet ortamında sunulmaktadır<sup>1</sup>.

## 4.2 Yöntem

### 4.2.1 Erkin tabanlı kontrol mimarisi

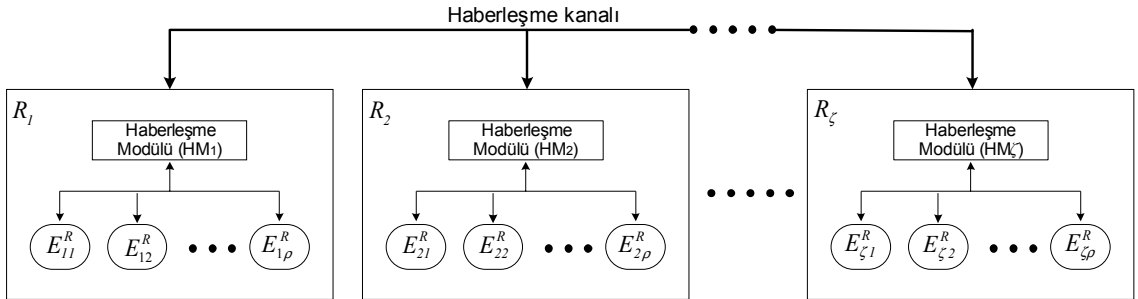
Çoklu robot sistemleri için, erkin tabanlı bir mimari kullanılmaktadır. Böylece, erkin tabanlı programlamanın sağlayacağı faydalardan çoklu gezgin robot sistemlerinin

<sup>1</sup> <http://www.agentlink.org>, <http://www.agentbuilder.com>

kontrolünde istifade edilmesi düşünülmüştür. Erkin tabanlı programlamanın bazı faydaları şu şekilde sıralanmaktadır (Sycara, 1998; Vlassis, 2003):

- *Hızlanma ve etkinlik* Paralel ve asenkron hesaplama yapısından dolayı,
- *Gürbüzlük ve güvenilirlik* Bir ya da birden çok erkin başarısızlığa uğradığında, tüm sistem kısmi bozunuma katlanabilir,
- *Ölçeklenebilirlik ve esneklik* yeni erkinlerin sisteme dahil edimesinin kolaylığından,
- *Geliştirme ve tekrar kullanılabilirlik* Modüler bir yazılımın tek parça yazılıma göre geliştirilmesi ve bakımının yapılmasının daha kolay olmasından.

Erkin tabanlı mimaride, Şekil 4.2’de en genel gösterimi ile verilen yapı kullanılmaktadır.  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, \zeta$  şeklinde tanımlanan çoklu robot sistemi içindeki robotların kontrolü, işleyişlerini gerçekleştirmek üzere çeşitli rolleri üstlenmiş olan  $E_{ij}^R$ ,  $i \in [1, \zeta]$  ve  $j \in [1, \rho]$  şeklinde tanımlanan rol erkinlerinin, *Haberleşme Modülleri* ( $HM_i$ ,  $i \in [1, \zeta]$ ) tarafından sağlanan kolaylaştırılmış iletişim hizmetleri ile koordinasyon içinde çalışmasıyla sağlanmaktadır. Robotlar arasında da bir iletişim mevcuttur. Bir erkin grubu içerisinde, her erkinin belirli rolleri üstlenmesi koordinasyon için kullanılan bir yöntemdir. Rol atama, erkinlerin gerçekleştireceği eylem kümesini azaltmakta ve verilen bir dünya durumunda erkinin eylem kümesi üzerinde bir maskeleyme operatörü gibi çalışmaktadır.



**Şekil 4.2** Erkin tabanlı robot kontrol mimarisinin en genel gösterimi

**Tanım 1.** Çoklu robot sisteminde  $\zeta$  tane robot bulunmaktadır.  $R = \{R_i \mid i = 1, \dots, \zeta\}$  ifadesi ilgilenilen çoklu robot sisteminde yer alan robotların kümesini tanımlamaktadır. Herhangi bir  $i \in [1, \zeta]$  için,  $E_i^R = \{E_{ij}^R \mid \forall j \in [1, \rho]\}$  ifadesi ise, sistemdeki her  $i$  indisli robotta ( $R_i, i = 1, \dots, \zeta$ ) yer alan rol erkinlerinin kümesini tanımlamaktadır.

Her bir robotun kontrolü iki şekilde sağlanabilir. Rol erkinlerinin yapacakları faaliyetler, bir robotun kontrolü için tek bir bilgisayar programı altında gerçekleştirilebilir. Rol erkinlerinin yapacakları faaliyetler, birer sistem olarak tanımlanırsa; bu yapı seri sistemler olarak düşünülebilir. Diğer taraftan, erkin tabanlı bir sistemde olduğu gibi her rol erkininin yapacakları faaliyetler, bir robotun kontrolü için farklı bilgisayar programları altında dağıtık hesaplama ile gerçekleştirilebilir. Bu yapı ise, paralel sistemler olarak düşünülebilir. Bu durumda, paralel sistemin seri sisteme göre daha güvenilir olacağı gösterilebilir (Baumann, 1999). Sistemin ömrünü,  $F$  birikimli dağılım fonksiyonu ile  $X$  rassal değişkeni kullanılarak tanımlansın. Bu durumda, güvenilirlik şu şekilde tanımlanabilir:

**Tanım 2.** (Güvenilirlik) Güvenilirlik, sistemin  $t$  anına kadar hayatta kalma olasılığını belirten bir  $R(t)$  fonksiyonu ile tanımlanabilir.  $R(t) = P(X > t) = 1 - F(t)$ .

Bu tanımlamaya göre, sistem başlangıçta çalışmaktadır ( $R(0) = 1$ ) ve sonlu ömrü vardır ( $R(\infty) = 0$ ).

Eğer,  $F(t)$  üstel dağılımın birikimli dağılım fonksiyonu olarak tanımlanırsa,  $R(t) = e^{-\lambda t}$ , ( $\lambda$  değiştirgesi, başarısızlık oranıdır) olarak tanımlanır.  $X$  rassal değişkeninin, olasılık yoğunluk fonksiyonu  $f(t) = \lambda \cdot R(t)$  olur. Bu durumda sistemin, beklenen ömrü

$$E(X) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda \cdot R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.1)$$

ifadesi ile bulunmaktadır. Bu eşitlik, tek bir sistem için beklenen ömrü vermektedir. Seri seri sistemler,  $n$  tane sistemin seri bağlaması ile ifade edilebilir. Seri sistemlerde herhangi bir sistemin başarısızlığı tüm sistemin başarısızlığı ile sonuçlanır. Seri bağlı sistemler için güvenilirlik şu şekilde ifade edilebilir:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4.2)$$

ve beklenen değer de

$$E_s(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4.3)$$

olur. Sistemin her parçası için başarısızlık oranı  $\lambda$  olarak seçilirse, beklenen değer

$$E_s(X) = \frac{1}{n\lambda} \quad (4.4)$$

olur. Paralel sistemler, erkin tabanlı sistemlere benzetilebilir. Bu durumda paralel sistemler için güvenilirlik

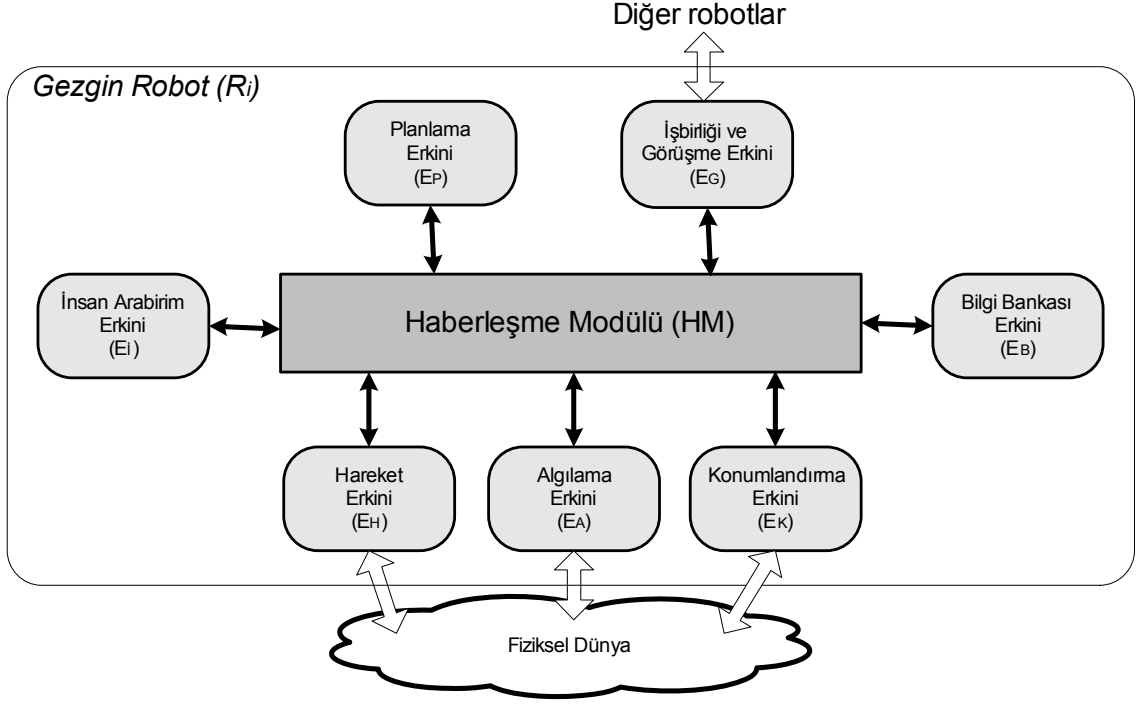
$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (4.5)$$

olur. Sistemin her parçası için başarısızlık oranı  $\lambda$  olarak seçilirse, beklenen değer

$$E_p(X) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \approx \frac{\ln(n)}{\lambda} \quad (4.6)$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi, paralel sistemin seri bağlı sisteme göre daha uzun süre hayatta kaldığı görülmektedir. Buradan, erkin tabanlı sistemlerin, seri sistemlere göre daha güvenilir olduğu sonucu çıkarılabilir.

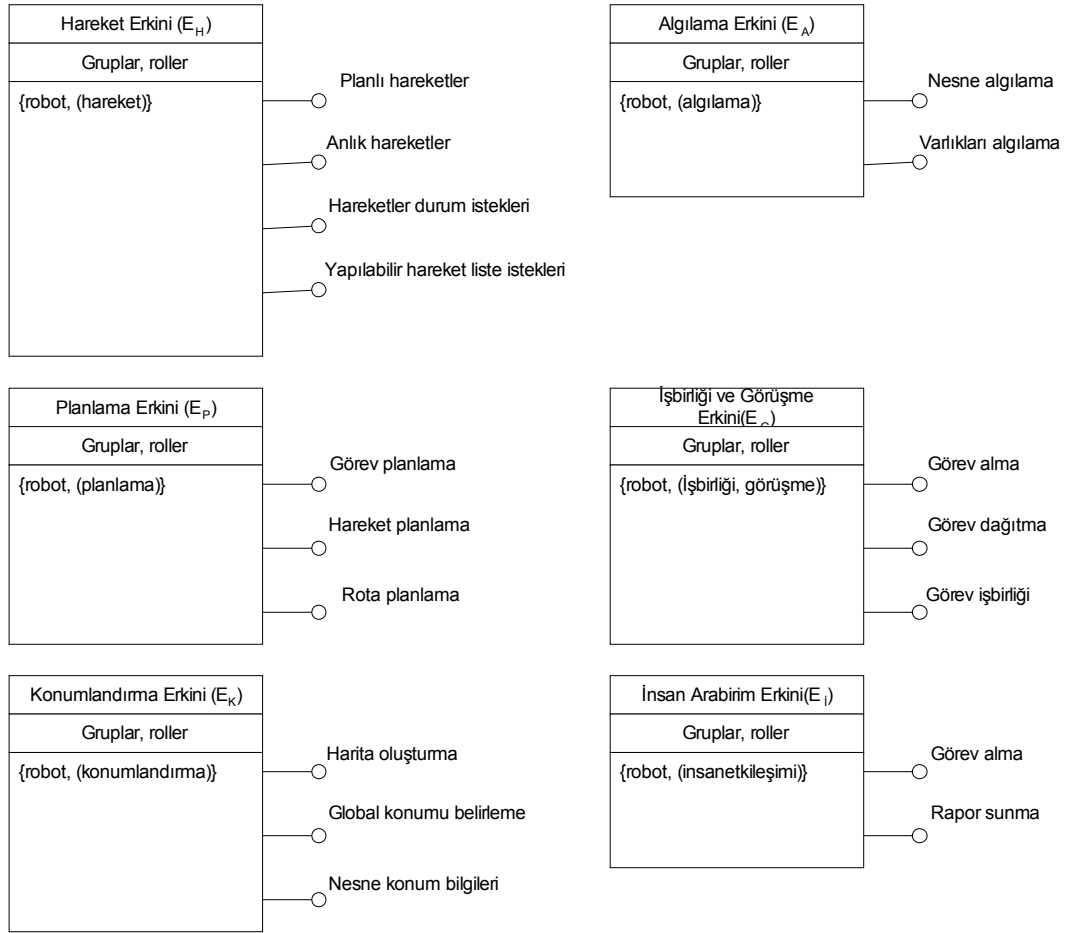
Erkin tabanlı çoklu gezgin robot kontrol mimarisinde, bir grup içinde yer alan robotun sahip olması gereken fonksiyonlar göz önünde bulundurularak, Şekil 4.3'de gösterimi verilen çoklu robot sistemindeki bir robotun yapısı ortaya çıkmaktadır. Sistemde, farklı rollere sahip erkinler sosyal bir gezgin robotun sahip olması gereken işlevleri yerine getirmektedir. Tanım 1'de verilenler çerçevesinde  $R_i$  robotun için  $E_i^R = \{E_p, E_G, E_I, E_B, E_H, E_A, E_K\}$  olarak tanımlanmaktadır. Erkinlerin sahip oldukları rollerin kapsamını daraltarak sistemdeki erkin sayısı arttırılabilir. Örneğin; planlama erkini, hareket planlama erkini, yol planlama erkini ve görev planlama erkini şeklinde parçalanabilir. Ancak, erkin sayısının artması haberleşme yükünü de arttıracığından sistem performansını olumsuz yönde etkileyebilir.



**Şekil 4.3** Erkin tabanlı mimari yaklaşımında bir robotun yapısının genel gösterimi

Erkinler kavramsal olarak incelendiğinde, üç ana esastan oluşacak şekilde modellenebilir (Ferber and Gutknecht, 1998). Bu esaslar, erkin, grup ve roldür. Her erkin bir grubun parçasıdır ve grup içerisinde bir rol üstlenmektedir. Böylece, her grubun altında roller bulunmaktadır. Gruplar, erkinlerin oluşturduğu toplulukların en küçük kümesi olarak düşünülebilir. Roller ise, erkinlerin grup içerisindeki işlevleri ya da hizmetlerinin soyut bir tanımlamasıdır. Erkinler, birden çok grup içerisinde yer alabileceği gibi çok sayıda role de sahip olabilir. Bu durumda, çoklu robot sistemindeki her bir robotun kontrol sistemi bir grup olarak tanımlanırsa, robotun kontrol sistemini oluşturan rol erkinleri bazı rolleri (hareket, algılama, planlama, işbirliği, görüşme, konumlandırma, insan etkileşimi) üstlenmiş durumdadırlar ve bu rolleri yerine getirmek üzere belirli hizmetleri (nesne algılama, görev planlama, v.b.) yerine getirmektedirler.

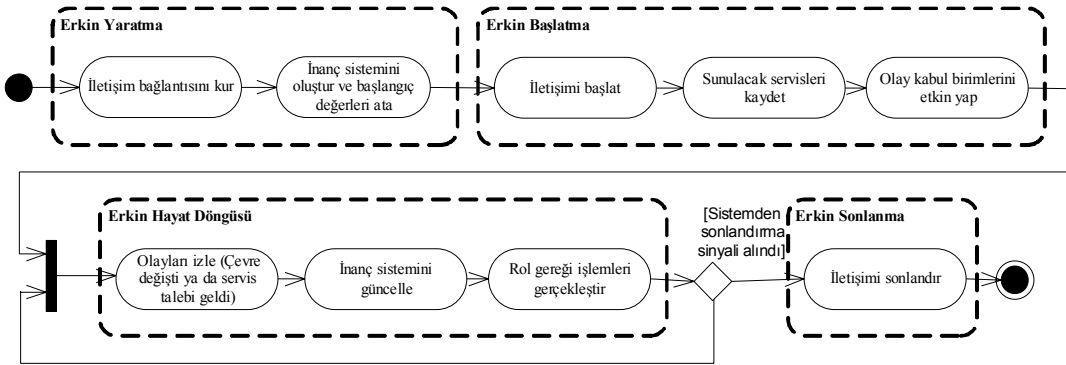
Şekil 4.4’de mimaride yer alan erkinlerin ait oldukları grup, sahip oldukları roller ve grup içerisinde sunabilecekleri hizmetler gösterilmektedir.



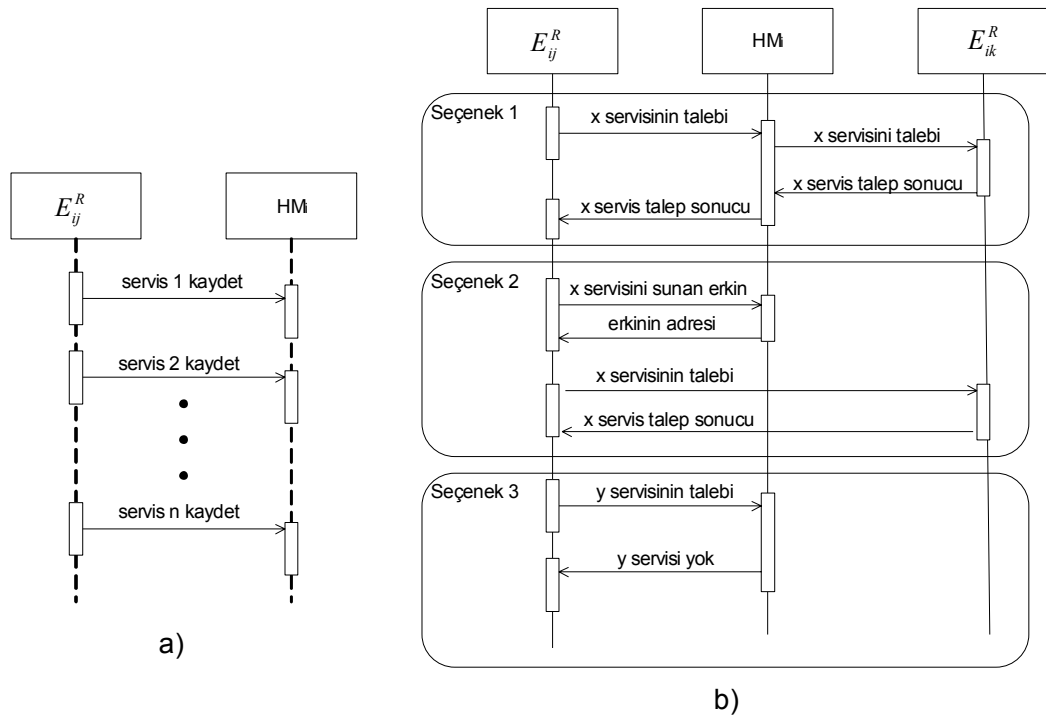
**Şekil 4.4** Erkinlerin genel gösterimi

Robotların kontrol yapısını meydana getiren her rol erkini, çalışma sürecinde Şekil 4.5’de gösterildiği gibi dört temel evreye sahiptir. İlk evre *erkinin yaratılmasıdır*. Bu evrede, haberleşme modülü ile bağlantı kurulur ve erkinin iç ve dış dünyası ile ilgili doğruluğuna inanılan bilgiler oluşturulur. Daha sonra, *erkinin başlatma* evresi gerçekleştirilir. Bu evrede, erkin diğer erkinler ile iletişime başlar. Kendisine atanan rolü gereği gerçekleştirebileceği hizmetlerin kaydını haberleşme modülüne yaptırır. Haberleşme modülü bu bilgileri, diğer erkinlerden gelecek talepleri ilgili erkinlere ulaştırmakta kullanır. Ayrıca, erkinin robot içerisinde ilgilendiği olaylar için kabul birimlerini etkinleştirir. *Erkin hayat döngüsünde*, erkinin sürekli bir döngü içinde gerçekleştirdiği işlemler yer almaktadır. Erkin, ilgilendiği çevre değişimleri ya da hizmet talepleri olup olmadığını iletişim kanalından izler. İnanç sistemindeki bilgileri günceller ve rol gereği gerçekleştirilecek olan ve her erkin için farklılık gösteren

işlemleri yapar. Bu evre, bilgisayar işletim sisteminden sonlandırma sinyali alınana kadar sürekli devam eder. Erkinin, haberleşme kanalından diğer erkinlerle iletişimi mevcuttur ve sahip olduğu görevleri yerine getirmektedir. Eğer, sistemden erkini sonlandırma sinyali gelirse, erkinin iletişimi sonlandırılır ve erkin yok edilir. Bu evrede, haberleşme modülü de erkinin sunduğu hizmetleri listesinden çıkarır. Böylece, diğer erkinler bu hizmetler için beklemez ve mümkünse, diğer kaynaklardan bu hizmeti sağlar.



Şekil 4.5 Erkinlerin aktivite diyagramının gösterimi



Şekil 4.6 Erkinler ile haberleşme modülü arasındaki iletişim kuralları: a) Servis kayıt iletişim kuralları, b) Servis talep iletişim kuralları

Rol erkinleri ile haberleşme modülü arasındaki iletişim Şekil 4.6'da verildiği gibi iletişim kuralları ile gerçekleşmektedir. Rol erkinleri, ait oldukları gruptaki haberleşme modülüne ( $HM_i$ ) sunabilecekleri hizmetleri kaydettirmektedir. Bütün erkinlerle ilgili hizmet başlıklarını tutan haberleşme modülü, Şekil 4.6b'de gösterildiği gibi üç farklı şekilde erkinlere hizmet sunmaktadır:

- *Seçenek 1:*  $E_{ij}^R$ ,  $x$  servisi için talebini, haberleşme modülüne ( $HM_i$ ) bildirir. Bu modül, talebi ilgili  $E_{ik}^R$ ,  $j \neq k$  erkin ya da erkinlere bildirir. Sonuçları toplayarak talepte bulunan erkine iletir.
- *Seçenek 2:*  $E_{ij}^R$ ,  $x$  servisini sunan erkin ya da erkinlerin adreslerini haberleşme modülünden ( $HM_i$ ) ister.  $HM_i$ , ilgili  $E_{ik}^R$ ,  $j \neq k$  erkininin adresini  $E_{ij}^R$  erkinine iletir.  $E_{ij}^R$  erkini,  $x$  servisi ile ilgili taleplerini doğrudan  $E_{ik}^R$ ,  $j \neq k$  erkininden ister.
- *Seçenek 3:*  $E_{ij}^R$ ,  $y$  servisi için talebini, haberleşme modülüne ( $HM_i$ ) bildirir. Bu modülden, talep ettiği servisi sunan hiç bir erkinin olmadığı yanıtını alır.

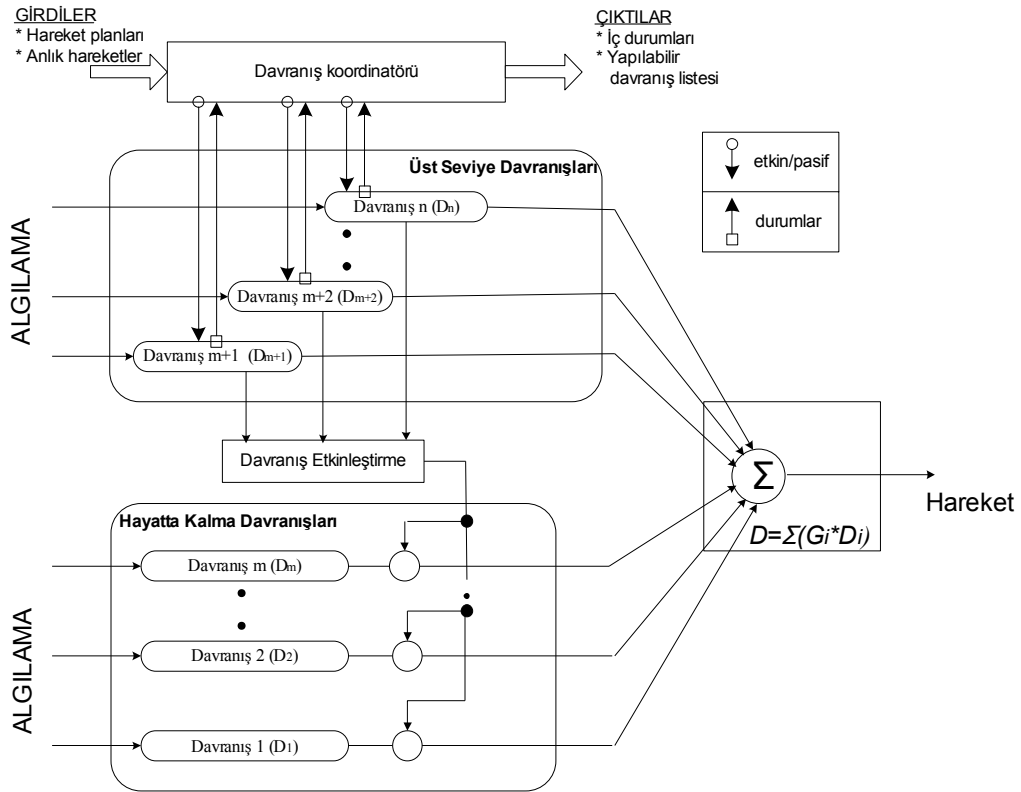
Sonraki kısımlarda, robotun kontrol yapısını oluşturan rol erkinlerinin detaylı tanımlamaları verilecektir.

### a) Hareket Erkini ( $E_H$ )

Hareket erkinin rolü, robotun fiziksel hareketlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Bunun için, aldığı hareket planlarının içerdiği davranışları gerçekleştirmektedir. Ayrıca, anlık alınan hareketleri de planlı hareketlerin uyumunu bozmayacak şekilde gerçekleştirmektedir. Hareket erkininin yapısı, Şekil 4.7'de gösterildiği gibi iki seviyede yer alan davranışlardan oluşmaktadır. Alt seviyede hayatta kalma davranışları ( $D_i$ ,  $i \in [1, m]$ ) yer almaktadır. Bunlar, engellerden sakınmak, engellere olan mesafeyi korumak ve çarpmalarda robotun durdurulması gibi robotun kendisini korumak üzere yaptığı ani hareketleri içermektedir. Bu davranışlar her zaman aktif kalmakla birlikte, gerektiğinde üst seviyedeki davranışlar ile bastırılabilir. Örneğin; robotun bir kutuyu tutma davranışını sergilerken öndeki engellerden sakınma ve ön mesafe koruma davranışlarını bastırması gerekir. Aksi takdirde, robot hiçbir



zaman tutmak üzere kutuya yaklaşamaz. Üst seviye davranışlar ( $D_i, i \in [m+1, n]$ ), nesne tutma, nesne bırakma, hedefe gitme gibi çeşitli görevlerin yapılmasında yapı taşları olacak davranışlardır. Bunların sayısı arttıkça, robotun da yapabileceği görev çeşitliliği artacaktır.



Şekil 4.7 Hareket erkininin yapısı

Yapının en üstünde, davranış koordinasyonunu yapan bir birim bulunmaktadır. Bu birim, hareket planlarının alınması ve uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, diğer ilgili erkinlere, iç durumlarını ve gerçekleştirebileceği davranışların listesini sunabilmektedir. Uygulamada, plandaki sıralı hareketleri birer birer işleme tabi tutmaktadır. Plandaki hareketin değiştirgelerine göre, üst seviye davranışın kurulumunu gerçekleştirmekte ve davranışı etkinleştirmektedir.

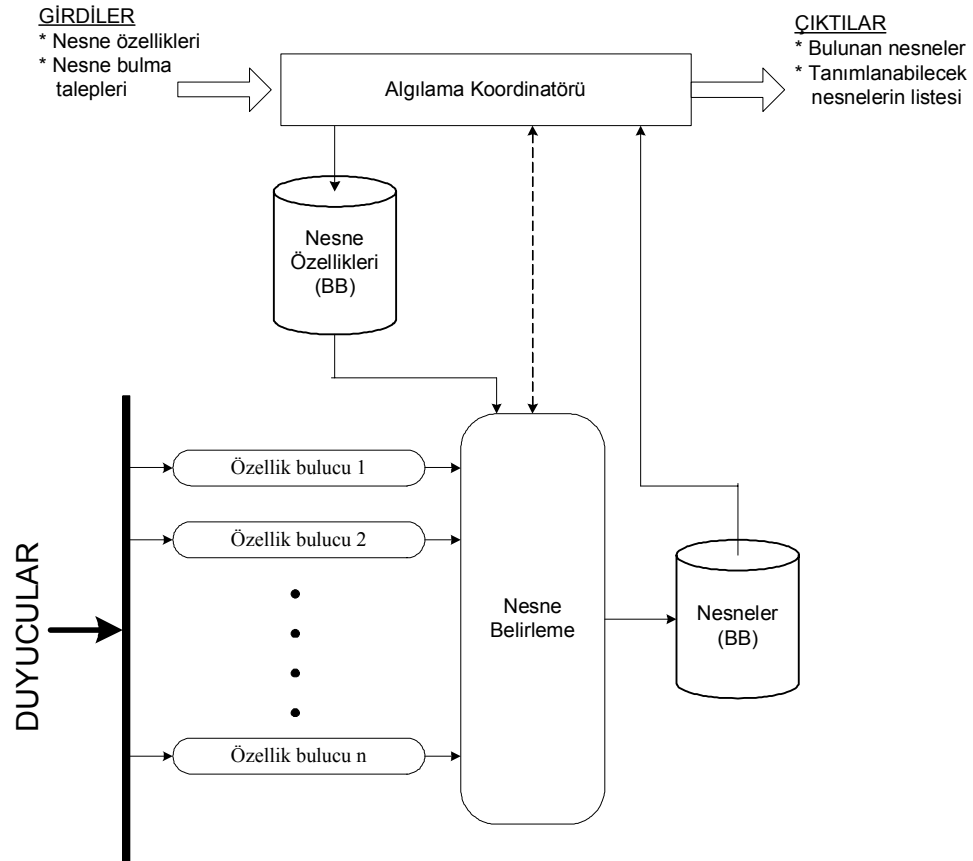
Her davranışın bir ağırlık değeri ( $G_i, i \in [1, n]$ ) bulunmaktadır. Sonuç davranış,

her etkin davranışın hareket isteklerinin ağırlıklarının toplamı  $D = \sum_{i=1}^n (G_i * D_i)$

sonucunda oluşmaktadır. Doğal olarak, hayatta kalma davranışları üst seviye davranışlara göre daha büyük ağırlığa sahiptir.

### b) Algılama Erkini ( $E_A$ )

Robotun seyrüsefer yapabilmesi için gereken algılama, hareket erkini tarafından davranışlarda gerçekleştirilmektedir. Seyrüsefer esnasında basit mesafe algılamaları yeterli olmaktadır. Ancak, içinde bulunulan ortamdaki nesnelere bağlı olarak verilen görevlerin yapılmasında ve robotun kendini konumlandırmasında, üst seviye algılama teknikleri ile çeşitli özelliklere sahip varlıkları tanımak gerekliliği vardır. Algılama erkini, özellikleri verilmiş olan nesnelere, bulunduğu noktadan gördüğü kadarıyla tanıma ve yerlerini belirleme işlevini yerine getirmektedir.

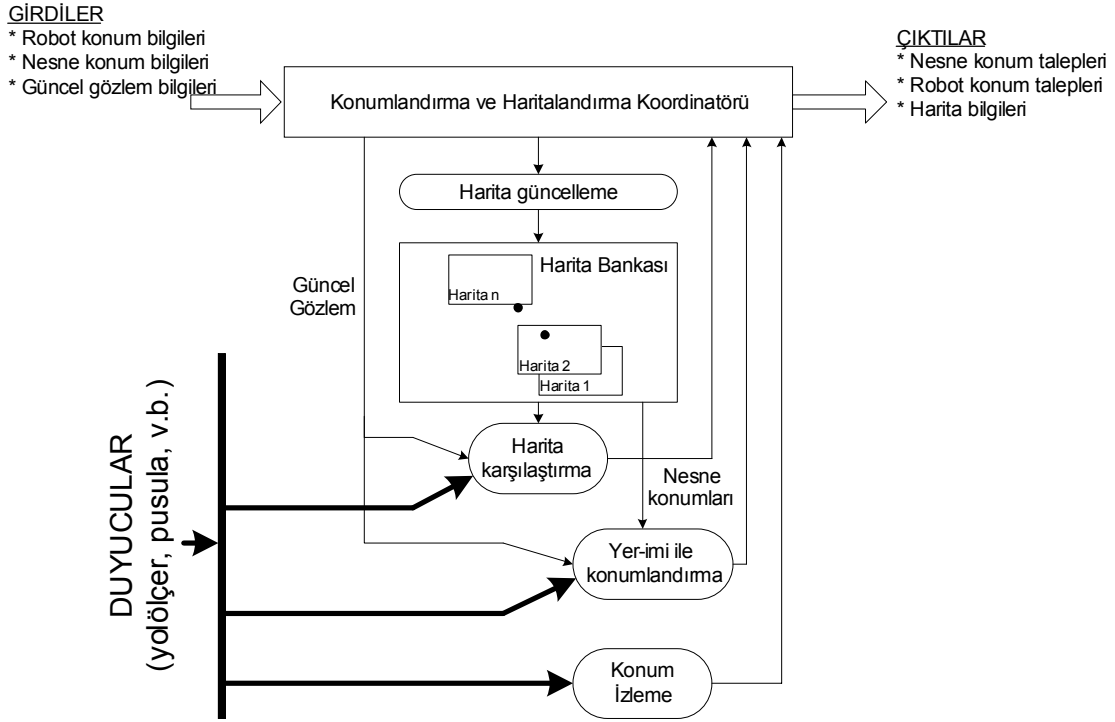


Şekil 4.8 Algılama erkini yapısı

Şekil 4.8’de algılama erkinin genel yapısı verilmektedir. Algılama koordinatörü, diğer erkinlerden sağladığı ya da yaratılması esnasında var olan nesne özelliklerini bilgi bankasında tutar. Çeşitli duyuculardan sağlanan veriler doğrultusunda özellik bulucu teknikler çeşitli özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Nesne belirleme birimi, bilgi bankasındaki nesne özelliklerini bulunan özelliklerle karşılaştırarak, belirleyebildiği nesnelerin yer bilgisini ve bulunma durumunu başka bir bilgi bankasına yüklemektedir. Bu esnada, algılama koordinatörü talepler doğrultusunda belirlediği nesnelere diğer erkinlere bildirmektedir. Ayrıca tanımlanabilecek nesne modellerinin listesini de talep eden erkine iletebilmektedir. Tanımlayabileceği nesne modelleri, robotun algısal becerilerini oluşturur.

### **c) Konumlandırma Erkini (E<sub>K</sub>)**

Konumlandırma, robotların bilinçli hareketler gerçekleştirme için gereklidir. Robotların konumları en hızlı şekilde, kör sayma olarak adlandırılan ve robotun adımlarının ya da tekerlek dönüş sayılarının sürekli sayılması ile bağlı olarak bulunmaktadır. Bu yöntemde, robotun hareketleri süresince ölçüm hatası artmaktadır. Bu hata miktarı bir süre sonunda büyük değerlere ulaşmaktadır. Bu nedenle, robotun konumu belli aralıklarda içinde bulunulan dünyaya göre belirlenmelidir. En yaygın başvurulan yöntem, robotun sahip olduğu haritada bulunduğu bakış açısından algıladığı imleri eşleştirmesi ve sonrasında konumunu tayin etmesidir. Ayrıca, haberleşme kanalını kullanabilen robotlar, kendisini görebilen bir konumlandırma sisteminden ya da başka bir robottan kendi konum bilgisini alabilir.

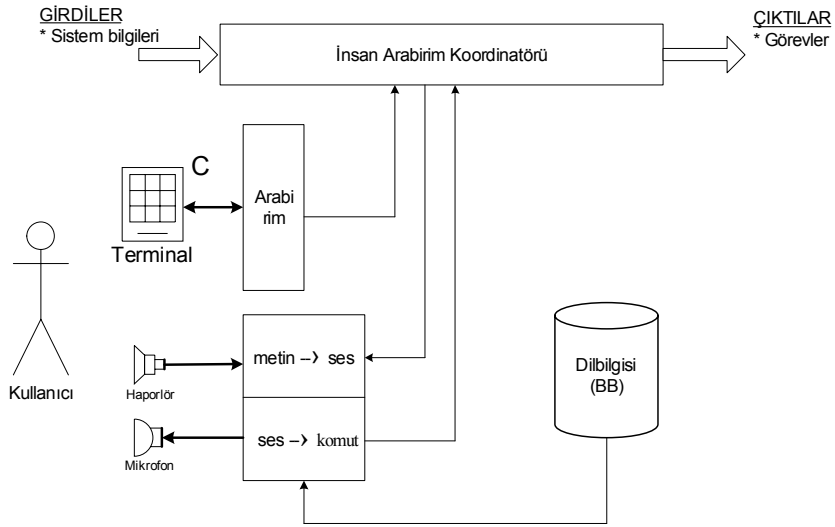


**Şekil 4.9** Konumlandırma erkininin yapısı

Konumlandırma erkininin genel yapısı Şekil 4.9’da verilmektedir. Bu yapıda erkin, diğer erkinlerden aldığı yerel koordinata göre belirlenmiş nesne konumlarını ve duyuculardan aldığı ham verileri kullanmaktadır. Harita bankası, robotun içerisinde dolaşabileceği ortamların metrik ve topolojik haritalarını tutmaktadır. Bu haritalar, diğer erkinlerden sağlanan nesne konumları ile güncellenmektedir. Diğer taraftan, üç farklı konumlandırma yöntemi uygulanmaktadır. Duyuculardan alınan ham veriler ve diğer erkinlerden alınan güncel nesne konumlarının (yer-imleri, kapı, duvar, lamba, kutu, v.b.) harita bankasından alınan haritalarla karşılaştırılması sonucu robotun konum bilgisi elde edilmektedir. Ayrıca, gözlemlenen yer imlerinin robota göre konumları ile yer-imlerinin küresel koordinatlardaki konumu kullanılarak robot konumu belirlenmektedir. Diğer taraftan, yolölçerler ile adım sayarak konumun takibi yapılmaktadır. Konumlandırma ve haritalandırma koordinatörü, tüm bu işlemlerin koordinasyonunu ve mesajların değerlendirilmesini sağlamaktadır.

#### d) İnsan Arabirim Erkini (E<sub>i</sub>)

İnsan arabirim erkini, robotun insanlar ile etkileşimini sağlar. Kullanıcının sesli ya da terminal üzerinden talep ettiği görevleri, çoklu robot sistemine ulaştırma görevini gerçekleştirir. Aynı zamanda, kullanıcıyı bilgilendirmek ya da uyarılmak üzere, sistem ile ilgili bilgileri ulaştırır.



Şekil 4.10 insan arabirim erkini yapısı

#### e) Planlama Erkini (E<sub>p</sub>)

Planlama erkini, görev planlama, hareket planlama ve rota planlama gibi robotun planlama gerektiren işlerini gerçekleştirir. Planlama, bir sistemi verilen başlangıç durumundan hedeflenen duruma taşıyacak etkin hareketler dizisini bulmak için gereken arama problemdir. Planlama, üst seviyeli robotların geleceği tahmin etme ve amaçlarını gerçekleştirmede önemli bir rol oynar.

Planlamada *problem*, içinde bulunulan dünyanın başlangıç ve hedef durumlarının tanımlanmasıdır. Başlangıç durumları, planlama sistemine hâlihazırda içinde bulunulan dünyayı tanımlar. Hedef durumlar ise, planlama sonucu gerçekleştirilecek eylemler neticesinde oluşması beklenen dünyayı tanımlar.

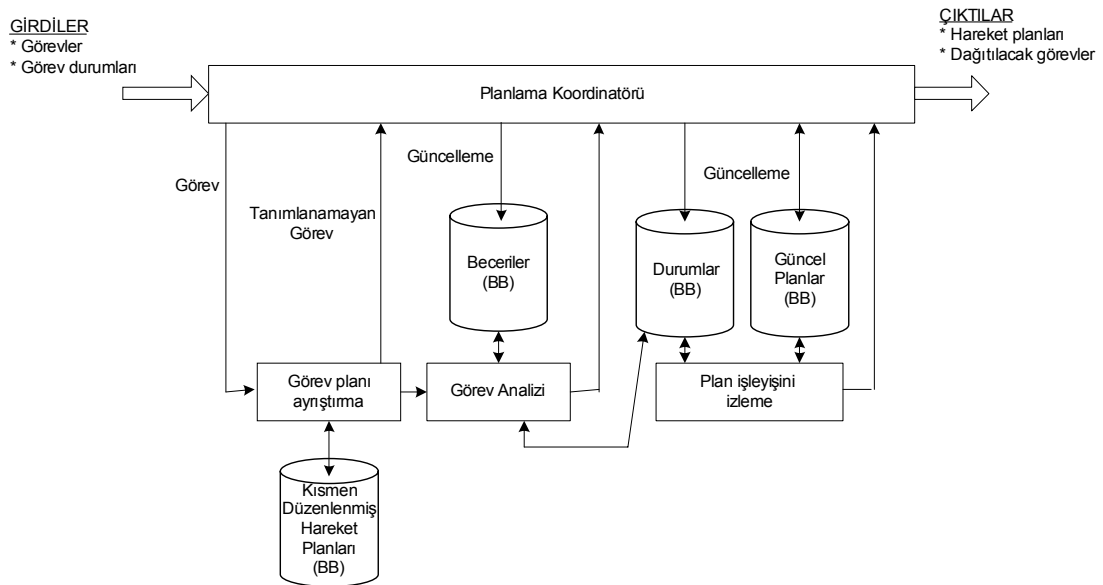
Hareketler, planlamada *operatör taslağı* olarak tanımlanır. Taslak, hareketleri sahip oldukları önkoşullar ve etkileri ile tanımlar. Böylece, bir *operatör taslağı* hareketin hangi dünya durumları oluştuğunda kullanılabileceğini ve dünya durumlarını

nasıl değiştireceğini tanımlar. Planlama sistemi, hareketlerin bu özelliklerini kullanarak planlama işlemini gerçekleştirir. Yapay zeka planlama literatüründe, genellikle STRIPS operatörleri kullanılmaktadır (Fikes and Nilsson, 1971; Hendler, et al., 1990). STRIPS operatörleri, hareketi üç bileşen ile tanımlamaktadır. Bunlar, *önkoşul formülleri*, *ekleme listeleri* ve *silme listeleri* şeklindedir. *Önkoşul formülleri*, operatör uygulanmadan önce sağlanması gereken koşulları tanımlar. *Ekleme listeleri* ve *silme listeleri* ise, operatör kullanıldıktan sonra oluşacak yenedünya durumlarını belirlemek üzere eklenecek ve çıkarılacak durumları tutmaktadır.

*Plan* ise, düzenlenmiş olan operatör dizisidir. Eğer, tanımladığı operatör dizisi ile hedeflenen dünya durumlarına ulaşılmasını sağlayabiliyorsa; plan, başlangıç durumlar için verilen problem için bir çözümdür. Planlama sistemlerinde, problem çözümleri için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Gezgin robotlarda, planlama için çeşitli problemler üzerinde çalışılmaktadır. Bunlar, rota planlama (Kruusmaa, 2003; Cardema, et al., 2004), hareket planlama (Weber, 2000; Lazanas and Latombe, 1995; Latombe, 1991) ve görev planlama (Galindo, et al., 2004; Chen and Trivedi, 1995) şeklindedir. Rota planlama, gezgin robotlarda seyrüsefer için gereken bir problemdir. Dağınık şekilde engellerin bulunduğu bir ortamda, robotun bir başlangıç konumundan hedeflenen konuma ulaşması için izlemesi gereken rotanın belirlenmesi, rota planlama probleminin konusudur. Rota planlamada, topolojik ve metrik olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Topolojik rota planlamada, ortamdaki yerimlerinin konumlarına göre belirlenmiş düğümlerin yer aldığı harita kullanılmaktadır. Robotu hedef noktasına ulaştıracak rota bu düğüm noktaları üzerinden geçecek şekilde belirlenmektedir. Bu teknik, davranış tabanlı robotlar için uygundur. Metrik rota planlamada, ise metrik değerler ile tanımlanan harita kullanılmaktadır. Bu teknik, en iyi yolu bulma çabası içerisindedir. Hareket planlama problemi de, temelde rota planlama ile aynı amaca (seyrüsefer) hizmet etmektedir. Ancak, hareket planlamada, robotun hedeflenen konuma ulaşması için gerçekleştireceği hareketlerinde belirlenmesi söz konusudur. Görev planlama ise, rota ve hareket planlamadan farklı olarak, sadece seyrüsefer için kullanılmaz. Görev planlamada, yetenekleri kapsamında robot veya robotlarca yapılacak işlerin başarılı bir şekilde yerine getirilmesi için gereken hareket dizisi belirlenir.

Mimari yapıdaki planlama erkininin rolü, robot tarafından alınan görevlerin alt görevlere ayrıştırılması, sahip olunan beceriler doğrultusunda yapılabilirliğinin

belirlenmesi ve yapılabilir görevler için hareket planlarının oluşturulması, yapılamayacak görevler için de diğer robotlara dağıtımının önerilmesi için işbirliği ve görüşme erkinine aktarılması şeklinde özetlenebilir. Böylece, Şekil 4.11’de verildiği gibi planlama erkini dört tip bilgi bankasını yapısında barındırmaktadır. Bunlar, önceden tanımlanmış kısmen düzenlenmiş hareket planlarını; robotun sahip olduğu ve robotlar arasında farklılığı oluşturan becerileri; planların işleyişi esnasında sürekli güncellenen dünya durumlarını; uygulanan ya da uygulanmak üzere bekleyen planları içeren bilgi bankalarıdır. Planlama erkinin aldığı görevler, öncelikle kısmen düzenlenmiş hareket planları (KDHP) üzerinde yapılan tarama ile alt görevlere ayrıştırılır. Daha sonra, görev analizi ile mevcut beceri ve durumlar gözetilerek yapılabilecek alt görev ya da görevler belirlenir. Eğer görev, yapılacaksa, planlama koordinatörü tarafından görevin hareket planları hareket erkinine gönderilir ve güncel planlar listesine eklenir. Planlama erkini, planların işleyişini hareketleri gerçekleştiren erkinlerden alınan olaylar ile izlemeye devam eder. Plan işleyişinde bir problem yaşanır ise, planlama erkini tekrar planlama ya da diğer robotlara gönderilmek üzere işbirlik ve görüşme erkinine görevi iletme şeklindeki gerekli işlemleri yürütür.

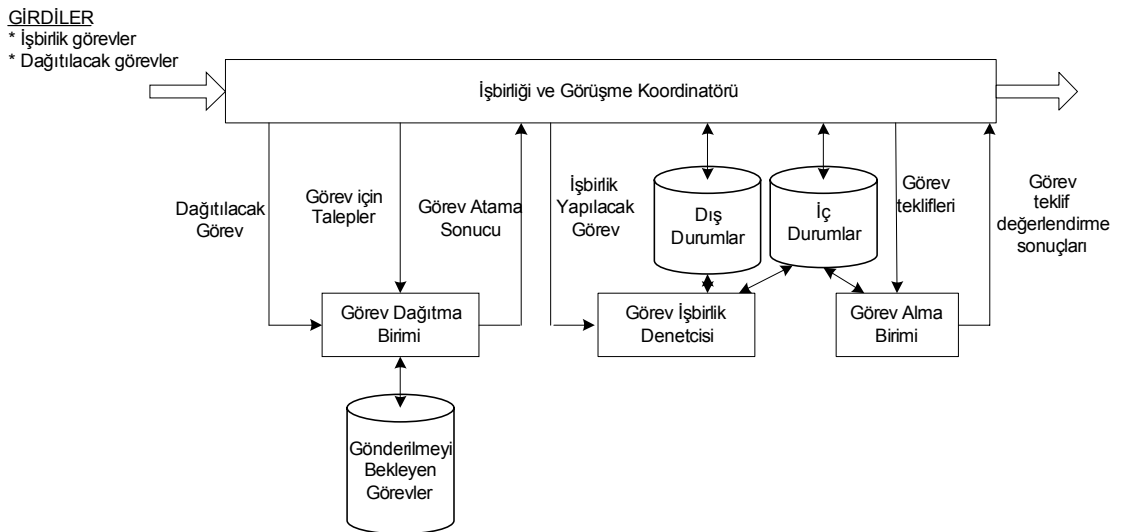


Şekil 4.11 Planlama erkininin yapısı

Çoğu mevcut planlayıcının ana kısıtı, normal olarak yapılan iki kabullenmeye bağlıdır (Hendler, et al., 1990; Chen and Trivedi, 1995). Bu kabullenmeler, robotun çalışma ortamını tanımlayan bütün nesne ve olayların tam ve kesin bilgisinin gerekliliği ile ilgilidir. İlk kabullenme, ortam durumlarının tam ve kesin bilgisine sistemin sahip olduğudur. İkinci kabullenme ise, bütün dünya durumlarının değişimlerine bilinen hareket kümesi neden olmaktadır.

#### f) İşbirliği ve Görüşme Erkinini (E<sub>G</sub>)

Çoklu robot sistemleri sözkonusu olduğunda, robotlar arası görev paylaşımı ve işbirliği önem kazanmaktadır. Çoklu robot sistemlerinde, yapılan çalışmaların çoğu robotların görev paylaşım ve işbirlikleri ile ilgili teknikler geliştirmek üzerine odaklanmıştır. Görev paylaşma problemi için, müzayede protokolünün kullanıldığı (Gerkey and Mataric, 2002), boşluk zincirlerinin kullanıldığı (Dahl, et al., 2003), öncelik esasına göre görevlerin atandığı (Miyata, et al., 2002) çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, ortak görevlerde robotlar arası işbirliğini sağlayacak tekniklerde geliştirilmektedir. Birbirine bağımlı görevlerin farklı robotlarca yapılmasında (Murphy, et al., 2002), büyük nesnelere birden çok robot tarafından taşınmasında (Ota and Arai, 1999), geniş alana yayılmış işlerin daha hızlı tamamlanmasında (Jung, et al., 1997), ortam haritalandırması ve konumlandırma (Madhavan, et al., 2004; Roumeliotis and Bekey, 2002) robotlar arası işbirliği kullanılmaktadır.



Şekil 4.12 İşbirliği ve görüşme erkininin yapısı

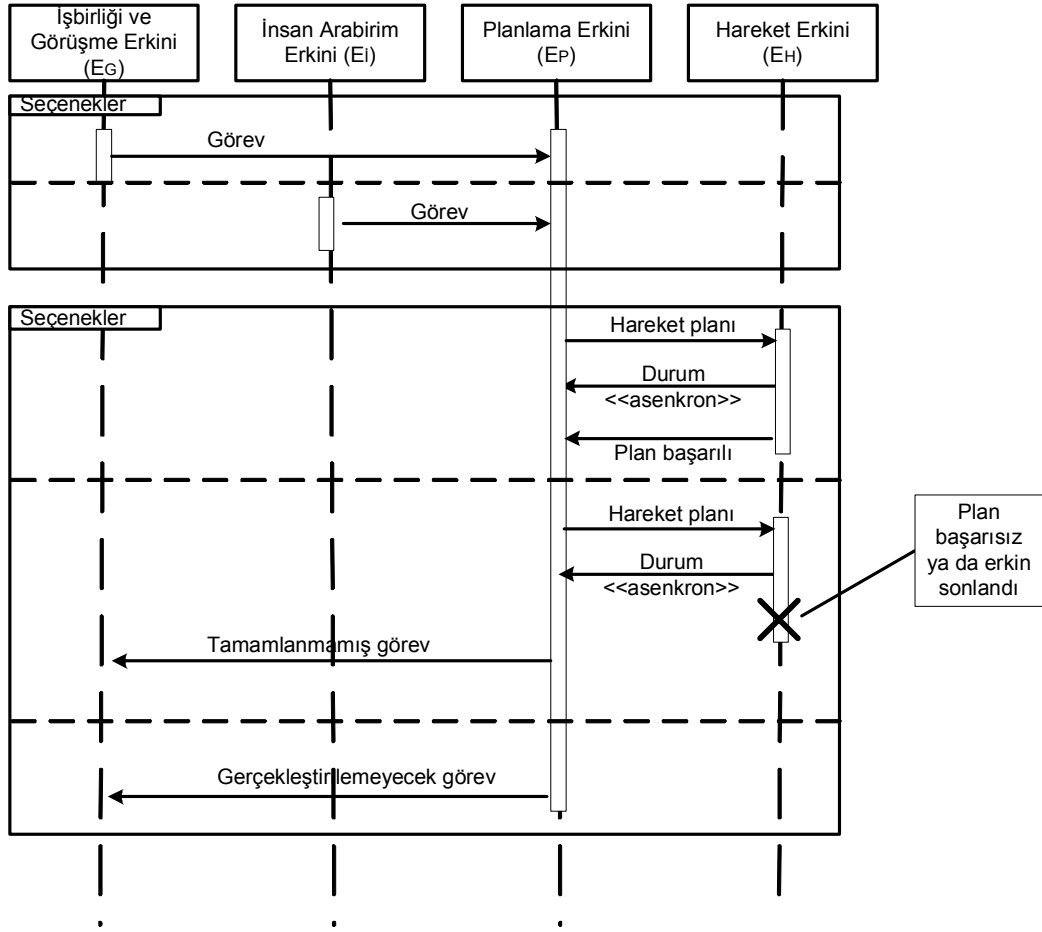


İşbirliği ve görüşme erkinin genel yapısı Şekil 4.12’de verilmektedir. Bu erkinin rolü, diğer robotlar ile tanımlanan iletişim kurallarını kullanarak görev ve bilgi paylaşımını sağlamak ve görevlerde işbirliğini yürütmektir. Görevlerin paylaşılması ve işbirlik yapılacak görevlerin koordine edilmesini bu erkin yürütür. Üç temel fonksiyonu gerçekleştirir. Bunlar, dağıtılacak görevlerin diğer robotlara uygun bir iletişim kuralı ile atanması, gelen görevler için talep oluşturma ve işbirliği ile gerçekleştirilecek görevlerin koordinasyonunu sağlamak olarak sıralanabilir.

#### **4.2.2 İletişim kuralları**

Bir iletişim kuralı, erkinler arasındaki geçerli mesaj zincirini gösterir. Robotlarda erkinlerin görevi, robotun aldığı bir görevin başarılı bir şekilde yerine getirilmesini sağlamaktır. Görevler robotlara genellikle birkaç yöntemle ulaşabilir.

- Bir kullanıcı tarafından, uygun bir arabirim üzerinden bir robota ya da robot topluluğuna doğrudan iletilebilir.
- Zamanlanmış ve önceden çizelgelenmiş görevler olarak belirli zamanlarda sistem tarafından iletilebilir.
- Devam eden bir görevin yapılması sırasında ortaya çıkmış görevler olabilir.



Şekil 4.13 Görevlerin gerçekleşmesinde erkinler arasındaki iletişim kuralı

Robotun sahip olduğu görevleri gerçekleştirmesi sırasında, Şekil 4.13'te verilen iletişim kuralı gerçekleşmektedir. Görev, planlama erkinine iki şekilde ulaşmaktadır. Görüşme ve işbirliği erkinin, diğer robotlardan aldığı görevleri ya da insan arabirim erkinin, kullanıcı tarafından tanımlanan görevleri planlama erkinine gönderir. Planlama erkinin de, aldığı görevler ile ilgili olarak üç yol izlemektedir. Görev için, hareket planını oluşturmakta ve uygulanmak üzere hareket erkinine göndermektedir. Hareket erkinin, hareketleri gerçekleştirirken aynı zamanda durumu planlama erkinine bildirmektedir. Hareket erkinin, planlama erkinin gözetiminde hareketleri başarı ile tamamlamaktadır. Bir başka olası durum ise, hareket erkinin hareket planından başarısız olması ya da erkinin sonlanması ile hareket planının tamamlanamamasıdır. Bu durumda planlama erkinin yerine getirilemeyen bu görevi başka robotlara gönderilmek üzere işbirliği ve görüşme erkinine göndermektedir.

### 4.2.3 Görev paylaşım yaklaşımı

Çoklu robot sistemlerinde yapılan çalışmaların büyük kısmı, robotlar arası görev paylaşım yaklaşımlarının geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan en önemlilerinden biri, Gerkey ve Mataric (2002) tarafından sunulan çalışmadır. Bu çalışmada, global en uygun değer kaynak kullanımını sağlamak üzere kaynak merkezli görev paylaşım yaklaşımı sunmuşlardır. Görevi yapabilecek her robot fayda formülasyonu kullanarak kendi faydalarını hesaplamakta ve bu faydaların değerlendirilmesi ile görev atama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bir başka çalışmada da, planlama tabanlı metoda sahip fayda fonksiyonu kullanılmaktadır (Botelho and Alami, 1999; Lemaire, et al., 2004). Tektürel robotlarda, görev paylaşımında bir kaynak dağıtım stratejisi olan boşluk zincirleri yapısını kullanan çalışmalar vardır (Dahl, et al, 2003). Görev paylaşımında, görevin atanacağı robotun seçiminde metrik değerleri kullanan çalışmalar da vardır. Ostergaard, et al. (2001), görev noktasına olan mesafelerine göre atama yöntemi önermiştir. Mataric, et al. (2003), görev paylaşımında Markov sistemlerindeki yaklaşımı kullanmıştır. Bu yaklaşıma göre, robotların güncel görev atamaları ve bütün diğer robotların her bir görevdeki talepleri, verilen bir robotun görev atamasının oluşmasında kullanılabilir. Bu eksende, dört farklı strateji önermiştir. Bazı çalışmalarda, görevlerin paylaşılması için pazar tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır (Zlot and Stentz, 2006).

Görev paylaşım problemlerinde, en çok kullanılan robotlar arası etkileşim mekanizması Sözleşme Ağı İletişim Kuralı (Contract Net Protokol) olarak adlandırılmaktadır (Weiss, 2000). Bu, erkinlerin ortak problem çözmeleri için bir iletişim kuralıdır. İş dünyasında, mal ve hizmetlerin değiş tokuşunu yönetmek için kullanılan anlaşma mekanizmasından esinlenerek modellenmiştir. Robotlarda, verilen bir görevi yapacak uygun bir robotun bulunmasında kullanılmaktadır. Bu iletişim kuralında, görevin yapılmasını isteyen bir yönetici ve görevi yapabilecek potansiyel yükleniciler bulunur. Her iki taraftan işlem şu şekilde gerçekleşir:

Yönetici tarafından,

- Yapılması istenen görev anons edilir,
- Potansiyel yüklenicilerden gelen teklifleri toplanır ve değerlendirilir,

- Uygun bir yükleniciye sözleşme gönderilir,
- Sonuçlar alınır ve sentezlenir.

Yüklenici tarafından,

- Görev anonsları alınır,
- Yanıtlamak üzere yeteneklerini değerlendirir,
- Yanıtlar (Geri çevir, teklif ver),
- Teklif kabul edilirse, görevi gerçekleştirir,
- Sonuçları rapor eder.

Bu çalışmada da, görev paylaşımında bu iletişim kuralı kullanılmaktadır. Literatürde yer alan, görev paylaşımı probleminde bir grup görevin bir grup robota atanması esnasında kullanılacak karar mekanizmalarının geliştirilmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan farklı olarak burada, ortak ve farklı becerilere sahip robotların görev paylaşımı için bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşımda, görevlerin değişik zamanlarda geldiği kabul edilmektedir. Bu durumda, görevi yapabilecek robotların belirlenmesinde daha sonra gelebilecek görevler içinde yapılabilirlik olasılığının yüksek tutulması söz konusudur.

**Tanım 3.**  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$  şeklinde  $n$  tane robottan oluşan bir grup verilmiş olsun. Her bir robot  $R_i$ ,  $B_i = \{b_1^i, b_2^i, \dots, b_r^i\}$  şeklinde  $r$  tane farklı beceriye sahiptir.  $r$ , her robot için farklı bir değere sahip olabilir. Beceriler, robotun belirli bir hareketi gerçekleştirebilmesini belirtmektedir.  $n$  tane robottan oluşan robot grubunun becerileri,  $B = B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n$  şeklinde robotların beceri kümelerinin birleşimi şeklinde ifade edilebilir.  $T$ , robot grubu tarafından yerine getirilmesi istenen bir görevi tanımlamaktadır. Bu görev, bir robotun görevini yaparken ortaya çıkmış ya da herhangi bir anda kullanıcılar tarafından bir robota bildirilmiş olabilir.  $T$  görevinin gerçekleştirilebilmesi için, görevi yapacak robotun  $B_i = \{b_1^i, b_2^i, \dots, b_\eta^i\}$  şeklinde görevin gerektirdiği  $\eta$  tane farklı beceri kümesine sahip olması gerekmektedir.

$T$  görevinin, robotlara atanmasında seçilen çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu sistemin ihtiyaçlarına ve tasarımcının tercihlerine göre değişebilmektedir. Bu çalışmada

önerilen yaklaşım, *fırsatçı görev atama* olarak da adlandırılabilir, görevin atamasında robot grubuna bu görevden sonra gelebilecek görevler için yapabilirlik olasılığını yüksek tutmayı temel almaktadır.

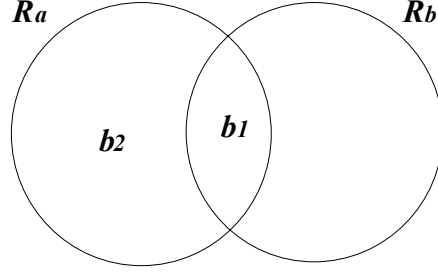
**Tanım 4.**  $T_t$  ve  $T_{t+\alpha}$ , sırasıyla  $t$  ve  $t+\alpha$  anlarında robot grubunda atanmak üzere alınan görevler olsun.  $T_t$  görevinin robotlara anons edilmesinden sonra, görevi yapabilecek beceriye sahip robotlar  $R^t = \{R_i \in R \mid B_i \subseteq B_t\}$  şeklinde tanımlanabilir.  $\bar{B}_i = B_i - B_j, \forall j \neq i$ , öyle ki,  $R_j \in R$  ifadesindeki  $\bar{B}_i$ , göreve teklif sunan robotlardan  $R_i$  robotunun diğer teklif sunan tüm robotların becerilerinden farklı olarak sahip olduğu becerilerin kümesini tanımlamaktadır. Bu durumda,  $T_t$  görevi  $R_i$  robotuna atandığında, daha sonra alınan  $T_{t+\alpha}$  görevinin  $\forall R_j \in R, i \neq j$  robotlarca yapılabilme olasılığı

$$P_{t+\alpha}(B_{t+\alpha} \subseteq (B - \bar{B}_i)) = \frac{s(B_{t+\alpha})}{s(B) - s(\bar{B}_i)} \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 4.7’de görüldüğü gibi,  $\bar{B}_i$  kümesinin eleman sayısı ne kadar büyük olursa,  $T_{t+1}$  görevinin ( $T_t$  görevinin tamamlanmasını beklemeden) yapılabilirlik olasılığı o kadar yüksek olacaktır. Bu nedenle, görev atanacak robot seçilirken ( $A : T \rightarrow R, T$  görevinin  $R$  robotuna atanmasını ifade eder)

$$A : T \rightarrow R_i, \text{ öyle ki } \text{enb}\{s(\bar{B}_i)\}, i \in [1, n] \text{ ve } B_i \subseteq B_t \quad (4.8)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Robotlar için bir örnek vermek gerekirse  $R_a$  ve  $R_b$  iki robot olsun. Robotların becerileri  $B_a = \{b_1, b_2\}$  ve  $B_b = \{b_1\}$  şeklinde tanımlansın. Becerileri, Bölüm 5’ te ele alınacak uygulamalarda kullanılan beceriler ile tarif edersek,  $b_1$  : *Nesneleri tutarak taşıma* ve  $b_2$  : *Nesneleri iterek taşıma* şeklinde tanımlıdır.



**Şekil 4.14** Görev atama örnek gösterimi

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi  $b_1$  robotların ortak becerileri iken  $b_2$  sadece  $R_a$  robotuna has bir beceridir.  $b_1$  becerisini gerektiren bir görevde  $R_a$  robotuna atama yapılırsa, bir sonraki görevde (görevin,  $b_1$  ve  $b_2$  becerilerinden birini ya da her ikisini gerektireceği düşünüldüğünde) yapılabirlik olasılığı  $P = \frac{1}{2}$  iken;  $R_b$  robotuna atama yapıldığında, bu olasılık  $P = 1$  olmaktadır.

Böylece, görev paylaşım iletişim kuralı şu şekilde gerçekleşmektedir.

**Adım 1.** Görevi dağıtacak olan robot, görevi tüm gruba anons etmektedir. Görev tanımını alan her robot sahip olduğu beceriler ile birlikte görev için uygun olduğunu ya da meşgul olduğunu bildirmektedir.

**Adım 2.** Görev anonsunun üzerine belli bir süre bekleyen, dağıtıcı robot gelen tüm talepleri denklem (4.8)’ de verilen ifadeye göre değerlendirmektedir.

**Adım 3.** Değerlendirme sonrasında, talepte bulunan robotlara görevi aldığı ya da alamadığı bilgisini göndermektedir.

**Adım 4.** Görevin dağıtımı ile ilgili bahis kapanmakta, her robot ortaya çıkacak yeni görevler için beklemektedir.

Görev atanmasında çeşitli yaklaşımlar vardır. Genelde, görevi alacak robotların bir maliyet fonksiyonuna göre değerlerinin hesaplanması ve bu değere göre görev

yapacak robotun tayin edilmesi söz konusudur. Bu maliyet için, görev noktalarına robotların uzaklıkları, becerilerini sergilemekteki başarı oranları ve dengeli yük dağılımı oluşturulması gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Burada önerilen yaklaşımın, diğer yaklaşımlarla birlikte kullanılması ile daha iyi görev paylaşım performansı ortaya çıkacaktır.

## BÖLÜM 5

### UYGULAMALAR

Bu bölümde, önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermek üzere hazırlanan uygulama ortamı ve gerçek sistemler üzerinde gerçekleştirilen uygulamalar sunulmuştur. Çoklu gezgin robot sistemlerinde, bir kontrol yapısını test etmek adına yapılacak uygulamalarda, iyi bir altyapı gerekmektedir. Robotun ortamı algılaması, nerede olduğunu bilmesi ve yapacağı hareketlerin davranışlar olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, uygulama öncesi gereken konumlandırma, robot davranışları ve algılama yöntemleri bu kısımda verilecektir. Sonrasında, kontrol mimarisinin değişik senaryolar tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1 Donanım Özellikleri

Uygulama çalışmasında, 3 adet Activmedia firmasının tasarımı olan Pioneer 3-DX gezgin robot platformları kullanılmıştır (ActivMedia Robotics, Inc. 2007). Pioneer 3-DX gezgin robotunun resmi Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Bu robot platformu, 44,5 cm. x 39,3 cm. x 23,7 cm. boyutlarında, iki adet diferansiyel sürüş tekerleğine sahip bir tabana sahiptir. Ayrıca, çevrenin algılanmasında kullanılmak üzere çeşitli duyuçular ile donatılmıştır. Mesafe algılamak üzere ön ve arkasında 8’er adet sonardan oluşan sonar dizisi mevcuttur. Ayrıca, bağıl konum hesaplamaları için, tekerleklere monte edilmiş sayma duyuçuları; çarpışmaları algılamak üzere arka çarpışma duyuçuları; yön tayini için elektronik pusula; görsel algılamalarda kullanılmak üzere dönme-eğilme-yakınlaştırma (pan-tilt-zoom) özellikli kamera ve robotlardan sadece bir tanesi düzlemsel hassas mesafe algılamaları için lazer duyuçusu ile donatılmış durumdadır. Nesne taşıma amacıyla kullanılmak üzere her robot, 2 eksenli bir tutucu mekanizmaya sahiptir.





**Şekil 5.1** Pioneer 3-DX gezgin robot platformu

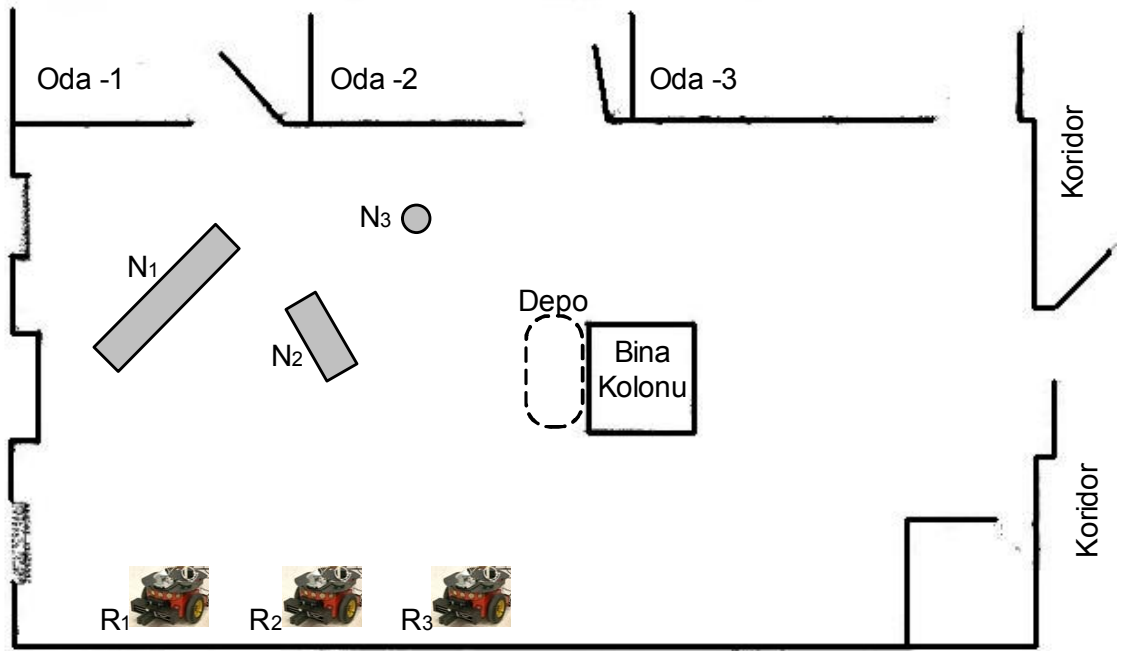
Her robotta, Linux işletim sisteminin (Redhat 7.3) yüklü olduğu bir Pentium tabanlı bilgisayar bulunmaktadır. Bilgisayar, robotun donanımlarının düşük seviyeli kontrolünü gerçekleştiren bir mikrokontrolör kartına seri port üzerinden bağlı durumdadır. Activmedia tarafından geliştirilmiş özel bir işletim sistemi, mikrokontrolör kartı üzerinde yüklüdür. Mikrokontrolör kartı üzerinde yüklü bu işletim sistemi bilgisayarla iletişimini, belirli paket yapılarını ve komut listesini kullanarak gerçekleştirmektedir. Robotlar arasında haberleşmenin gerçekleşebilmesi için kablosuz ethernet mevcuttur. Activmedia firmasının Pioneer gezgin robot platformları, birçok araştırma projelerinde ve akademik yayınlarda referans bir platform olarak kullanılmaktadır.

Robot sistemleri yanında, uygulamalarda robotların global konumlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, uygulama laboratuvarını tepeden gören renkli bir kamera ile masaüstü bilgisayar üzerinde bulunan görüntü yakalama kartı kullanılmaktadır.

## **5.2 Uygulama Ortamının Özellikleri**

Önerilen yaklaşımın uygulamalar ile sunumunda, Şekil 5.2’de gösterilen ortam kullanılmaktadır. Şekildeki ölçüler, uygulamaların yapıldığı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yapay Zeka ve Robotik Laboratuvarının gerçek ölçüleri ile orantılıdır.

Şekildeki plan, lazer mesafe duyucusundan alınan mesafe bilgilerinin kullanımı ile elde edilmiştir. Uygulama ortamının, farklı yetenekteki robotlara farklı görevlerin sunulabileceği bir yapıda olmasına dikkat edilmiştir. Ortamda, ortak ve farklı becerilere sahip üç robot ( $R_i$ ,  $i=0,1,2$ ) ile üç farklı tipte taşınabilir nesne ( $N_i$ ,  $i=0,1,2$ ) bulunmaktadır. Robotların taşıma görevlerine özgü olarak sahip oldukları hareketsetel ve algısal beceriler Çizelge 5.1’de verilmektedir.  $N_1$  ile tanımlanan nesne, sahip olduğu genişlik nedeniyle ancak iki robot tarafından ittirilebilecek bir kutudur. Boyutları, 1200 mm.(genişlik) X 240 mm.(derinlik) X 480 mm. (yükseklik) değerlerine sahiptir.  $N_2$  ile tanımlanan nesnenin genişliği,  $N_1$  nesnesinin genişliğinin yarısına yakındır. Boyutları, 450 mm.(genişlik) X 240 mm.(derinlik) X 480 mm. (yükseklik) değerlerine sahiptir. Bu özelliği ile, tek bir robot tarafından ittirilebilecek bir kutudur.  $N_3$  ile tanımlanan nesne ise, silindirik bir yapıdadır. Boyutları, 100 mm.(çap) X 500 mm.(yükseklik) değerlerine sahiptir. Yapısı itibariyle ittirmeye müsait değildir. Ancak, tutup kaldırılarak taşınabilir.



**Şekil 5.2** Uygulama ortamının gösterimi

Uygulamada kullanılacak görevler, taşıma görevlerini içermektedir. Robotlardan, belirtilen özelliklerdeki nesne ya da nesnelere depo olarak belirlenen alana taşınmaları

istenmekte ve bu talepte hangi robotun hangi işi ne şekilde yapacağı ile ilgilenilmemektedir. Robot grubu, geliştirilen kontrol mimarisi ve görev paylaşım tekniklerini kullanarak, robotların beceri, faal olma ve meşgul olma durumlarını da gözeterek verilen görevleri yerine getirmektedir.

**Çizelge 5.1.** Robotların becerilerine göre sınıflandırması

<b>Robot Etiketi</b>	<b>Hareketsel Beceriler</b>	<b>Algısal Beceriler</b>
R <sub>1</sub>	İterek Nesne Taşıma (İNT)	
R <sub>2</sub>	İterek Nesne Taşıma (İNT)	Taşıma Nesnesi Tanıma
R <sub>3</sub>	İterek Nesne Taşıma (İNT) Tutarak Nesne Taşıma (TNT)	

### 5.3 Deneysel Alt Yapı Çalışmaları

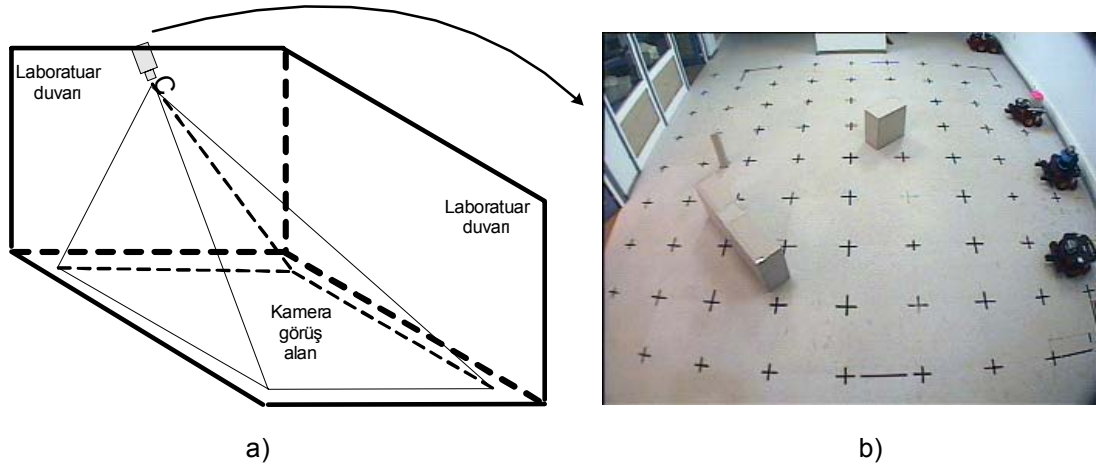
Çoklu gezgin robotlarda, gerçek uygulamaların yapılması için görevlere bağlı olarak robotların bir takım algılama ve davranışlara sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, konumlandırma da çözülmesi gereken bir problemdir. Bu bağlamda, Bölüm 5.2’ de tanımlanan ortamda yapılacak uygulamalar için gereken konumlandırma, algılama ve davranış yöntemleri anlatılmaktadır.

#### 5.3.1 Tepe kamera ile robot konumlandırma

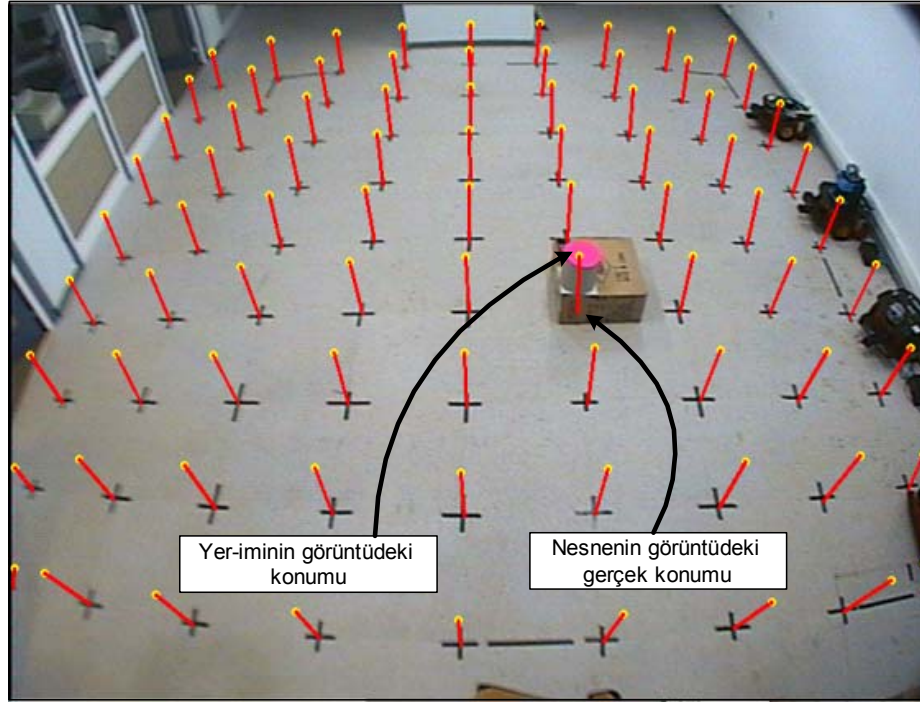
Planlanan uygulamalar için, küresel konumlandırma probleminin çözülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Her robot, kendi küresel yönünü sahip olduğu elektronik pusula ile belirleyebilmektedir. Robotların uygulama yapılacak laboratuvar içinde küresel konumlarının tesbit edilmesi için tavana yerleştirilmiş bir tepe kamerası ile konumlandırma tekniği geliştirilmiştir. Kameranın uygulama laboratuvarındaki yerleşimi ve kameradan alınan bir görüntü sırasıyla Şekil 5.3a ve Şekil 5.3b’de gösterilmektedir. Kamera, görüş alanını genişletmek için tavanda yaklaşık 45 derecelik bir açı ile yere bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Kameradan alınan görüntüler, bir bilgisayar içinde bulunan görüntü yakalama kartı ile sayısallaştırılmakta, konumlandırma algoritması ile

konum tespitinde kullanılmaktadır.

Tavan kamerası ile konum belirlemede iki temel problem söz konusudur. Problemlerden ilki, eğik görüş açısı ve geniş açı merceği nedeniyle, laboratuvar zemininin ve nesnelerin görüntüde eğrisel bir görünüş yansıtmasıdır. Bu durumda, robotun görüntüde algılanan konumu ile gerçek dünyadaki konumunun belirlenmesi güçleşmektedir. Bu problemi aşmak için referans olarak kullanılmak üzere, uygulama laboratuvarının zeminine 60 cm. aralıklarda işaret konmuştur. Şekil 5.3b’de verilen tepe kamera görüntüsünde bu problem gözlemlenebilir. İkinci problem ise, konumlandırması yapılacak olan robotun üzerine yerleştirilen yer-iminin robotun sahip olduğu yükseklik nedeniyle zeminden belli bir yükseklikte bulunması, yer-imine bağlı bulunacak konum bilgisini robotun gerçek konumunu yansıtmayacak olmasıdır. Şekil 5.4’te bu problemler görülebilmektedir.



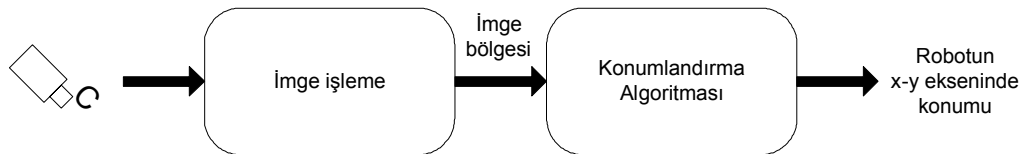
**Şekil 5.3** Konumlandırma amaçlı tavan kamerası: a) Kameranın uygulama laboratuvarındaki yerleşimi, b) Tavan kamerasından alınan bir görüntü



**Şekil 5.4** Yerden yüksekliği 450 mm olan bir yer-iminin taban ve tepe noktalarının görüntü üzerinde gösterimi

### Yöntem

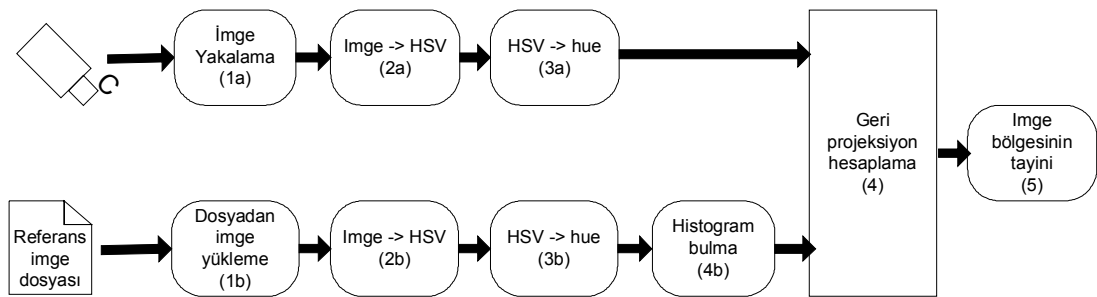
Tepe kamerası ile konumlandırma problemini çözmek üzere, bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, Şekil 5.5’de gösterildiği gibi iki aşamadan oluşmaktadır. İmge işleme aşamasında, tepe kamerasından alınan görüntü üzerinde işlemler gerçekleştirilerek yer-imine ait imge bölgesinin görüntü üzerindeki konumu piksel değerinde bulunmaktadır. İkinci aşamada ise, imge bölgesinin piksel olarak konumu ve görüntü üzerinde önceden konumları belirlenmiş referans işaretlerin konumları kullanılarak bir algoritma ile robotun konum bilgisinin hesaplandığı konumlandırma algoritması gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 5.5** Tepe kameradan konum tespit yönteminin gösterimi

Öncelikle, imge işleme aşaması açıklanacak ve sonra konumlandırma algoritması anlatılacaktır. İmge işleme aşaması, Şekil 5.6'da gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir. İmge işleme aşaması programlanırken, OpenCV (2007) adındaki açık kaynak kodlu bilgisayar görüntü işleme kütüphanesinden faydalanılmıştır. Şekilde görülen bloklarda gerçekleştirilen işlemler şöyledir:

- (1a) Görüntü yakalama kartı üzerinden alınan görüntüsü alınmaktadır,
- (2a) İmge HSV formatına dönüştürülmektedir.
- (3a) İmgenin renk özü (hue) değeri HSV formatındaki imgeden ayrıştırılmaktadır.
- (1b) Sadece robot üzerindeki yer-iminin rengini içeren referans resim dosyadan hafıza alanına yüklenmektedir.
- (2b) Referans imge, HSV formatına dönüştürülmektedir,
- (3b) Referans imgenin özü (hue) değeri HSV formatındaki imgeden ayrıştırılmaktadır.
- (4b) Referans imgenin özü (hue) değerinden histogramı hesaplanmaktadır.
- (4) Referans imgeden elde edilen histogram, gerçek zamanda yakalanan görüntünün öz değerli imgesi üzerinde taranır ve belli bir eşik değerine göre örtüşen pikseller işaretlenerek imge bölgelerini içeren yeni imge elde edilir.
- (5) İmge bölgelerinin görüntü üzerindeki piksel değerindeki konumu belirlenir.



Şekil 5.6 İmge işleme aşamasının akış şeması

Konumlandırma algoritması, iki uzayda işlem yapmaktadır. Bunlardan biri  $A=\{a_{ij} | i=0,1, \dots, n; j=0,1, \dots, m\}$  olarak tanımlanan Şekil 5.7a'da da gösterildiği gibi yer-imler için referans noktaları içermektedir. Diğer uzay,  $B=\{b_{ij} | i=0,1, \dots, n; j=0,1, \dots, m\}$  şeklinde tanımlanan konumlandırma yapılacak kameranın görüş alanındaki referans

noktaları içermektedir.  $b_{ij}$  değerleri zemine yapılan referans olarak kullanılacak işaretlemelerin, alınan görüntü üzerindeki konumlarını tanımlar.  $a_{ij}$  değerleri ise, robot  $b_{ij}$  noktasına yerleştirildiğinde robot üzerindeki yer-iminin alınan görüntü üzerindeki konumlarını tanımlar. Ayrıca,  $x$  aranan yer-iminin resimdeki konumunu,  $d$  ise,  $b_{ij}$  ile  $b_{i(j+1)}$  ( $b_{ij}$  ile  $b_{(i+1)j}$ ),  $i=0,1, \dots, n-1$ ;  $j=0,1, \dots, m-1$  arasındaki gerçek metrik mesafeyi tanımlar.

Konumlandırma algoritması şu şekildedir:

**Girdiler:**  $A=\{a_{ij} \mid i=0,1, \dots, n; j=0,1, \dots, m\}$ , (piksel)  
 $B=\{b_{ij} \mid i=0,1, \dots, n; j=0,1, \dots, m\}$ , (piksel)  
 $x$  (piksel),  $d$  (mm.)  
**Çıktılar:**  $x_g$  ( $x$  değerinin gerçek metrik değeri) (mm.)

**Adım 1.**  $i=0, j=0, i'=0, j'=0$  ataması yap.

**Adım 2.**  $\vec{V}_{ij}^k$  ve  $\vec{X}_{ij}$  vektörlerini hesapla. ( $\vec{V}_{ij}^k$ ,  $k=1$  için  $\overrightarrow{a_{ij}a_{(i+1)j}}$ ,  $k=2$  için  $\overrightarrow{a_{ij}a_{(i+1)(j+1)}}$ ,  $k=3$  için  $\overrightarrow{a_{ij}a_{i(j+1)}}$  ve  $\vec{X}_{ij}$ ,  $\overrightarrow{a_{ij}x}$  şeklinde tanımlıdır.)

**Adım 3.** *Eğer*,  $\text{açı}(\vec{V}_{ij}^2) \leq \text{açı}(\vec{X}_{ij}) \leq \text{açı}(\vec{V}_{ij}^1)$  *ise*,

*Eğer*, ( $i = n-2$ ) *ise*,

*Eğer*,  $\text{açı}(\vec{X}_{ij}) \leq \text{açı}(\vec{V}_{(i+1)j}^3)$  *ise*,

Adım 4'e git.

*Değilse*,

Hata döndür ve algoritmadan çık.

*Değilse*,

$i=i'$ ;

$i=i+1$ ;

Adım 2'ye git;

*Değilse ve eğer*,  $\text{açı}(\vec{V}_{ij}^3) \leq \text{açı}(\vec{X}_{ij}) < \text{açı}(\vec{V}_{ij}^2)$  *ise*,

*Eğer*, ( $j = m-2$ ) *ise*,

*Eğer*,  $\text{açı}(\vec{V}_{i(j+1)}^1) \leq \text{açı}(\vec{X}_{ij})$  *ise*,

Adım 4'e git.

*Değilse,*

Hata döndür ve algoritmadan çık.

*Değilse,*

$j=j;$

$j=j+1;$

Adım 2'ye git;

*Değilse,*

$i=i;$

$j=j;$

**Adım 4.**  $x$  noktası,  $\{a_{ij}, a_{i(j+1)}, a_{(i+1)j}, a_{(i+1)(j+1)}\}$  noktaları arasında

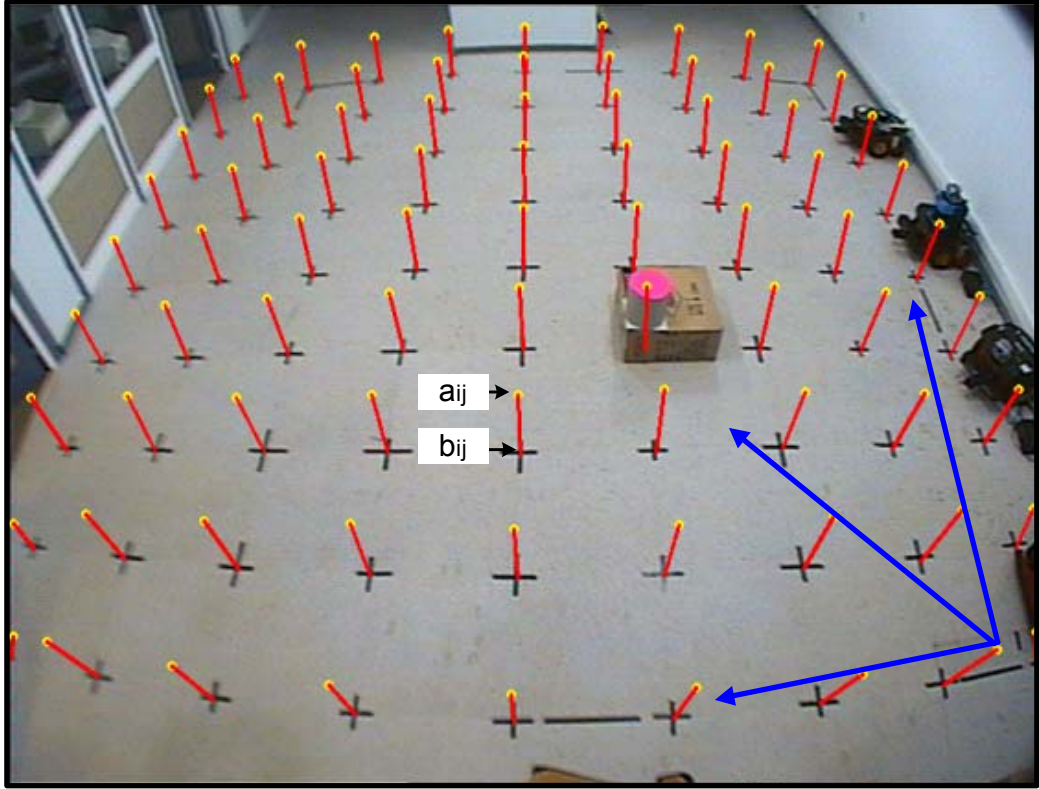
bulunmaktadır.  $x$  noktasının  $\{b_{ij}, b_{i(j+1)}, b_{(i+1)j}, b_{(i+1)(j+1)}\}$  noktalarına izdüşümü ( $x_p$ ) bul.

**Adım 5.**  $b_{ij}$  yer işaretlerinin gerçekteki değerleri için

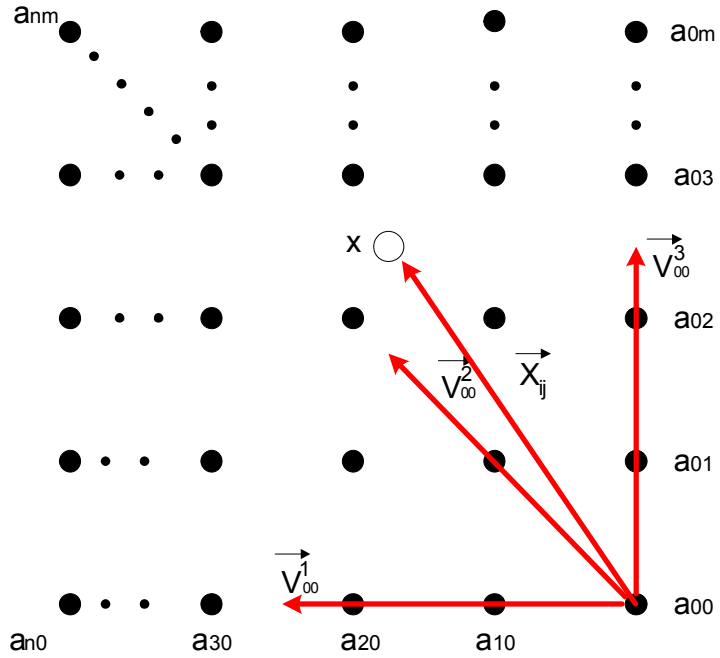
$$\left| \overrightarrow{b_{ij}b_{(i+1)j}} \right| = \left| \overrightarrow{b_{ij}b_{i(j+1)}} \right| = \left| \overrightarrow{b_{(i+1)j}b_{(i+1)(j+1)}} \right| = \left| \overrightarrow{b_{i(j+1)}b_{(i+1)(j+1)}} \right| = d \quad \text{ifadesi}$$

geçerlidir.  $x_p$  noktasının  $\{b_{ij}, b_{i(j+1)}, b_{(i+1)j}, b_{(i+1)(j+1)}\}$  noktalarına olan uzaklıkları ile gerçek değerlerin oranlanması ile robotun konumunu bul ve döndür.





a)



b)

**Şekil 5.7** Konumlandırma algoritmasında kullanılan parametrelerin gösterimi: a)  $a_{ij}$  ve  $b_{ij}$  parametrelerinin görüntü üzerinde gösterimi, b) Algoritma parametrelerinin gösterimi

Tepe kamera ile robotların konumlarının belirleme algoritmalarını içeren bilgisayar programı robotlarla aynı haberleşme ağı ortamına bağlı olan bilgisayarda çalıştırılabilmektedir. Program, robotların herhangi bir andaki konumları belirleyip, onlara bildirebilmektedir.

### 5.3.2 Robot davranışları

Davranışlar gezgin robot kontrolünün, temel taşı olarak düşünülebilir (Arkin, 2002; Murphy, 2000). Davranışlar, basit algılamalar ile engellerden sakınma ve hedefe gitme gibi küçük hedeflere ulaşılmasını sağlayan hareketleri gerçekleştirir. Gezgin robotların kullandığı davranış kavramı, hayvanların sergiledikleri davranışlara benzetilebilir. Örneğin; yırtıcı bir hayvanı farkedene bir atın yaptığı hareket örüntüsü bir davranış olarak tanımlanabilir. At yırtıcı hayvanı görünce, kulaklarını dikleştirir, başını eğip ve ayağı ile yeri eşelemeye başlar. Burada, yırtıcının görülmesi bir algısal davranış tetikleyicisidir. Kontrol çalışmalarının çoğu bu yapıları kullanmaktadır. Tepkisel değerler dizisini kullanan kontrol mimarileri tamamen davranışların koordinasyonu üzerine kurulurken, melez değerler dizisini temel alan mimariler tepkisel katmanda mutlaka davranışları kullanmaktadırlar.

Gezgin robot kontrol sistemlerinin oluşturulmasında, davranış yaklaşımının kullanılmasının yararları vardır. Öncelikle, davranışlar modülerdir ve bu nedenle de sistemden bağımsız olarak test edilmeleri kolaydır. Ayrıca, davranışların evrim teorisine benzer şekilde artırımlı olarak genişlemesi mümkün olmaktadır. Robotun sahip olduğu davranış sayısı arttıkça, robotun farklı görevleri yapma kabiliyetleri artacaktır. Davranışların tasarımında matematiksel modeller kullanılmasına rağmen, davranışın son halini alması tasarım ve uygulamanın sürekli olarak bir döngü şeklinde gerçekleştirilmesi ile olmaktadır. Bir temel davranış tasarımı yapılır; robotta uygulanır; sonuçları değerlendirilir ve tekrar tasarım geliştirilir. Bu adımlar, davranış istenen sonuçları verene kadar devam eden bir geliştirme döngüsüdür.

Bu tez çalışmasında, önerilen kontrol mimarisindeki hareket erkini geliştirilen davranışları kullanarak robotun hareketlerini gerçekleştirmektedir. Uygulanacak senaryolar için gereken temel davranışlar belirlenip, geliştirilmiştir. Senaryolarda ihtiyaç duyulabilecek davranışlar şunlardır:

### Seyrüsefer Davranışları

- **Hedefe gitme davranışı** (Robot bulunduğu noktadan istenilen bir noktaya gider.)
- **Yanaşma davranışı** (Robot belli bir uzaklığına geldiği duvar ya da nesneye istenen yönden güvenli bir şekilde yanaşır.)
- **Uzaklaşma davranışı** (Yanaşma davranışının ters şeklidir. Robot yanaşmış olduğu duvar ya da nesneden güvenli bir şekilde belli bir uzaklığa kadar uzaklaşır.)

### Nesne Nakil ve Güdüm Davranışları

- **İttirme davranışı** (Robot, temas halinde olduğu hareket ettirilebilir bir nesneyi istenen bir noktaya kadar ittirir.)
- **Tutma davranışı** (Robot sahip olduğu tutma mekanizmalarını kullanarak, önünde bulunan bir taşınabilir nesneye yaklaşır, tutup kaldırır.)
- **Bırakma davranışı** (Tutma davranışının tersidir. Robot sahip olduğu tutma mekanizmalarında mevcut olan taşınabilir nesneyi, bulunduğu noktaya bırakarak güvenli mesafeye kadar geri çekilir.)

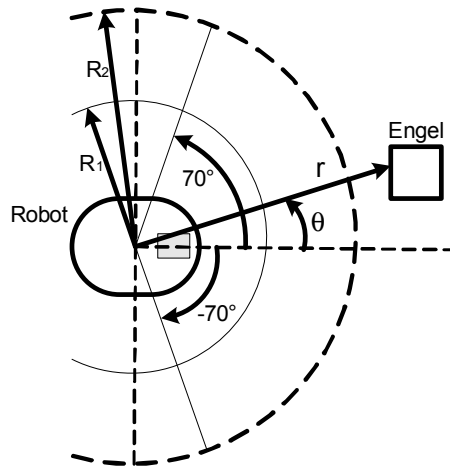
### Hayatta Kalma Davranışları

- **Engellerden sakınma davranışı** (Robot, herhangi bir yer değiştirme hareketi sırasında, karşısına çıkan engellere çarpmamak için manevra yapar.)
- **Kurtulma davranışı** (Robot, motorlarına güç vermesine rağmen bir yerlerde takılı kalması nedeniyle hareket edememesi durumunda, onu bu durumdan kurtaracak manevralar yapar.)

Her davranışın kullandığı algısal girdiler ve davranış sonucu gerçekleşecek eylemler için çıktıları vardır. Davranışların çalışma yöntemleri şu şekilde gerçekleşmektedir:

### a) Öndeki Engellerden Sakınma Davranışı

Öndeki Engellerden Sakınma Davranışı	
Algısal Değerler	Ön sonarlardan alınan mesafe bilgisi
Hareket Değerleri	Bağıl dönme ( $\theta_b$ ) ve doğrusal hız ( $v$ )



Şekil 5.8 Öndeki engellerden sakınma davranışının gösterimi

Bu davranışın şekilsel olarak gösterimi Şekil 5.8’de verilmektedir. Bu davranışta engelin robota göre bulunduğu konuma bağlı olarak, robotun hızı ve yönünü değiştirecek komutlar üretilmektedir.

Mesafe duyucularının (robotların ön tarafında bulunan 8 tane sonar) kullanılması ile robotun önünde kalan  $\pm 70^\circ$  ‘lik bir yay içinde bulunan kendisine en yakın engelin uzaklığı ( $r$ ) ve açısı ( $\theta$ ) gerçek zamanlı olarak tesbit edilmektedir.  $R_1 < R_2$  parametreleri iki yayın robota olan uzaklıklarını vermektedirler. Davranışı gerçekleştiren algoritma şu adımları izlemektedir:

$$\theta_b' = 0$$

**Adım 1:** Eğer,  $r > R_2$  ise,

$$\theta_b = 0;$$

$v$  = mevcut hız;

**Adım 2:** Eğer,  $R_1 < r < R_2$  ise;

(Bu durumda, robot engelin açısına ( $\theta$ ) orantılı olarak döndürülür

ve hızı da engele yaklaştıkça azaltılır)

**Eğer,  $\theta > 0$  ise,**

$$\theta_b = -1 * \Delta\theta_b; (\Delta\theta_b : \text{bağlı dönüş adımı})$$

**Değilse,**

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = \frac{v_s \cdot r}{R_2};$$

**Adım 3: Eğer,  $r < R_1$  ise;**

(Robotun engele çarpması an meselesidir ve bu nedenle duldurulmaktadır. Ancak, engeli aşmak üzere dönmesine devam etmektedir)

**Eğer,  $\theta > 0$  ise,**

$$\theta_b = -1 * \Delta\theta_b; (\Delta\theta_b : \text{bağlı dönüş adımı})$$

**Değilse,**

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = 0;$$

**Adım 4:** (Bir değiştirge olarak tanımlanan bağlı dönüş adımının ( $\Delta\theta_b$ ) değerinin büyüklüğü nedeniyle, robot bir noktada kalıp sürekli kendi etrafında dönebilir. Bunu engellemek için, robot kendi etrafında tam bir dönüş yaptığında bu değiştirgenin değeri yarısına düşürülmektedir.

$$\theta_b' = \theta_b' + \theta_b;$$

**Eğer,  $\theta_b' \geq 360^\circ$  ise,**

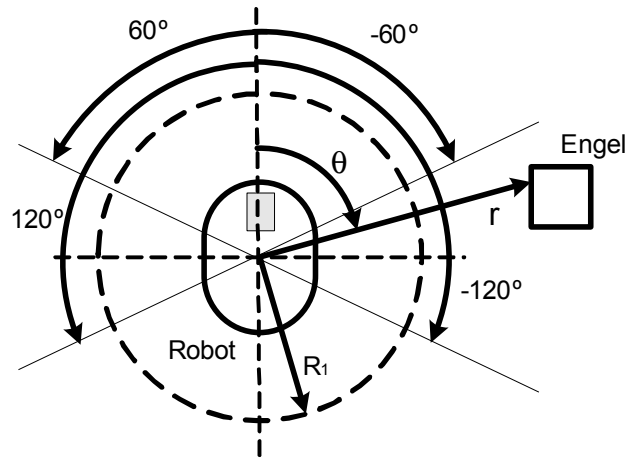
$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_b/2;$$

$$\theta_b' = 0;$$

Bu davranış, robot üzerinde değişik ortamlar için denenmiştir. Robot başarıyla engellere çarpmadan yönünü değiştirebilmektedir.

### b) Yanlardaki Engellerden Sakınma Davranışı

Yanlardaki Engellerden Sakınma Davranışı	
Algısal Değerler	Ön & arka sonar dizilerinde robotun yanlarına bakan sonarlardan alınan mesafe bilgisi
Hareket Değerleri	Bağıl dönme ( $\theta_b$ ) ve doğrusal hız ( $v$ )



Şekil 5.9 Yandaki engellerden sakınma davranışının gösterimi

Bu davranışın şekilsel olarak gösterimi Şekil 5.9'de verilmektedir. Bu davranışta robota göre bulunduğu konuma bağlı olarak yandaki engellerden güvenli uzaklıkta durması için, robotun hızı ve yönünü değiştirecek komutlar üretilmektedir.

Sonarların kullanılması ile robotun yan tarafında  $\pm 60^\circ$  ve  $\pm 120^\circ$  açıları arasında kalan yayların içinde bulunan kendisine en yakın engel uzaklığı ( $r$ ) ve açısı ( $\theta$ ) gerçek zamanlı olarak tesbit edilmektedir.  $R_1$  parametresi davranışın tepki vermeye başlayacağı uzaklığı vermektedir. Davranışı gerçekleştiren algoritma şu adımları izlemektedir:

**Adım 1:** *Eğer*,  $-120 < \theta < -60$  ise,

*Eğer*,  $r < R_1$  ise,

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b ;$$

$$v = 0;$$

*Değilse*,

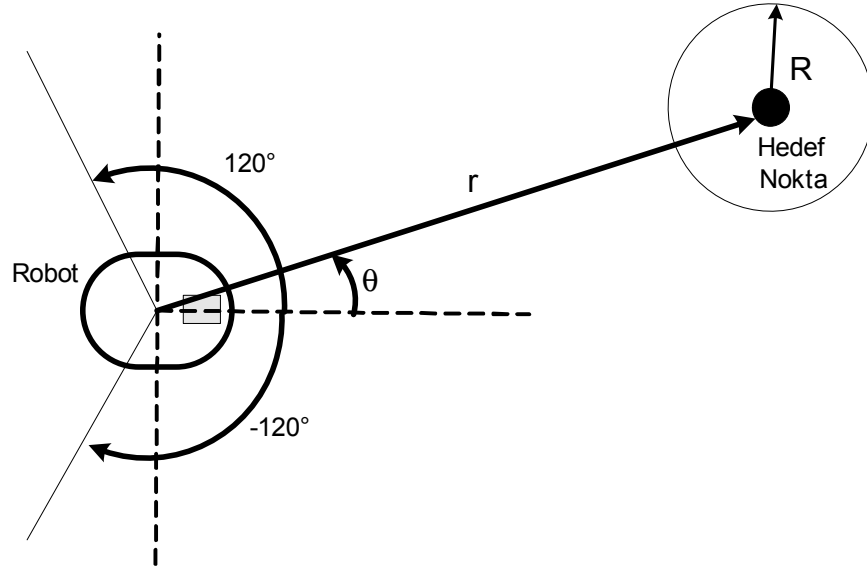
$\theta_b = 0$  ;  
 $v = \text{mevcut hız}$ ;  
**Eğer**,  $60 < \theta < 120$  ise,  
**Eğer**,  $r < R_l$  ise,  
 $\theta_b = -1 * \Delta\theta_b$  ;  
 $v = 0$  ;  
**Değilse**,  
 $\theta_b = 0$  ;  
 $v = \text{mevcut hız}$ ;  
**Değilse**,  
 $\theta_b = 0$  ;  
 $v = \text{mevcut hız}$  ;

Bu davranış, robot üzerinde değişik ortamlar için denenmiştir. Robot, yan tarafında bulunan engellere olan güvenli mesafesini korumaktadır.

### c) Hedefe Gitme Davranışı

Hedefe Gitme Davranışı	
<b>Algısal Değerler</b>	Tekerleklerdeki sayma duyucularından alınan bağıl konum bilgileri
<b>Hareket Değerleri</b>	Bağıl dönme ( $\theta_b$ ) ve doğrusal hız ( $v$ )

Bu davranış ile robot, konumu verilen bir noktaya gitmeye çalışır. O noktaya ulaşırken, robotun konumu hedef noktaya göre hesaplanarak robotun yönü ve hızı kontrol edilir.



**Şekil 5.10** Hedefe gitme davranışının gösterimi

Bu davranışın şekilsel olarak gösterimi Şekil 5.10'da verilmektedir.  $r$ , robotun hedef noktaya olan uzaklığını  $\theta$  ise, açısını vermektedir.  $R$ , robotun hedef noktanın komşuluk uzaklığını vermektedir. Bu parametrenin tanımlanmasının bir sebebi vardır. Robot hedef noktaya giderken, hedefe göre konumunu sayma duyucularından ilk konumuna bağlı olarak adım sayarak bulur. Bu şekilde, yol ölçme kullanarak konum belirlemede, konum bilgisinin hatası katlanarak büyür. Bu nedenle, bu davranışta, noktaya değil, noktanın belirli bir komşuluğuna ulaşmaya çalışılır. Bu mesafe ardıl izlem (hysteresis) olarak düşünülebilir. Ayrıca, robotun konum bilgisi küresel konumlandırma ile desteklenmiyor ise, bu davranışta hedef nokta olarak çok uzak mesafeler (bu mesafe robotların hareket ettikleri zemine ve robotun sürüş sistemine göre değişiklik gösterir) verilmemesi gerekir. Davranışı gerçekleştiren algoritma şu adımları izlemektedir:

**Adım 1:** *Eğer*,  $r \geq R$  ise,

*Eğer*,  $0 \leq \theta$  ise,

*Eğer*,  $\theta \leq 120^\circ$  ise,

$$\theta_b = -1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = \sqrt{\alpha \cdot r}; \quad (\alpha, \text{ bir sabittir.})$$



*Değilse,*

$$\theta_b = -1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = 0;$$

*Değilse,*

*Eğer,  $-120^\circ \leq \theta$  ise,*

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = \sqrt{\alpha \cdot r};$$

*Değilse,*

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

$$v = 0;$$

*Değilse,*

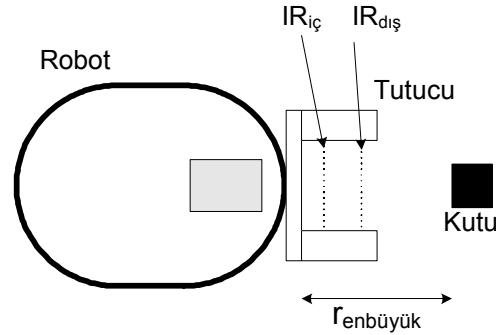
$$\theta_b = 0;$$

$$v = 0;$$

#### d) Tutma Davranışı

Tutma Davranışı	
<b>Algısal Değerler</b>	Sayma duyucularından alınan bağıl konum bilgileri ve tutucuların iç kısmında yer alan IR duyucular
<b>Hareket Değerleri</b>	Doğrusal hız ( $v$ ), tutucu açma/kapama, tutucu aşağı/yukarı hareket

Robot bu davranışta, belirli bir uzaklığında bulunan nesneye güvenli bir şekilde yaklaşır, tutar ve kaldırır. Bu davranış öncesinde robotun tutulacak nesneye belirli bir uzaklıkta olması ve nesnenin robotun tam önünde bulunması gerekmektedir. Davranış öncesinde, nesnenin robota olan uzaklığının en büyük değeri  $r_{enbüyük}$  kadar olmalıdır. Tutucular aşağı, yukarı, açık ya da kapalı durumlarda olabilir. Bu durumlar bir önceki davranış tarafından sağlanmış olacaktır.



**Şekil 5.11** Tutma ve bırakma davranışının gösterimi

Davranış ile ilgili gösterim Şekil 5.11’de verilmektedir.  $IR_{iç}$  ve  $IR_{dış}$ , sırasıyla tutucu kanatlarının arasındaki duyucuları tanımlamaktadır. Bu duyucular, tutucu mekanizmasının içindeki bir cismin algılanma durumuna göre var/yok şeklinde mantıksal değer üretmektedir. Böyle,  $IR_{iç}$  ve  $IR_{dış}$  duyucuları vasıtasıyla cismin tutucu kanatları arasındaki durumları algılanabilmektedir. Ayrıca,  $K_d = \{açık, kapalı\}$  ve  $K_h = \{aç, kapat, durdur\}$  ifadeleri ile sırasıyla, kanat durumları ve kanat hareketleri tanımlanmaktadır. Benzer şekilde,  $T_d = \{aşağıda, yukarıda\}$  ve  $T_h = \{indir, kaldır, durdur\}$  ifadeleri ile de sırasıyla, tutucu durumları ve tutucu hareketleri tanımlanmaktadır. Davranışı gerçekleştiren algoritma şu adımları izlemektedir:

$Durum = 0;$

**Adım 1:** *Eğer,  $Durum == 0$  ise,*

*Eğer,  $T_d = yukarıda$  veya  $K_d = kapalı$  ise,*

$T_h = indir;$

$K_h = aç;$

*Değilse,*

$K_h = durdur;$

$T_h = durdur;$

$Durum = 1;$

**Adım 2:** *Değilse eğer,  $Durum = 1$  ise,*

*Eğer,  $IR_{dış} == yok$  ise,*

$v = V_{üstsinir}$ ; ( $V_{üstsinir}$ , robotun cisme ilk yaklaşma hızı)

*Değilse eğer,  $IR_{iç} == yok$  ise,*

$v = V_{altsinir}$ ; ( $V_{altsinir}$ , cisim kanatlar arasında iken yaklaşma hızı)

*Değilse,*

$v = 0$ ;

$Durum = 2$ ;

**Adım 3: *Değilse eğer,  $Durum = 2$  ise,***

*Eğer,  $K_d = = açık$  ise,*

$K_h = kapat$ ;

*Değilse eğer,  $T_d = = aşağıda$  ise,*

$K_h = kaldır$ ;

*Değilse,*

$K_h = durdur$ ;

$T_h = durdur$ ;

$Durum = 3$ ;

#### e) Bırakma Davranışı

Bırakma Davranışı	
<b>Algısal Değerler</b>	Sayma duyucularından alınan bağıl konum bilgileri ve tutucuların iç kısmında yer alan IR duyucular
<b>Hareket Değerleri</b>	Doğrusal hız ( $v$ ), tutucu açma/kapama, tutucu aşağı/yukarı hareket

Robot bu davranışta, tutucularında bulunan bir nesneyi bulunduğu noktaya bırakır ve güvenli bir mesafeye geri çekilir. Bu davranış öncesinde robotun nesneyi bırakacağı noktada ve yönelimde bulunması gerekmektedir. Şekil 5.11'de verilen gösterim bu davranış için de geçerlidir. Bu davranış, hemem hemen tutma davranışının tersten yapılmasıdır. Bu davranış için şu algoritma izlenmektedir:

$Durum = 0;$

**Adım 1: Eğer,  $Durum == 0$  ise,**

**Eğer,  $T_d \neq$  aşağıda ise,**

$T_h = indir;$

**Değilse eğer,  $K_d \neq$  açık ise,**

$T_h = durdur;$

$K_h = aç;$

**Değilse,**

$K_h = durdur;$

$Durum = 1;$

**Adım 2: Değilse eğer,  $Durum = 1$  ise,**

**Eğer,  $r_d < r_{enbüyük}$  ise, ( $r_d$ : Robotun cismi bıraktıktan sonra aldığı mesafe)**

$v = -V_r$ ; ( $V_r$ : robotun güvenli mesafeye çekilme hızı)

**Değilse,**

$v = 0;$

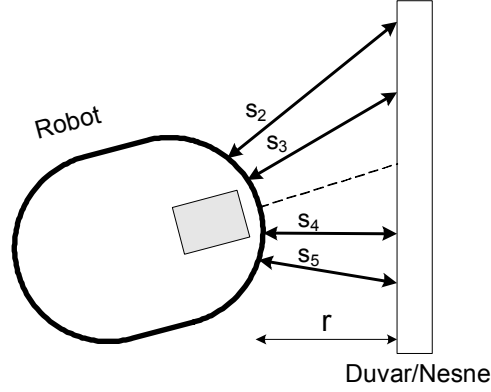
$Durum = 2;$

$T_h = durdur;$

#### f) Yanaşma Davranışı

Yanaşma Davranışı	
Algısal Değerler	Ön & arka sonarlardan alınan mesafe bilgisi
Hareket Değerleri	Bağlı dönme ( $\theta_b$ ) ve doğrusal hız ( $v$ )

Robot bu davranışta, bir duvara ya da bir nesneye güvenli bir şekilde yanaşır. Bu davranış, robotun bir nesneyi ittirilmesi ya da park etmesi gerektiğinde kullanılır.



**Şekil 5.12** Yanaşma davranışının gösterimi

Şekil 5.12’de bu davranış için bir gösterim verilmektedir.  $s_2$ ,  $s_3$ ,  $s_4$ ,  $s_5$  olarak tanımlanan değerler, öndeki ya da arkadaki dört sonardan alınan mesafe bilgilerini ifade etmektedir. Bu davranış için şu algoritma izlenmektedir:

**Adım 1:** *Eğer*,  $((s_2 + s_3)/2 - (s_4 + s_5)/2) \leq \delta$  *ise*, ( $\delta$ : Sıfıra yakın bir değer)

$$\theta_b = 0;$$

*Değilse eğer*,  $(s_2 + s_3)/2 < (s_4 + s_5)/2$  *ise*,

$$\theta_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

*Değilse*,

$$\theta_b = -1 * \Delta\theta_b;$$

**Adım 2:**  $r' = (s_3 + s_4) / 2$ ;

*Eğer*,  $r' > r_{min}$  *ise*,

$$v = \sqrt{\alpha \cdot r'}; \quad (\alpha, \text{ bir sabittir.})$$

*Değilse*,

$$v = 0;$$

### g) Uzaklaşma Davranışı

Uzaklaşma Davranışı	
Algısal Değerler	Ön & arka sonarlardan alınan mesafe bilgisi
Hareket Değerleri	Doğrusal hız ( $v$ )

Robot bu davranışta, önü ya da arkası duvara ya da bir yanaşmış durumda iken, güvenli bir şekilde sonraki hareketlerinde manevra yapabilmek üzere belli mesafe doğrusal uzaklaşır. Şekil 5.12’de verilen  $r$  uzaklığı beklenen uzaklaşma miktarını ifade etmektedir. Bu davranış için şu algoritma izlenmektedir:

**Adım 1:**  $r' = (s_3 + s_4) / 2$ ;

*Eğer,  $r' < r$  ise,*

$$v = \sqrt{\alpha|r - r'|}; \quad (\alpha, \text{ bir sabittir.})$$

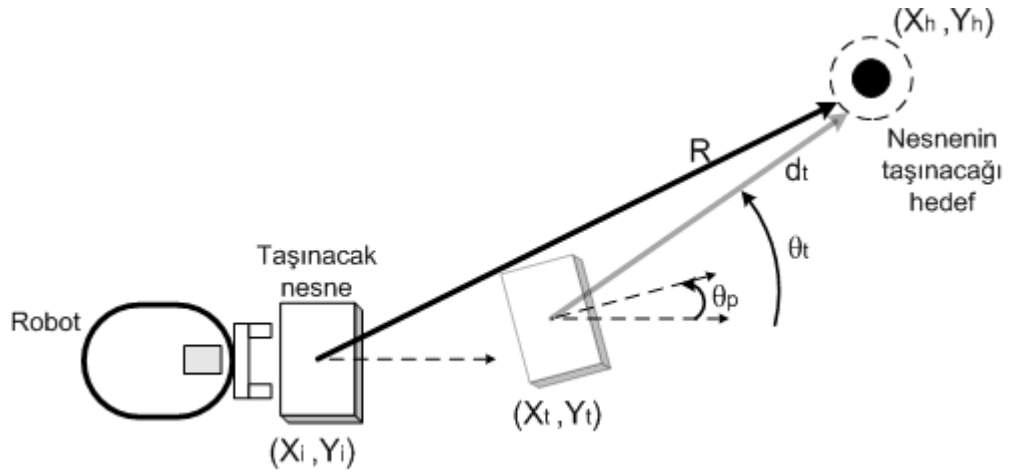
*Değilse,*

$$v = 0;$$

#### h) İttirme Davranışı

İttirme Davranışı	
<b>Algısal Değerler</b>	Sayma duyucularından alınan bağıl konum bilgileri ve elektronik pusuladan alınan küresel yön bilgisi
<b>Hareket Değerleri</b>	Bağıl dönme ( $\theta_b$ ) ve doğrusal hız ( $v$ )

Robot bu davranışta, önünde duran taşınabilir bir nesneyi istenen noktaya doğru ittirir. Bu davranış için kullanılan parametreler şekil 5.13’de verilmektedir.  $(X_i, Y_i)$ , robotun ittirmeye başlamadan önceki küresel konumunu belirtmektedir.  $(X_h, Y_h)$ , nesnenin taşınacağı noktanın koordinatlarını tanımlamaktadır.  $(X_t, Y_t)$ , robotun ittirme sırasında  $t$  zaman anında bulunduğu koordinatı tanımlamaktadır.  $R$  ve  $d_t$ , sırasıyla robotun ittirmeye başlamadan önceki ve  $t$  anındaki hedef noktaya olan uzaklığını belirtmektedir.  $\theta_p$  ve  $\theta_t$ , sırasıyla elektronik pusulanın sağladığı küresel yön ve hedef noktaya göre yönü tanımlamaktadır.



Şekil 5.13 İttirme davranışının gösterimi

Bu davranış için şu algoritma izlenmektedir:

**Adım 1:**  $d_t = \sqrt{(X_h - X_t)^2 + (Y_h - Y_t)^2}$  ;

$$\theta_t = \tan^{-1}((Y_h - Y_t)/(X_h - X_t));$$

**Adım 2:** *Eğer*,  $d_t \leq \varepsilon_d$  *ise*, ( $\varepsilon_d$ , hedef noktanın komşuluğunu belirtir.)

$$v = 0;$$

*Değilse*,

$$v = \sqrt{\alpha \cdot d_t}; \quad (\alpha, \text{bir sabittir.})$$

**Adım 3:** *Eğer*,  $|\theta_t - \theta_p| \leq \varepsilon_\theta$  *ise*, ( $\varepsilon_\theta$ , sıfıra yakın bir değerdir.)

$$\dot{\theta}_b = 0;$$

*Değilse eğer*,  $\theta_t \leq \theta_p$  *ise*,

$$\dot{\theta}_b = -1 * \Delta\theta_b;$$

*Değilse*,

$$\dot{\theta}_b = 1 * \Delta\theta_b;$$

### i) Kurtulma Davranışı

Kurtulma Davranışı	
Algısal Değerler	Ön&Arka Sonar Dizilerinden alınan mesafe bilgisi
Hareket Değerleri	Doğrusal ve açısal hızlar

Bu davranış, robotun tekerleklerinin birşeylere takılması sonucu zorlanarak durması sırasında devreye girer ve çeşitli manevralar deneyerek robotun bulunduğu durumdan kurtulmasını sağlar.

Robot, tekerleklerinin biri ya da her ikisinin takılması durumunda şu manevraların herbirini sırasıyla yaparak bu durumdan kurtulmaya çalışır:

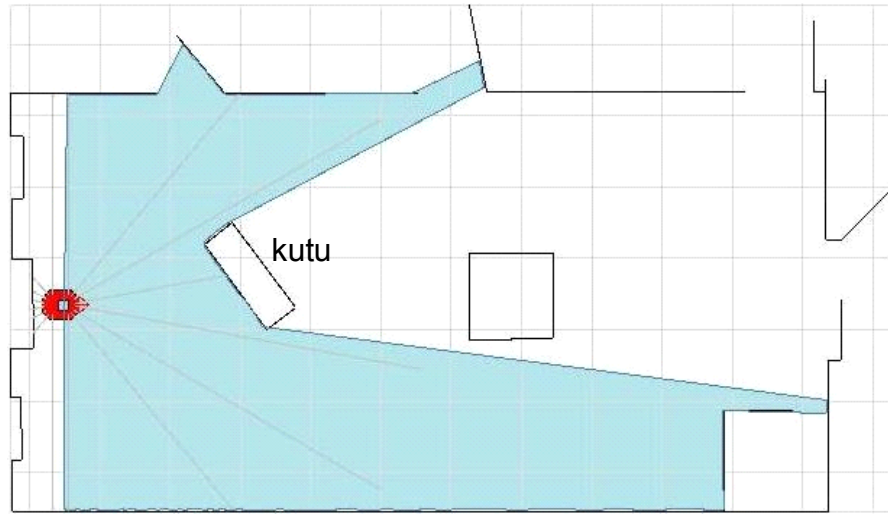
- Dönerek geri gitme,
- Geri gitme,
- Sağa dönme (engellere zıt yönde),
- Geri sola dönme,
- İleri sola dönme,
- Dönerek ileri gitme,
- İleri gitme,
- Sola dönme (engellere zıt yönde),
- Geri sağa dönme,
- İleri sağa dönme,

Bu manevraların herbirini belirli bir süre için yapar. Bu arada, tekerleklerin kurtulup, kurtulmadığını kontrol eder.

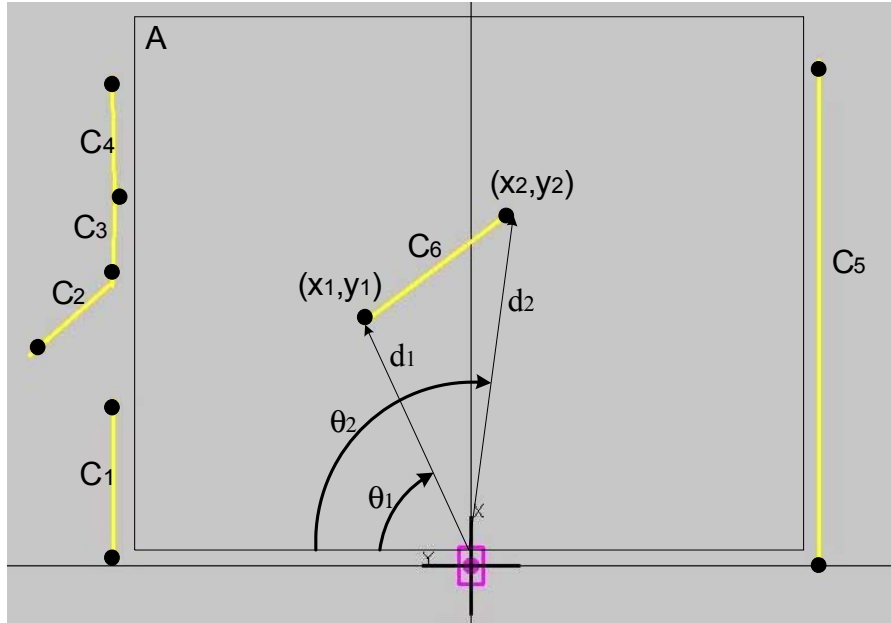
### 5.3.3 Algılama

Uygulamada kullanılması planlanan senaryolarda, özellikleri tanımlanan taşınacak kutuların tanınması ve yönelimleri ile konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür problemlerde genellikle kameraların kullanılmasına rağmen, en hassas sonuç alınacak algılayıcı lazer tarayıcıdır. Şekil 5.14'de benzetim ortamındaki kutuyla robot ve lazer taraması sonucu robotun elde ettiği çizgiler görülmektedir. Geliştirilen kutu algılama yazılımı ile robotun kutu bulmak üzere ilgilendiği alanın koordinatları ve kutunun özellikleri (boyutları ve sahip olduğu renksel işareti) girildiğinde tarama alanı içindeki kutuların tanınması ve robota göre konumlarının ve ortantasyonlarının bulunması mümkün olabilmektedir.





a)



b)

**Şekil 5.14** Lazer mesafe duyucusu ile kutu belirleme: a) Laboratuarda, robotun lazer tarayıcısının gördüğü alanın gösterimi, b) Lazer ile tarama sonrası bulunan çizgilerin gösterimi

Şekil 5.14a'da görüldüğü gibi, robot lazer tarayıcı ile 1'er derecelik açısal adımlarda gönderilen lazer ışınlarından sağlanan 180 adet mesafe bilgilerini temin etmektedir. Bu bilgilerden, boyutları önceden tanımlanmış olan kutuların konumlarını ve yönlenmelerini belirleyebilmektedir. Kutular ile robot arasında herhangi bir nesnenin olmadığı kabullenmesi altında, nesnelerin belirlenmesi şu adımların izlenmesi ile

sağlanmaktadır:

**Adım 1.** A ile tanımlanmış olan kutu tarama bölgesi ya da bina duvarlarının haritası ile kutuların ebatları da verilmiş olsun.

**Adım 2.** Robot, Şekil 5.14a'da verildiği gibi bulunduğu konumdan lazer ile tarama yapar.

**Adım 3.** Mesafe bilgilerinden, çizgi bulma algoritması ile doğru parçalarının her iki ucunun koordinatları tesbit edilir. Şekil 5.14b'de  $C_i$ ,  $i=1,\dots,6$  olarak ifade edilen 6 adet çizgi görülmektedir.

**Adım 4.** Çizgiler, A ile tanımlanan alan için de bulunma ya da verilen harita duvarları ile çakışma durumuna bakılarak elemeye tabi tutulur. Bu işlem sonucunda, duvara ait olan,  $C_i$ ,  $i=1,\dots,5$  ile tanımlı çizgiler elenirken,  $C_6$  ile tanımlanan çizgi aranan kutuya ait olma olasılığını taşımaktadır.

**Adım 5.** Öncelikle,  $C_6$  doğru parçasının boyutu ve eğimi hesaplanır.

$$|C_6| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \text{ ve } \hat{C}_6 = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \quad (5.1)$$

$C_6$  doğru parçasının boyutu önceden tanımlanan kutu boyutları ile aynı ise, doğru parçasının ait olduğu kutunun tipi, konumu ve yönlenmesi tesbit edilmiş olur.

### 5.3.4 Haberleşme

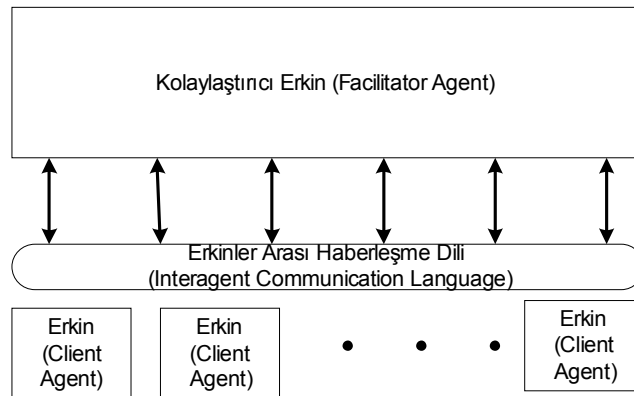
Erkinler tanım olarak, sosyal varlıklardır. Zaten, erkinlerin asıl kullanımları diğer erkinlerin topluluğu içinde ve onlarla birlikte çalışmasına bağlıdır. Erkinler, birbirlerinden farklılık göstermektedirler ve erkin topluluğu içine girmek ve ayrılmak üzere özgürdürler. Bu durumda, erkinler birbirlerini bulabilmeli ve haberleşebilmelidir. Bu ihtiyacı karşılayacak yapılara ihtiyaç vardır.

Erkin tabanlı programlamaya olan ilginin artmasıyla birlikte, ihtiyaç duyulan haberleşme altyapısını sağlayacak çok sayıda yazılım araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir<sup>1</sup>. Bu yazılımlar, temelde birbirlerine benzemesine rağmen sundukları

<sup>1</sup> <http://www.agentlink.org>

hizmetler, haberleşme dilleri ve destekledikleri programlama dillerine göre değişiklikler göstermektedirler. Bu yapılarda, erkin isim sunucusu denen erkin bilgilerini tutmak ve mesajları yönlendirmek, erkinler arası haberleşme dili tanımlamak, veri bankalarını sağlamak gibi hizmetler yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, haberleşme altyapısında kullanılmak üzere, Open Agent Architecture (OAA) (Açık Erkin Mimarisi) olarak adlandırılan yazılım kullanılmıştır (Open Agent Architecture, 2007). Stanford Araştırma Enstitüsü (SRI), Yapay Zeka Merkezi tarafından geliştirilen bu yazılım, erkin tabanlı programlamada kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu yazılımda kullanılmak üzere, erkinler arası haberleşme dili (ICL) geliştirmişlerdir. Bu dille, erkinler geliştirdikleri programlama dillerinden bağımsız olarak birbirleri arasında haberleşebilmektedir. Bu dil, Prolog dilinin bir uzantısı olarak geliştirilmiştir.



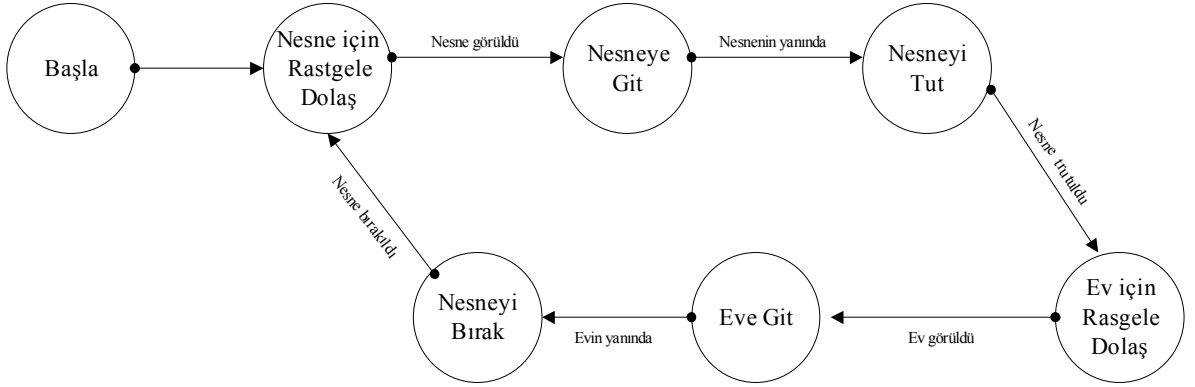
**Şekil 5.15** Açık Erkin Mimarisinin(OAA) yapısı

Şekil 5.15’de gösterildiği gibi, kolaylaştırıcı erkin, tüm erkinlerin ortak dili olan Erkinler Arası Haberleşme Dilini kullanarak erkinlere hizmet vermektedir. Erkinler, kolaylaştırıcı erkin ile bağlantı kurar ve yetenekleri dahilindeki hizmetleri bildirirler. Herhangi başka bir erkin bu hizmetlerden birinden faydalanmak isterse, kolaylaştırıcı erkin bu talebi ICL kullanarak hizmeti sunacak erkine bildirir. Erkin, isteği dilbilgisel olarak ayrıştırır ve işleyerek cevabı döndürür. Bu yazılım, bir çoklu robot kontrol çalışmasında da kullanılmıştır (Guzzoni et al., 1997).

Bu yazılıma benzer çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılacak uygulamalarda, OOA yapısının seçilmesinde C programlama dilini desteklemesi, açık kaynak kodlu olması, güncellenmesinin devam ediyor olması etkin olmuştur.

### 5.3.5 Alt yapı çalışmalarının bazı uygulamalarda kullanımı

Tez çalışması esnasında, geliştirilen davranışların, algılama tekniklerinin ve haberleşme yapısının kullanıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu uygulamalardan birinde, geliştirilen davranışların kullanımını göstermek üzere nesne toplama görevinin gerçekleştirilmesini içeren bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulama için, davranış koordinasyon metodu olarak, Sonlu Durum Özdevinir (Finite State Automata, FSA) metodu kullanılmıştır (Murphy, 2000). Nesne toplama görevinin akış şeması, Şekil 5.16'da verilmektedir.



**Şekil 5.16** Nesne toplama görevinde FSA

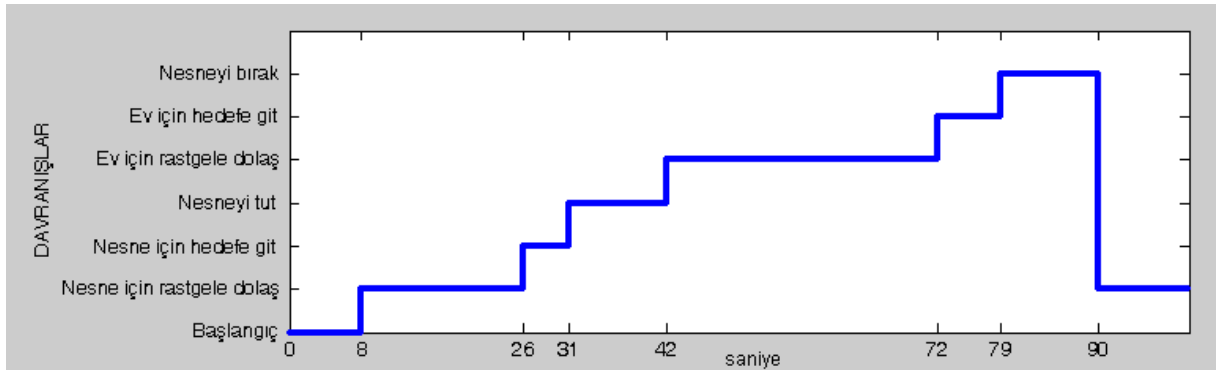
Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, geliştirilen davranışlar belirli bir görevin yerine getirilmesinde kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, görevlerin tamamen tepkisel olarak gerçekleştirilmesidir. Yukarıda gösterilen yapıdaki davranışlar amaçlı davranışlardır. Bu davranışlarla birlikte, hayatta kalma davranışları olan öndeki engellerden sakınma, yandaki engellerden sakınma ve kurtulma davranışları sürekli aktif durumda bulunmakta ve amaca yönelik davranışların gerçekleşmesi sırasında algılanan durumlara göre robotun zarar görmemesi için amaca yönelik hareketleri şekillendirmektedirler.

Nesne toplama görevini gerçekleştirirken robotun, toplayacağı nesnelere ve nesnelerin götürülecekleri ev olarak tanımlanan konuma koyulmuş işaretleri tanıması gerekmektedir. Tanıma işlemini cisimlerin renklerinden faydalanarak kameradan alınan görüntülerin işlenmesi ile gerçekleştirmektedir (Proje raporu, 2006).



**Şekil 5.17** Nesne toplama görevi için ortamın tanıtımı

Uygulamada, taşınması istenen nesne ve nesnenin götürülmesi istenen ev konumunu belirten işaret Şekil 5.17’de gösterilmektedir. İlgili araştırmacılar, bu uygulamanın videosunu izleyebilirler<sup>2</sup>. Bu uygulamanın çalışması esnasında, hedefe yönelik davranışların hangisinin ne zaman aktif olduğu Şekil 5.18’de verilen grafikten görülebilir. Bu grafikte sadece hedefe yönelik davranışlar yer almaktadır Sürekli aktif olmaları nedeniyle hayatta kalma davranışlarına grafikte yer verilmemiştir.

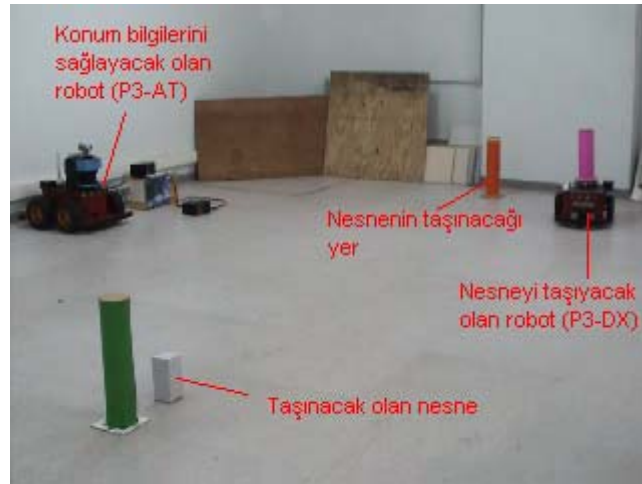


**Şekil 5.18** Hedefe yönelik davranışların toplama görevindeki aktif olma süreleri

Yapılan başka bir çalışmada, haberleşme ögesi de kullanılmış ve iki robotun haberleşerek bir taşıma işlemini gerçekleştirmesi sağlanmıştır (Proje raporu, 2006). Bu

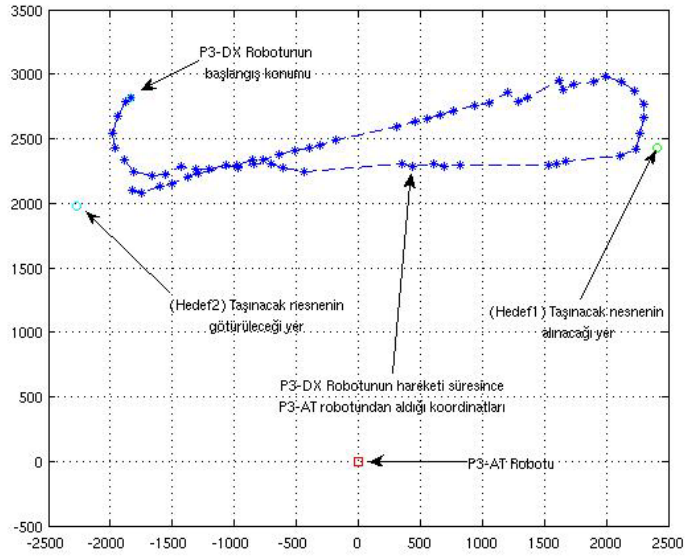
<sup>2</sup> <http://www.ai-robotlab.ogu.edu.tr>, 2007.

uygulamada, P3-DX (taşıma) robotu, kendi konumunu, taşınacak bir nesnenin bulunduğu yerin konumunu ve nesnenin götürülmesi istenilen yerin konumunu P3-AT (gözlemci) robotuna sormaktadır. Daha sonra aldığı koordinat bilgilerine göre nesneyi alacağı yere ilerlemekte, nesneyi tutmakta ve sonrasında da bırakacağı yere hareket ederek nesneyi bırakmaktadır. Taşıma robotu, hareketi esnasında da sürekli konumunu gözlemci robottan sorgulamaktadır. Taşıma robotu, her iki hedef noktasına belirli bir mesafede yaklaştığında tutma ve bırakma davranışları devreye girmektedir. Şekil 5.19’da gerekli tanımlamalar yapılmaktadır. Şekil 5.20’de, taşıma robotunun izlediği yol görülmektedir. İlgili araştırmacılar, bu uygulamanın videosunu izleyebilirler<sup>3</sup>



**Şekil 5.19** Uygulama ortamının tanımlanması

<sup>3</sup> [http:// www.ai-robotlab.ogu.edu.tr](http://www.ai-robotlab.ogu.edu.tr), 2007.

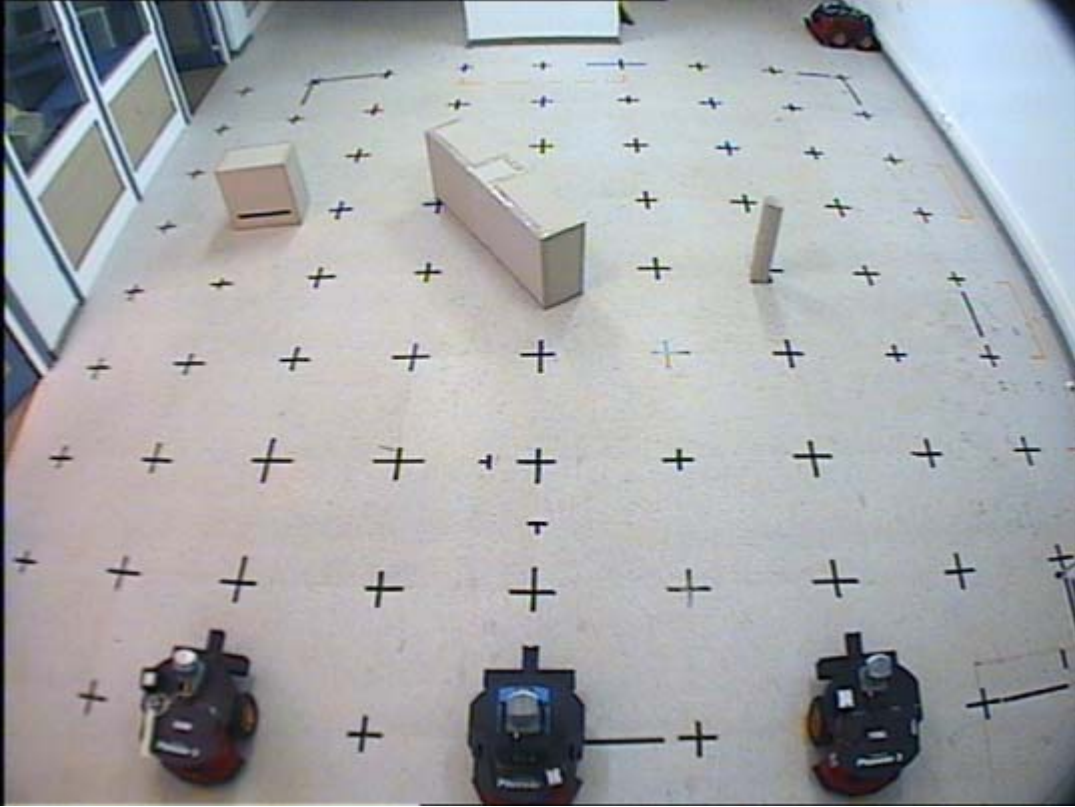


**Şekil 5.20** Taşıma robotunun görev süresince izlediği yol

Ayrıca, çoklu robot sistemleri için görev çizelgeleme probleminde kaynak dengeleme yaklaşımı geliştirilmiş ve yöntemin uygulanmasında davranışlar ve haberleşme yapısı kullanılmıştır (Hasgul et al., 2006). Diğer taraftan, geliştirilen çöktürel robotlarda öncelik kısıtlı görev sıralama yönteminde de uygulama esnasında davranışlar ve haberleşme yapısı kullanılmıştır (Ozkan et al., 2006).

#### 5.4 Önerilen Yaklaşım için Deneysel Çalışmalar

Önerilen yaklaşımların, geçerliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek üzere, gerçek robot sistemleri ile uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Uygulamaların gerçekleştirildiği ortamın tanıtımı Bölüm 5.2' de verilmiştir. Şekil 5.21'de uygulamaların gerçekleştirildiği ortamın tepe kamera ile elde edilen görüntüsü görülmektedir. Görüntünün altında sağ tarafta  $R_1$ , ortada  $R_2$  ve sol tarafta da  $R_3$  ile tanımlanan robotlar görülmektedir. Görüntünün üstünde ise, sağ tarafta *silindir*, ortada *bKutu* ve solda *kKutu* ile tanımlanan taşınabilir nesnelere görülmektedir. Senaryolarda iterek taşıma ve tutup kaldırarak taşıma görevleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.21 Uygulama ortamının tepe kameradan görüntüsü

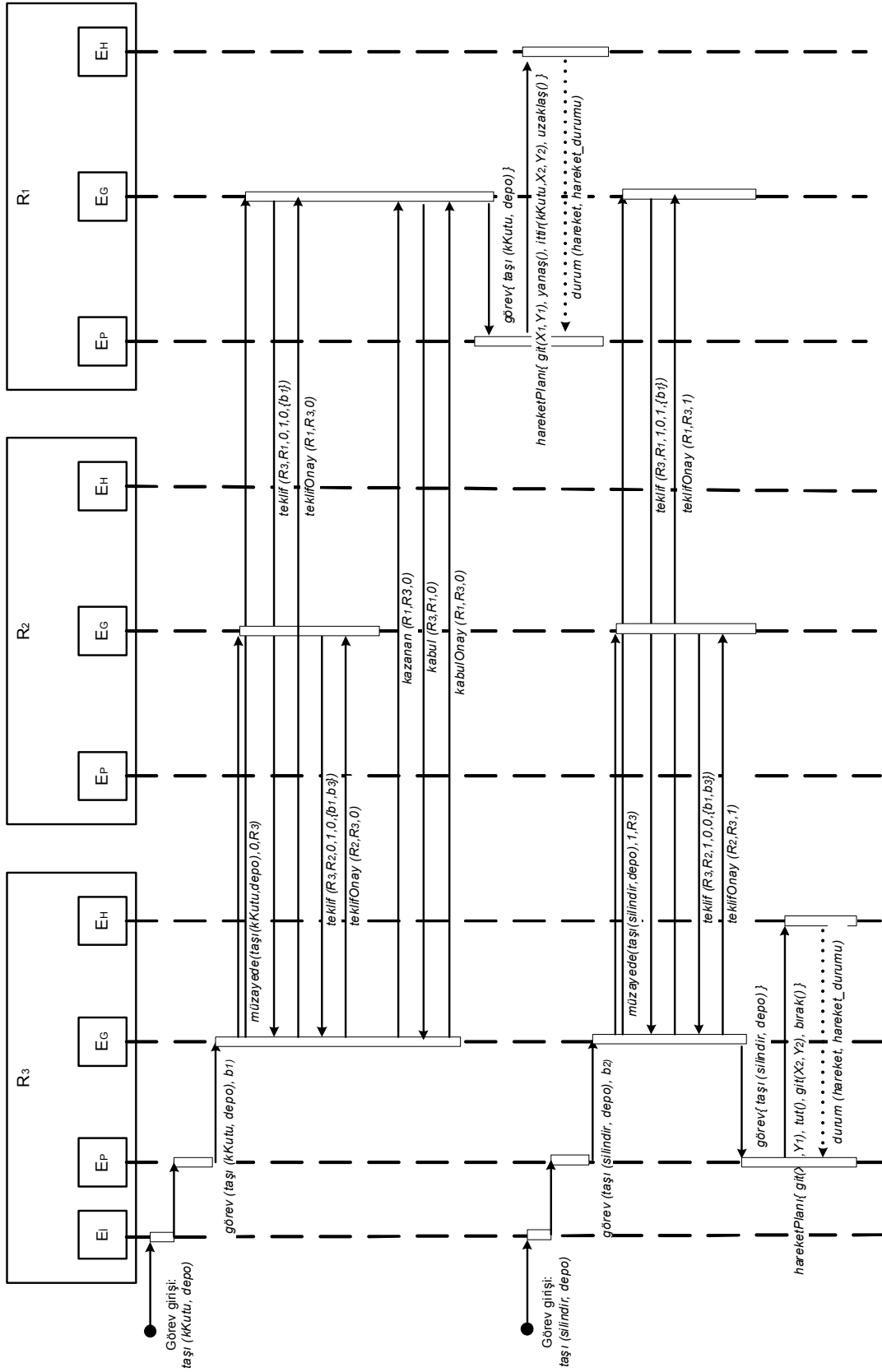
### Uygulama 1: Önerilen kontrol mimarisi ve görev paylaşım yaklaşımı

İlk uygulamada, önerilen erkin tabanlı kontrol yapısının uygulanabilirliğini ve önerilen görev paylaşım yaklaşımının avantajını göstermek üzere bir çalışma yapılmaktadır. Tüm robotlar çalışır durumda iken, robotlara

*taşı (ne\_taşınacak, nereye\_taşınacak)*

mesaj formuna uygun olarak,  $t$  anında  $\{ taşı (kKutu, depo) \}$  ve  $t + \alpha$ , ( $\alpha \in \mathcal{R}$ ) anında ise  $\{ taşı (silindir, depo) \}$  görevleri,  $R_3$  robotu üzerinden iletilmektedir. Görevler,  $R_3$  robotunun insan arabirim erkinine ( $E_1$ ) ait kullanıcı terminali üzerinden iletilmiştir.



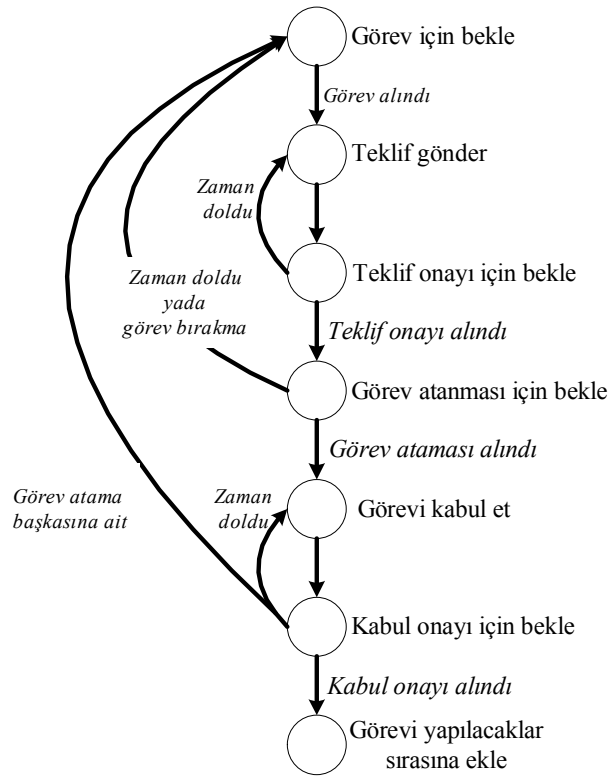


Şekil 5.22 Uygulama 1 için mesaj akış diyagramı

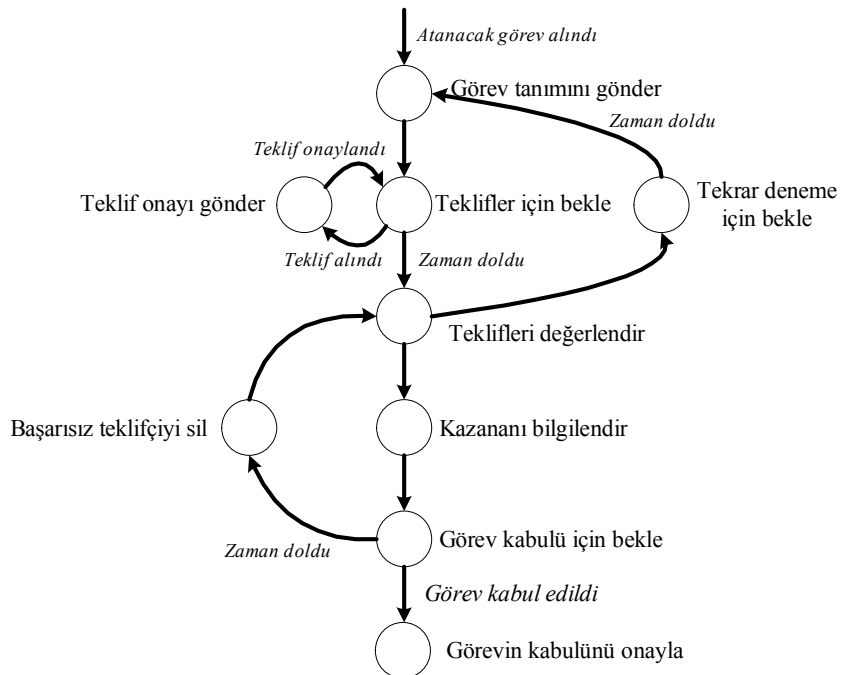
Görevler, gezgin robot sistemine gönderildiğinde;  $R_i$ ,  $i=1,2,3$  olarak tanımlanan robotların kontrol yapısını oluşturan ve  $E_I$  (*İnsan Arabirim Erkini*),  $E_P$  (*Planlama Erkini*),  $E_G$  (*İşbirliği ve Görüşme Erkini*) ve  $E_H$  (*Hareket Erkini*) olarak adlandırılan rol erkinleri arasındaki mesaj akışı Şekil 5.22’de verilen diyagramda gösterilmektedir. Bu diyagramda yer alan mesajların içerikleri şu şekilde tanımlanmaktadır:

- **görev** (*görev\_tanımı, görevin\_gerektirdiği\_beceriler*)
- **müzayede** (*görev\_tanımı, görev\_numarası, müzayede\_sahibi*)
- **teklif** (*müzayede\_sahibi, teklif\_sahibi, görev\_numarası, görev\_yapılabilirlik, durum, teklif\_sahibinin\_becerileri*)
- **teklifOnay** (*teklif\_sahibi, müzayede\_sahibi, görev\_numarası*)
- **kazanan** (*teklif\_sahibi, müzayede\_sahibi, görev\_numarası*)
- **kabul** (*müzayede\_sahibi, teklif\_sahibi, görev\_numarası*)
- **kabulOnay** (*teklif\_sahibi, müzayede\_sahibi, görev\_numarası*)
- **hareketPlanı** (*uygulanacak\_hareket\_dizisi*)
- **durum** (*hareketin\_tanımı, hareket\_gerçekleştirme\_durumu*)

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de, robotların işbirliği ve görüşme erkinlerinin ( $E_G$ ) sırasıyla görev kabul ve atama mekanizmalarının faaliyet diyagramları verilmektedir. Bu iki mekanizma sürekli aktif durumdadır. Planlama erkininden gelen diğer robotlar ile paylaşılacak görevlerin atanması işlemi ve diğer robotlar tarafından paylaşılacak görevler için talepte bulunma işlemleri, diyagramlarda verilen faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu diyagramlar, Schultz, et al. (2003) tarafından tanımlanan diyagramların, önerilen kontrol yapısına uyarlanmış bir şeklidir.



Şekil 5.23 İşbirliği ve Görüşme Erkininin görev kabul mekanizmasının faaliyet diyagramı



Şekil 5.24 İşbirliği ve Görüşme Erkininin görev atama mekanizmasının faaliyet diyagramı

Şekil 5.22’de verilen diyagramda görüldüğü gibi, sisteme ilk olarak verilen görevin atanmasında önerilen fırsatçı görev atama yaklaşımına uygun bir atama gerçekleşmektedir. Her üç robotun da ( $R_i, i=1,2,3$ ), verilen  $\{ taşı (kKutu, depo) \}$  görevi yerine getirebilecek beceriye sahip olmasına rağmen, atama diğer robotların becerilerinden farklı en az sayıda beceriye sahip  $R_1$  robotuna yapılmıştır. Eğer, görevi  $R_3$  robotu üstlenmiş olsaydı;  $R_i, i=1,2$  robotlarının boşta olmasına rağmen sonradan sisteme verilen  $\{ taşı (silindir, depo) \}$  görevinin yerine getirilmesi için bu görevi yapabilecek tek robot olan  $R_3$  robotunun aldığı görevi tamamlaması beklenmek zorunda kalınacaktı.

Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi videoya çekilmiş ve yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler Şekil 5.25’de verilmiştir. Görüldüğü gibi, kutu itme görevini üstlenen  $R_1$  robotu, kutuyu taşımak üzere harekete geçmekte, bir süre sonra sisteme gönderilen silindiri taşıma görevini alan  $R_3$  robotu da harekete geçmekte ve sonuç itibariyle her iki robot görevlerini başarı ile tamamlanmaktadır. Burada, robotların görevleri yerine getirirken; planlama erkininin hareket erkinine gönderdiği hareket planında belirtildiği sırayla, davranışların birer birer yerine getirildiği görülebilir.

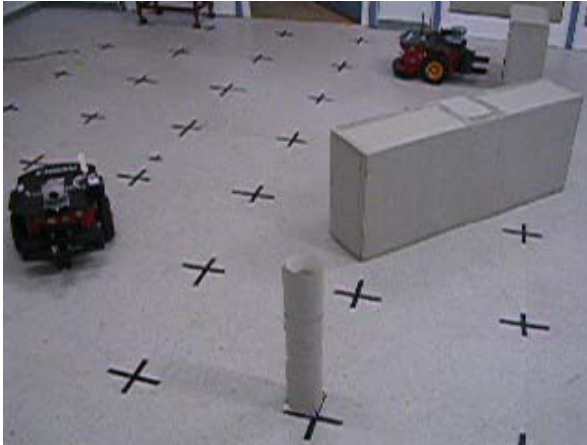
Uygulama esnasında çekilen bu videolara <http://www.ai-robotlab.ogu.edu.tr> web adresinden ulaşılabilir.



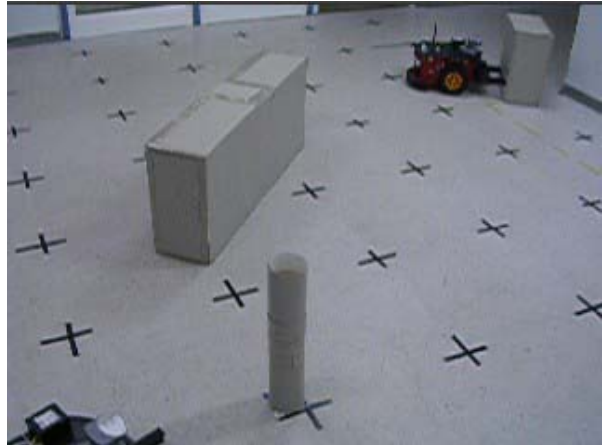
(a)



(b)



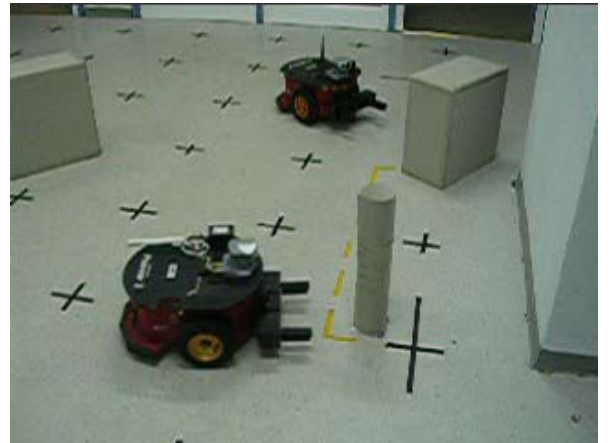
(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 5.25** Uygulama 1' in gerçekleştirilmesi esnasında çekilen videodan yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler

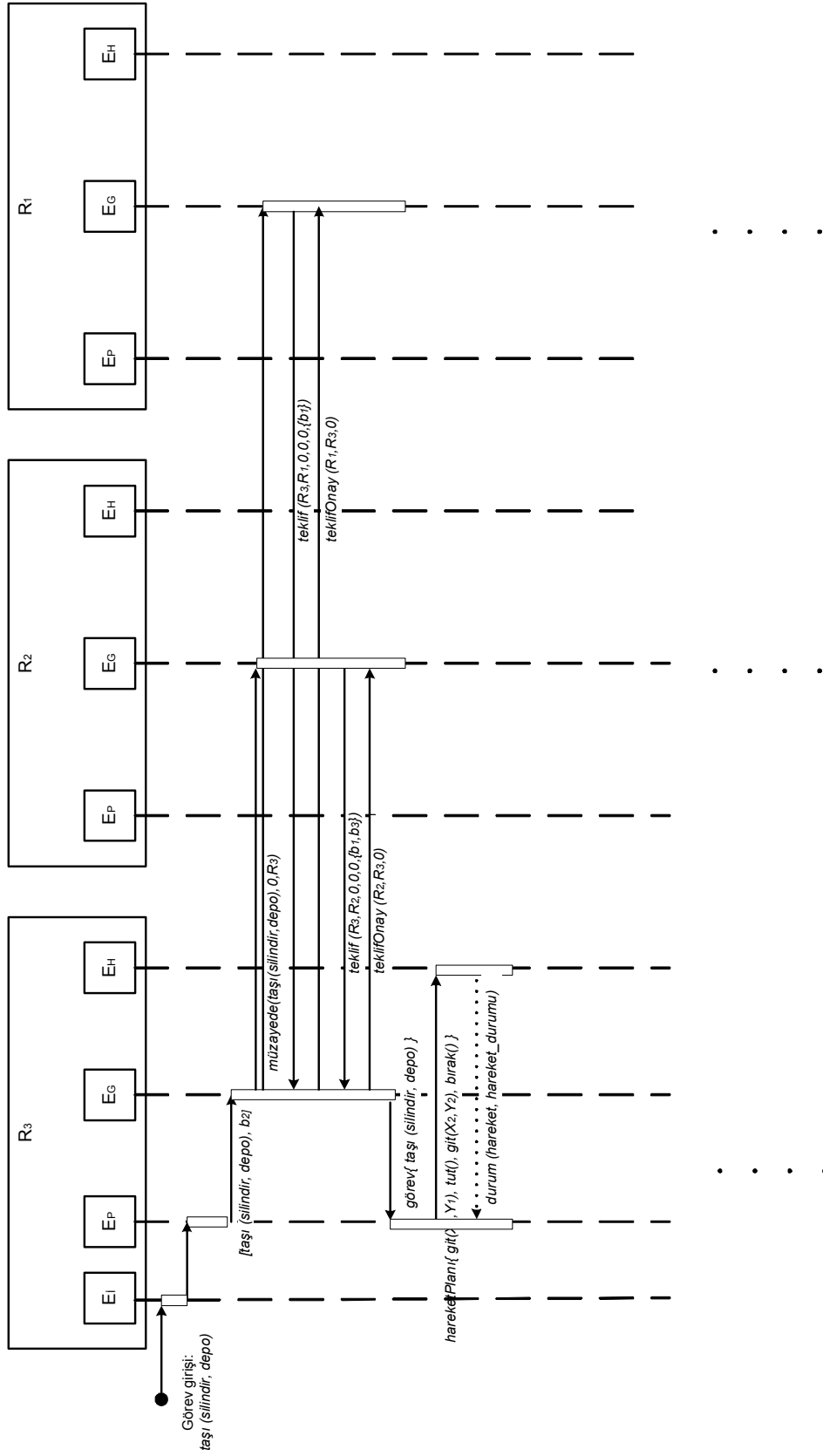
## Uygulama 2: Sistem hata telafisi

İkinci senaryoda ise, erkin tabanlı bir yapıya sahip robotların sahip oldukları erkinlerden birinin görev esnasında sonlanmasına rağmen görevin tamamlanması gösterilmekte ve buna bağlı olarak da önerilen yapının gürbüzlüğü ortaya konulmaktadır.

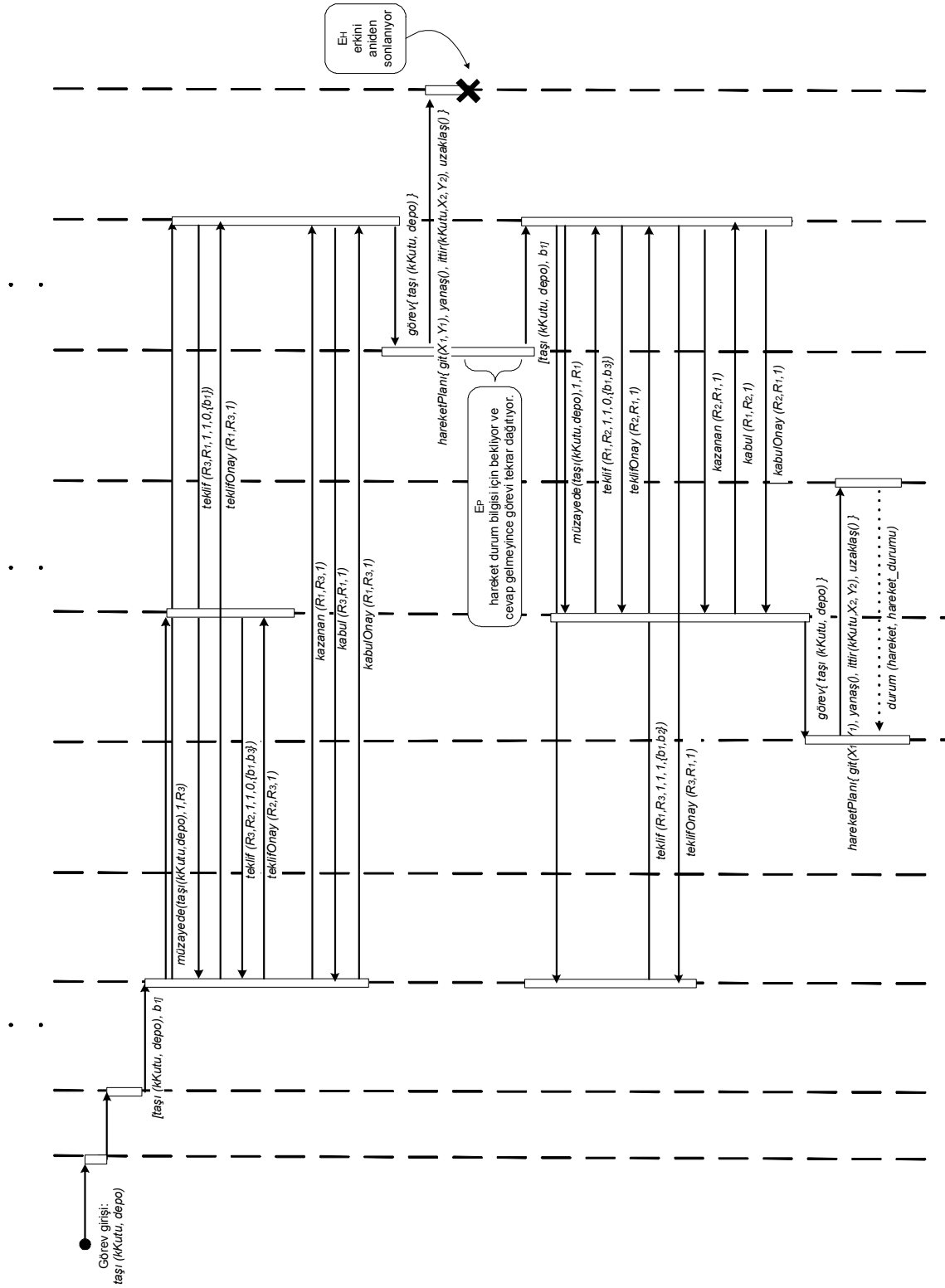
Bu uygulamada,  $t$  anında  $\{ \text{taşı (silindir, depo)} \}$  ve  $t + \alpha$ , ( $\alpha \in \mathfrak{R}$ ) anında ise  $\{ \text{taşı (kutu, depo)} \}$  görevleri  $R_3$  robotu üzerinden sisteme iletilmektedir. Bu esnada gerçekleşen, rol erkinleri arasındaki mesaj akışı da, Şekil 5.26'da verilmektedir. Görüldüğü gibi, sisteme ilk olarak verilen silindir taşıma görevi tek yapabilme becerisine sahip  $R_3$  robotu tarafından üstlenilerek yerine getirilmektedir. Daha sonra gönderilen kutu itme görevi de,  $R_2$  robotundan farklı becerisi olmayan  $R_1$  robotuna atanmaktadır. Burada, sistem hata telafisini göstermek üzere;  $R_1$  robotuna ait hareket erkininin ( $E_H$ ) gerçekleştirmek üzere planlama erkininden ( $E_P$ ) aldığı hareket planı kendisine ulaştıktan üç saniye sonra, hareket erkini ( $E_H$ ) yazılımsal olarak sonlandırılmaktadır. Bu durumda, robotun gerekli hareketleri yerine getirilememekte ve hareket erkini planlama erkinine durum bilgisi gönderememektedir. Bu nedenle, bir süre bekleyen planlama erkini, kendisine hareket durum bilgisi ulaşmaması nedeniyle hareket planının gerçekleştirilemediği sonucuna ulaşmaktadır.  $R_1$  robotunun hareketle ilgili becerilerinin olmadığı yönünde güncellemelerini yapmakta ve görevi diğer robotlara atanmak üzere, işbirliği ve görüşme erkinine göndermektedir. Tekrar ataması yapılan görev, boşta bekleyen  $R_2$  robotuna atanmakta ve görev başarı ile yerine getirilmektedir.

Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi de videoya çekilmiş ve yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler Şekil 5.27'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, silindir taşıma görevini üstlenen  $R_3$  robotu, bu görevi başarı ile tamamlamaktadır. Bu esnada sisteme verilen kutu itme görevi  $R_1$  robotuna atanmaktadır.  $R_1$  robotunun görevi yaparken kontrol mimarisindeki hareket erkininin sonlanması ve planlama erkini tarafından görevin yeniden müzayedeye açılması sonucunda bu defa görevi  $R_3$  robotu olarak başarı ile tamamlanmaktadır.

Uygulama esnasında çekilen video <http://www.ai-robotlab.ogu.edu.tr> web adresinde bulunmaktadır.

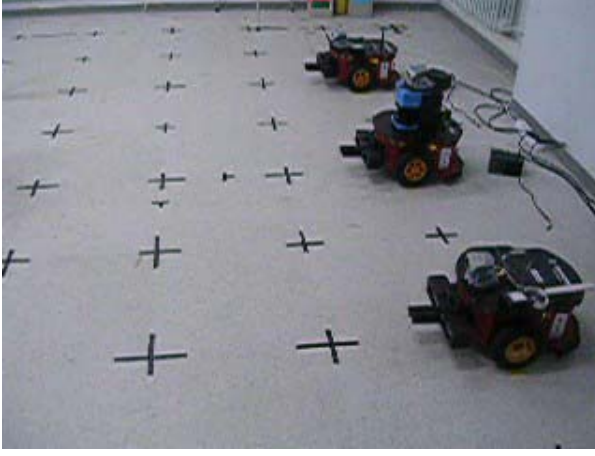


Şekil 5.26 Uygulama 2 için mesaj akış diyagramı



Şekil 5.26 (devamı)Uygulama 2 için mesaj akış diyagramı

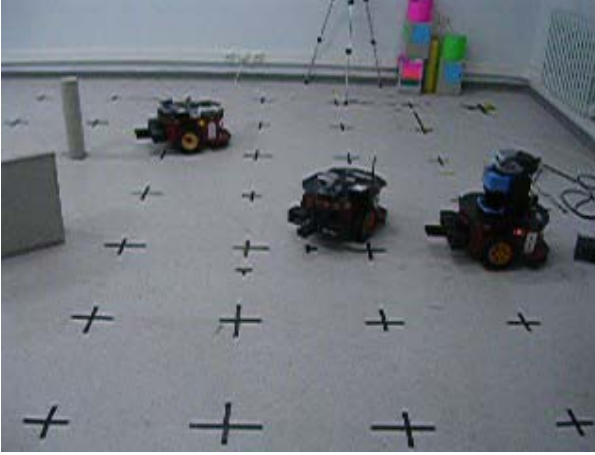




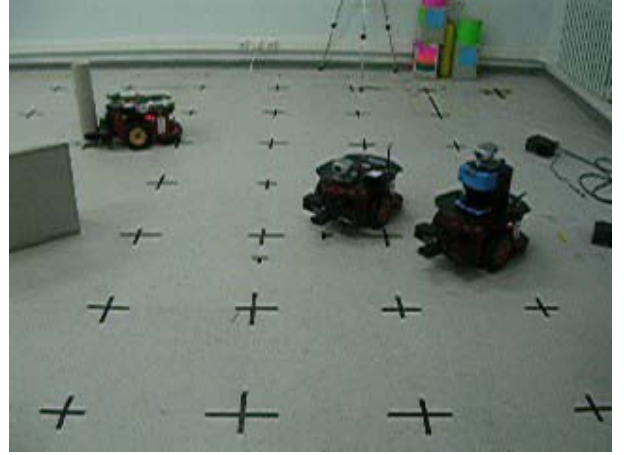
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 5.27** Uygulama 2' in gerçekleştirilmesi esnasında çekilen videodan yaklaşık 10 saniye zaman adımlarında alınan kareler

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çoklu gezgin robot sistemlerinin karmaşık algılama, planlama ve hareket mekanizmalarına sahip olmaları nedeniyle ortaya çıkan kontrol problemleri ele alınmış ve görev atama tekniği de içeren erkin tabanlı bir kontrol mimarisi önerilmiştir. Bu kontrol mimarisinin etkinliğini ve sağlayacağı katkıları göstermek üzere çeşitli senaryolar ile gerçek dünya uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Çoklu gezgin robot sistemleri ile ilgili çok sayıdaki araştırma, kontrol mimarileri geliştirmek üzerine odaklanmaktadır. Yapılan her çalışma, çoklu robot sistemlerinin kontrolüne belirli kabiliyetleri kazandırmak üzere yoğunlaşmaktadır ve olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Çoklu gezgin robot sistemleri ve kullanıldıkları devinik ortam itibarıyla, geliştirilen yöntemler çok fazla kabullenmeler ve kısıtlar altında kullanılabilir. Bu alanda, her zaman yeni yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Gezgin robot sistemlerinin diğer alt araştırma alanlarında (lokalizasyon, haritalama, seyrüsefer, haberleşme, ortam algılama, hareket planlama, görev planlama, rota planlama, öğrenme, v.b.) yapılacak çalışmalar da, etkin kontrol mimarilerin geliştirilmesini etkileyecektir.

Bu çalışmada da, çoklu gezgin robot sistemlerinin kontrolü alanına yeni bir yaklaşım ile katkı sağlanmıştır. Çoklu gezgin robot sisteminin kontrolünde bulunması gereken mekanizmalar (planlama, hareket, algılama, v.b.), sistemin kontrolü içindeki rollerine göre sınıflandırılarak birer erkin olarak tasarlanmıştır. Her erkin, birbirlerinden bağımsız ama aynı zamanda işbirliği içinde çalışmaktadır. Böylece, son zamanlarda yazılım mühendisliğinde çok fazla ilgi gören erkin tabanlı programlama yaklaşımının, kontrol yapısının tamamı bir yazılımdan ibaret olan çoklu gezgin robotların kontrolünde kullanımı ile faydalar sağlanmaktadır. Gezgin robotların kontrol yapısı içinde değişik rollere sahip erkinler, birbirlerinden ayrı olarak tasarlanarak test edilebilmektedir. Böylece, sistemin geliştirilmesi daha kolaylaşmaktadır. Ayrıca, hatalara karşı daha dayanıklı bir sistem ortaya çıkmaktadır. Sistemdeki herhangi bir erkinin yazılımsal ya da donanımsal sebeplerle hata ile karşılaşması durumunda robot sahip olduğu diğer erkinlerin yetenekleri dahilindeki işlevlerini devam ettirebilmektedir.

Diğer taraftan, mimari içerisinde bir görev atama yaklaşımı sunulmaktadır. Bu yaklaşım ile rassal olarak alınan görevlerde, bir sonra gelebilecek görevin yerine getirilmesi için fırsat sağlayan bir yaklaşım verilmektedir. Bu yaklaşımın, görev atamalarında karar ölçütü olarak kullanılan, görev noktasına uzaklık, robotların başarı oranları gibi yaklaşımlarla birlikte kullanılmasıyla, robotlar arasında etkin görev atamaların gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir.

Durum değişimlerinin önceden kestirimi çok güç olan devinik dünyada yer alacak olan gezgin robot sistemlerin, matematiksel olarak modellenmesi ve bu model üzerinden geliştirilen tekniklerin gerçek dünyada uygulanması ile elde edilecek sonuçlar, çoğunlukla beklendiği gibi gerçekleşmemektedir. Bu nedenle, gezgin robot sistemleri için önerilecek yaklaşımların, gerçek dünyada yapılacak uygulamalar ile geçerliliğinin gösterilmesi önem arz etmektedir. Bu durum, tez çalışması sürecinde dikkate alınmış; geliştirilecek yöntem/yöntemler için bir uygulama ortamı oluşturmak adına gerçek robot sistemleri için uygulamaya dönük alt problemler çözülmüştür. Konumlandırma, robot davranışları, haberleşme, nesne taşıma ve güdümü, nesne tanıma gibi konularda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çoklu gezgin robotlar için önerilen kontrol yaklaşımının geçerliliği, tanımlanan senaryolarla uygulamalı olarak sunulmuştur.

Çoklu robot sistemleri için erkin tabanlı bir kontrol mimarisi önerilmiş ve mimaride yer alan erkinlerin yapıları detaylı olarak gösterilmiştir. Ancak, uygulamaların gerçekleştirilmesi esnasında, bu yapılarda bahsedilen tüm detaylar içerilmemiştir. Örneğin; insan arabirim erkininin yapısı içinde gösterilen ses yoluyla etkileşim kısmına uygulamada yer verilmemiştir. Bir doktora tezi süresi içinde, önerilen kontrol mimarisinde yer alan tüm detayları içerecek bir robot kontrol yazılımının ortaya çıkarılması, pek mümkün görünmemektedir. Verilen uygulamalar, erkin tabanlı kontrol mimarisinin genel yapısının uygulanabilir olduğunu ve katkılar sağlayacağını göstermiştir. Mimari yapıda verilen detaylar, ilerideki çalışmalarda yol gösterici olması ve yapılması gerekenleri göstermesi açısından önemlidir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, önerilen yaklaşımın etkinliğini artırmak üzere yeni çalışmalar yapılabilir. Ağırlıklı olarak yazılım mühendisliğinin üzerinde çalıştığı erkin teknolojileri izlenerek çoklu gezgin robot sistemlerinde kullanılabilir. Örneğin; üzerinde yoğun çalışmaların sürdüğü ve bir erkinin farklı sistemler arasında hareket

edebildiği gezgin erkinler, robot sistemleri içinde yeni bir yaklaşım getirebilir; ya da erkinler arasında kullanılmak üzere geliştirilen iletişim kurallarının bu mimari yapı üzerinde kullanılması ile yeni katkılar sağlanabilir. Ayrıca, sistemde daha fazla bilgi betimlemesi ve bilginin yorumlanmasını yapacak mekanizmalara ihtiyaç vardır. Gezin robotların ortak görevlerde işbirliği içinde çalışması ve etkin görev paylaşım teknikleri de beklenen seviyelere henüz ulaşmamıştır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

ActivMedia Robotics, Inc., 2007, Pioneer 3 Mobile Robot - Operations Manual. v3.

Albus, J., and Proctor, F.G., 1996, A Reference Model Architecture for Intelligent Hybrid Control Systems, Proceedings of the International Federation of automatic Control, San Francisco, CA.

Arai, T., Pagello, E. and Parker, L.E., 2002, Guest Editorial: Advances in Multirobot Systems, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 18(5), pp.655-661.

Arkin, R.C., Balch, T., and Nitz, E., 1993, Communication of behavioral state in multi-agent retrieval tasks, Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Atlanta, GA, pp.588-594.

Arkin, R.C., and Balch, T., 1997, Principles and practice in review, Journal of Experimental and Theoretical AI, vol.2, no.3, pp.175--189.

Arkin, R.C., 2002, Behavior-Based Robotics, John Wiley and Sons Press, England.

Asama, H., Ozaki, K., Itakura, H., Matsumoto, A., Ishida, Y., Endo, I., 1991, Collision Avoidance Among Multiple Mobile Robots Based on Rules and Communication, IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Osaka, Japan, pp. 1215-1220.

Asama, H., Matsumoto, A., and Ishida, Y., 1989, Design of an Autonomous and Distributed Robot System:Actress, IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robot and Systems'89, Tsukuba, Japan.

Balch, T. R. and Arkin, R. C., 1994, Communication in reactive multiagent robotic systems, Autonomous Robots, vol.1, no.1, pp. 1–25.

Baumann, J., 1999, Control Algorithms for Mobile Agents, Ph.D. Thesis, Stuttgart University.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bonasso, R.P., Firby, R.J., Gat, E., Kortenkamp, D., Miller, D., and Slack, M., 1997, Experiences with an architecture for intelligent, reactive agents, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, vol.9, pp.237-256.
- Borenstein, J., Everett, H.R. and Feng, L., 1994, *Where am I: Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning*, University of Michigan.
- Botelho, S.C. and Alami, R., 1999, M+: a scheme for multi-robot cooperation through negotiated task allocation and achievement, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, Michigan, pp. 1234–1239.
- Brooks, R.A., 1985, *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*, MIT A.I. Memo 864, Massachusetts Institute of Technology.
- Brooks, R.A., 1986, *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 2, no. 1, pp. 14–23.
- Cao, Y., Fukunaga, A. and Kahng, A., 1997, *Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and directions*, *Autonomous Robots*, vol.4, pp.1-23.
- Cardema, J.C., Wang, P.K.C., and Rodriguez, G., 2004, *Journal of Robotic Systems*, vol.21, no.10, pp.559–580.
- Chaimowicz, L., Kumar, V. and Campos, M.F.M., 2004, *A Paradigm for Dynamic Coordination of Multiple Robots*, *Autonomous Robots*, 17, pp.7-21, 2004.
- Chen, C. and Trivedi, M.M., 1995, *Task Planning and Action Coordination in Integrated Sensor-Based Robots*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol.25, no.4.
- Dahl, T.S., Mataric, M.J., and Sukhatme, G.S., 2003, *Multi-Robot Task-Allocation through Vacancy Chains*, *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Dias, M.B. and Stentz, A., 2001, A Market Approach to Multirobot Coordination, Technical Report, Carnegie Mellon University, USA.
- Dudek, G., Jenkin, M., Milius, E., and Wilkes, D., 1995, Experiments in Sensing and Communication for Robot Convoy Navigation, Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Pittsburg, PA, pp.268-273.
- Dudek, G., Jenkin, M., Milius, E. And Wilkes, D., 1996, A Taxonomy for Multiagent Robotics, Autonomous Robots, vol.3, pp.375-397.
- Ferber, J., and Gutknecht, O., 1998, A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems, Proceedings of Third International Conference on Multi Agent Systems, pp.128-135.
- Fikes, R.E. and Nilsson, N.J., 1971, STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving, Artificial Intelligence, vol.2, pp.189-208.
- Galindo, C., Fernández-Madriral, J., and González, J., 2004, Improving Efficiency in Mobile Robot Task Planning Through World Abstraction, IEEE Transactions on Robotics, vol.20, no.4.
- Gat, E., 1992, Integrating planning and reacting in a heterogeneous asynchronous architecture for controlling real-world mobile robots, Proceedings of the Tenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-92), pp. 809-815.
- Gerkey, B.P. and Mataric, M.J., 2002, Sold!: Auction Methods for Multirobot Coordination, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.18, no.5.
- Guzzoni, D., Cheyer, A., Julia, L., and Konolige, K., 1997, Many Robots Make Short Work, Report of the SRI International mobile robot team at AAAI96 AI Magazine, pp 55-64.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Hasgul, S., Saricicek, İ., Ozkan, M., and Parlaktuna, O., 2006, Resource Leveling Approach for Multi Robot Task Scheduling, The 5th International Symposium On Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey.
- Hendler, J., Tate, A., and Drummond, M., 1990, AI Planning: Systems and Techniques, AI Magazine, vol.1, no.2, pp. 61-77.
- Hugues, L., 2000, Collective grounded representations for robots, Proceedings of Fifth International Conference on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS 2000), pp. 79–88.
- Ichikawa, S., Hara, F., Hosokai, H., 1993, Cooperative Route-Searching Behavior of Multi-Robot System Using Hello-Call Communication, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Yokohoma, Japan, pp.1149-1156.
- Iocchi, L. and Nardi, D., 2003, Distributed Coordination in Heterogeneous Multi-Robot Systems, Autonomous Robots, vol.15, pp.155-168.
- Jung, D., Cheng, G., and Zelinsky, A., 1997, Experiments in Realising Cooperation between Autonomous Mobile Robots, Proceedings of the International Symposium on Experimental Robotics (ISER'97), Barcelona, Spain, pp.609-620.
- Jung, D. and Zelinsky, A., 2000, Grounded symbolic communication between heterogeneous cooperating robots, Autonomous Robots, vol.8, no.3, pp. 269–292.
- Khatib, O., 1986, Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, The International Journal of Robotics Research, vol. 5, no. 1, pp. 90-98.
- Konolige, K. and Myers, K., 1998, The Saphira Architecture for Autonomous Mobile Robots, Artificial Intelligence and Mobile Robots, MIT Press.
- Konolige, K., Myers, K., Ruspini, E., and Saffiotti, A., 1997, The Saphira Architecture: A Design for Autonomy, Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, vol.9, pp.215-235.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Kruusmaa, M., 2003, Global Level Path Planning for Mobile Robots in Dynamic Environments, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol.38, pp.55–83.
- Kuniyoshi, Y., Rickki, J., Ishii, M., Rougeaux, S., Kita, N., Sakane, S., and Kakikura, M., 1994, Vision-Based Behaviors for Multi-Robot Cooperation, *Proceedings of the IEEE Int. Conf. On Intelligent Robots and Systems*, Munich, Germany, pp.925-932.
- Latombe, J.C., 1991, *Robot Motion Planning*. Boston, MA: Kluwer.
- Lazanas, A., and Latombe, J., 1995, Motion Planning with Uncertainty: a Landmark Approach, *Artificial Intelligence*, vol.76, pp.287-317.
- Lemaire, T., Alami, R., and Lacroix, S., 2004, A Distributed Tasks Allocation Scheme in Multi-UAV Context, *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans, LA, USA.
- Lerman, K., Galstyan, A., and Hogg, T., 2004, Mathematical Analysis of Multi-Agent Systems, Google Scholar (<http://scholar.google.com>).
- Liu, J. and Wu, J., 2001, *Multi-Agent Robotic Systems*, CRC Press, USA.
- Madhavan, R., Fregene, K., and Parker, L.E., 2004, Distributed Cooperative Outdoor Multirobot Localization and Mapping, *Autonomous Robots*, vol.17, pp.23–39.
- Mataric, M., 1992, Behavior-Based Control: Main Properties and Implications, *Proceedings of Workshop on Intelligent Control Systems*, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France.
- Mataric, M.J., Sukhatme, G.S., and Østergaard, E.H., 2003, *Autonomous Robots*, vol.14, pp.255–263.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Matellan, V. and Borrajo, D., 2001, ABC2 an Agenda Based Multi-Agent Model for Robots Control and Cooperation, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol.32, pp.93-114.
- Meystel, A., 1990, Knowledge Based Nested Hierarchical Control, *Advances in Automation and Robotics*, vol.2, pp.63-152.
- Murphy, R. R., 2000, *Introduction to AI Robotics*, MIT Press, London, England.
- Murphy, R.R., and Arkin, R.C., 1992, SFX: An Architecture for Action-Oriented Sensor Fusion., *Proceedings of International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS)*, Raleigh, N.C.
- Murphy, R.R., Lisetti, C.L., Tardif, R., Irish, L., and Gage, A., 2002, Emotional-Based Control of Cooperating Heterogeneous Mobile Robots, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.18, no.5.
- Miyata, N., Ota, J., Arai, T., and Asama, H., 2002, Cooperative Transport by Multiple Mobile Robots in Unknown Static Environments Associated With Real-Time Task Assignment, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.18, no.5.
- Open Agent Architecture (OAA), 2007, *Developer's Guide*, v.2.3.2.
- OpenCV, 2007, *Open Source Computer Vision Library Reference Manual*.
- Ostergaard, E.H., Mataric, M.J., and Sukhatme, G.S., 2001, Distributed Multi-Robot Task Allocation for Emergency Handling, *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, Hawaii, USA.
- Ota, J. and Arai, T., 1999, Transfer control of a large object by a group of mobile robots, *Robotics and Autonomous Systems*, vol.28, pp.271-280.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Ozkan, M., Yazıcı, A., ve Parlaktuna, O., 2004, Gezin Robotlarda Kapsama Mimarisi Kullanarak Nesne Toplama Görevinin Gerçeklenmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, İstanbul.
- Ozkan, M., Saricicek, İ., Parlaktuna, O., and Hasgöl, S., 2006, Priority-constrained task sequencing for Heterogeneous mobile robots, Lecture Notes in Computer Science, vol.4031, pp.393-399.
- Pagello, E., D'Angelo, A., Montesello, F., Garelli, F., and Ferrari, C., 1999, Cooperative behaviors in multirobot systems through implicit communication, Robotics Autonomous Systems., vol.29, no.1, pp. 65–77.
- Paluska, D., Matarić, M.J., and Pratt, J., 2003, Control of Biomimetic Robots, in Biologically Inspired Intelligent Robots, Y. Bar-Cohen and C. Breazeal, eds., SPIE Press, Vol. PM122.
- Pareira, G.A.S., Pimentel, B.S., Chaimowicz, L., Campos, M.F.M., 2002, Coordination of Multiple Mobile Robots in an Object Carrying Task using Implicit Communication, Proceedings. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, USA, pp. 281-286.
- Parker, L.E., 2000, Current State of the Art in Distributed Autonomous Mobile Robotics, In Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, , pp. 3-12.
- Parker, L.E., 1998, ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation, IEEE Transaction on Robotics and Automation, vol.14, no.2, pp.220-240.
- Parker, L.E., 1999, Adaptive Heterogeneous Multi-Robot Teams, Neurocomputing, vol.28, pp.75-92.
- Proje raporu, 2006, Farklı Yeteneklere Sahip Robotlardan Oluşan Gezin Robot Grubunun Kontrolü, ESOGÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, No. 200315030.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Reid G.S., 1994, Structured control for autonomous robots, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.10, no.1, pp.34-43.
- Rosenblatt, J., 1997, DAMN: A Distributed Architecture for Mobile Navigation, Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, vol. 9, no. 2 / 3, pp. 339 – 360.
- Roumeliotis, S.I., and Bekey, G.A., 2002, Distributed Multirobot Localization, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.18, no.5.
- Schultz, A.C., Parker, L.E., and Schneider, F.E., 2003, Multi-Robot Systems. From Swarms to Intelligent Automata Volume II, pp. 39-50, Springer, Netherlands,
- Siegwart, R. and Nourbakhsh, I.R., 2004, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, London, England.
- Stone, P. and Veloso, M., 2000, Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective, Autonomous Robots, vol.8, pp.345-383.
- Sycara, K., 1998, Multiagent Systems, AI Magazine, vol.19, no.2, pp.79-92.
- Vlassis, N., 2003, A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed AI, University of Amsterdam.
- Weber, H., 2000, A Motion Planning and Execution System for Mobile Robots Driven by Stepping Motors, Robotics and Autonomous Systems, vol.33, pp.207–221.
- Weiss, G., 2000, Multiagent Systems : A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, MIT Press, USA.
- Wooldridge, M., 2002, An Introduction to MultiAgent Systems, John Wiley & Sons, England.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Zebrowski, P., 2004, Communication in Multi-Robot Systems, Course Notes, Simon Fraser University.

Zlot, R., and Stentz, A., 2006, Market-based Multirobot Coordination for Complex Tasks, International Journal of Robotics Research, vol.25, no.1.

## ÖZGEÇMİŞ

25 Haziran 1976 tarihinde Bilecik ilinde doğan ve Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olan yazar, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamlamıştır. 1993–1998 yılları arasında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Lisans, 1998–2000 yılları arasında Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol Kumanda Bilim Dalında Yüksek Lisans ve 2002–2006 yılları arasında Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde tamamlamıştır. 2007 yılında ise, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol Kumanda Bilim Dalında doktora eğitimini tamamlamıştır. Kontrol ve kumanda sistemleri, gezgin robot sistemleri ve çok ajanlı sistemler konularında aktif olarak çalışmaları devam etmektedir.