

Heterojen Gezgin Robot Sistemleri İçin Yeni Bir Market Tabanlı Görev Paylaştırma
Yaklaşımı

Burak Kaleci

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2010

A New Market-Based Task Allocation Approach For Heterogeneous Mobile Robot
Systems

Burak Kaleci

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical Electronics Engineering

July 2010

Heterojen Gezgin Robot Sistemleri İçin Yeni Bir Market Tabanlı Görev Paylaşırma
Yaklaşımı

Burak Kaleci

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

Danışman: Doç. Dr. Osman Parlaktuna

Temmuz 2010

ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Burak Kaleci'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Heterojen Gezgin Robot Sistemleri İçin Yeni Bir Market Tabanlı Görev Paylaşırma Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Osman PARLAKTUNA

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Osman PARLAKTUNA

Üye : Y. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOğLU

Üye : Y. Doç. Dr. Sanem SARIEL TALAY

Üye : Y. Doç. Dr. Metin ÖZKAN

Üye : Y. Doç. Dr. Ahmet YAZICI

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemi için market tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, görevlerin paylaşırılması esnasında kullanılan müzayede yönteminde bir robot platformunun güç modelinden yararlanılmıştır. Müzayedeleri sonlandırıp, robotlara görevlerin atanması için REYTSAG, GEYTSAR olarak adlandırılan iki sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmaların etkinliğini karşılaştırmak amacıyla geçmiş çalışmalarda yer alan ve Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı olarak adlandırılan yöntem gerçekleştirilmiş ve kullanılmıştır. Ayrıca, robotlara görevlerin paylaşırılması bir atama problemi olarak düşünölmüş ve en iyi robot-görev eşleşmelerini bulmak amacıyla Macar Algoritması kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, Keşfederek Öğrenme olarak adlandırılan öğrenme modeli ile zenginleştirilmiştir. Son olarak, herhangi bir sebepten dolayı robotlara atanamayan görevlerin akıllı bir şekilde tekrar markete dâhil edilebilmesi için Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS) market tabanlı yaklaşıma eklenmiştir. Önerilen yaklaşım, tamamlanan görevlerin yüzdesi, haberleşme yükü ve kaynak kullanımı ölçütleri cinsinden analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar gelecek çalışmalar için ümit vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Market tabanlı görev paylaşırma, güç modeli, müzayede sonlandırma yaklaşımları, optimal atama, tekrar atama, öğrenme.

SUMMARY

In this study, a market-based task allocation method is proposed. In the trading process, the energy model of a robot platform is used. In order to determine the winner robot(s), two heuristic auction clearing algorithms, which are named as REYTSAG and GEYTSAR are proposed. In order to show the effectiveness of the proposed auction clearing algorithms, the Iterative auction clearing method is implemented and used. Additionally, assignment problem is used to determine instantaneous optimal robot-task matching. The Hungarian algorithm is implemented to solve optimal assignment problem. The proposed algorithm is enhanced with learning model which is named as Exploratory Learning. Finally, a new task reintroduction system which is named as AGTAS is integrated to the market-based task allocation approach. The performance of the proposed approach is analyzed in terms of percentage of completed tasks, communication overhead and resource usage. The results are promising for future works.

Keywords: Market-based task allocation, power model, auction clearing, optimal assignment, learning, task reintroduction.

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren, yüreklendiren ve her türlü olanağı sağlayan, sahip olduğu bilgi ve tecrübe ile bana her zaman yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. Osman PARLAKTUNA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans dönemimde Yurtiçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında bana maddi yönden destek olan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Lisans ve Yüksek Lisans dönemimde gerek derslerimde, gerek tezimde, gerekse akademik çalışmalarda sağladıkları katkılardan dolayı saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZKAN ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet YAZICI'ya teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca bana yürekten inanan, desteğini esirgemeyen ve hoşgörü gösteren sevgili ailem Emine KALECİ, Aptullah KALECİ ve Ece Burcu KALECİ'ye teşekkür ederim.

Üniversite hayatıma başlamadan önceki yıllardan beri bana moral veren ve desteğini esirgemeyen değerli Gülşen DEMİR, Hüseyin DEMİR ve Görkem DEMİR'e teşekkür ederim.

Akademik ve sosyal hayatta paylaştıkları fikir ve düşünceler ile ufkumu açan, bana her zaman destek olan değerli dostlarım Talha AKSOY ve Gökhan KİRLİK'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım döneminde birlikte çalıştığım Yapay Zekâ ve Robotik Araştırma Laboratuvarındaki arkadaşlarım, Alpaslan YUFKA, Nevin CANİK ve Zuher KAZANCI'ya teşekkür ederim.

Son olarak varlıkları ile bana moral ve neşe veren kedilerim Fıstık ve Çirkin'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı.....	3
1.2 Önerilen Yaklaşım	4
1.3 Katkılar.....	5
2. ÇOK ROBOTLU SİSTEMLER	6
2.1. Kontrol Yapıları	8
2.1.1. Merkezi yaklaşımlar	8
2.1.2. Dağıtık yaklaşımlar	9
2.1.3. Market tabanlı yaklaşımlar	12
2.2. Robot ve Görev Ayrışması Yaklaşımları	12
2.3. Haberleşme Yapısı Yaklaşımları.....	13
2.4. Çok Robotlu Sistemlerde Koordinasyon ve Görev Paylaştırma Yaklaşımları	15
3. EKONOMİ TABANLI YAKLAŞIMLAR	19
3.1 Geçmiş Çalışmalar	20
3.1.1 Kontrat Ağı Protokolü ve görüşme tabanlı yaklaşımlar	20
3.1.2 Müzayede tabanlı yaklaşımlar	22
3.1.3 Market tabanlı yaklaşımlar	24

İÇİNDEKİLER(devam)

4. ÖNERİLEN YAKLAŞIM	32
4.1 Market Tabanlı Görev Paylaştırma Algoritması ve Alış-Veriş Süreci	33
4.2 Bir Robot Platformunun Güç Modeli.....	39
4.3 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları	41
4.3.1 GEYTSAR müzayede sonlandırma yöntemi	42
4.3.2 REYTSAG müzayede sonlandırma yöntemi	44
4.3.3 Tekrarlamalı müzayede sonlandırma algoritması.....	46
4.3.4 Atama problemi ve Macar algoritması	48
4.3.4.1 Macar algoritması	50
4.3.4.2 Görev atanmasında Macar algoritması	51
4.3.5 Haberleşme	52
4.4 Keşfederek Öğrenme.....	56
4.5 Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS)	60
5. UYGULAMALAR	68
5.1 P3-DX Robot Platformu.....	68
5.2 Test Ortamı.....	69
5.3 Görevler ve Robot Takımı	70
5.4 Fiyat ve Maliyetin Belirlenmesi.....	75
6. DENEYSEL SONUÇLARIN ANALİZİ	80
6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları.....	80
6.1.1 Tamamlanan görevlerin yüzdesi	81
6.1.2 Haberleşme yükü	85
6.1.3 Kaynak kullanımı.....	86

İÇİNDEKİLER(devam)

6.2	Keşfederek Öğrenme.....	87
6.2.1	Tamamlanan görevlerin yüzdesi.....	88
6.2.2	Haberleşme yükü	91
6.2.3	Kaynak kullanımı.....	91
6.3	Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS)	92
6.3.1	Tamamlanan görevlerin yüzdesi.....	94
6.3.2	Haberleşme yükü	97
6.3.3	Kaynak kullanımı.....	97
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER	99
	KAYNAKLAR DİZİNİ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Dağıttık Çok Robotlu Sistemler Arasındaki İlişkiler (Parker,2007).....	10
4.1 Robot Kontrol Mimarisi.....	33
4.2 Üretici Erkin Durum Diyagramı	34
4.3 Üretici Erkin Durum Diyagramı (Detaylı).....	35
4.4 Tüketici Erkin Durum Diyagramı	36
4.5 Tüketici Erkin Durum Diyagramı (Detaylı)	37
4.6 Alış-veriş Sürecinin Sıralama Diyagramı	38
4.7 GEYTSAR Müzayede Sonlandırma Algoritması.....	43
4.8 REYTSAG Müzayede Sonlandırma Algoritması.....	44
4.9 Tekrarlamalı Müzayede Sonlandırma Algoritması.....	47
4.10 Market Haberleşme Süreci.....	53
4.11 Market Haberleşme Süreci (Tekrarlamalı)	54
4.12 Öğrenme Eğrisi	58
4.13 AGTAS Eklenmiş Market Tabanlı Görev Paylaştırma Mimarisi.....	62
4.14 Üretici Erkin Durum Diyagramı (AGTAS)	64
4.15 Tüketici Erkin Durum Diyagramı (AGTAS).....	65
4.16 AGTAS Durum Diyagramı.....	67
5.1 Pioneer 3-DX gezgin robot platformu	69
5.2 Deney Ortamı.....	70
5.3 Temizleme Görevi	76
6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi ...	82
6.2 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları için Kaynak Kullanım Yüzdeleri	86
6.3 Farklı GSGO Değerleri için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi.....	88
6.4 Farklı GSGO Değerleri için Kaynak Kullanım Yüzdeleri.....	92
6.5 Farklı TÜGİLO Değerleri için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi.....	94
6.6 Farklı TÜGİLO Değerleri için Kaynak Kullanım Yüzdesi	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Görevler ve Görevleri Yapmak için Gerekenler	71
5.2 Robotlar ve Yapabilecekleri Görevler	73
5.3 Robotlar ve Sahip Oldukları Özellikler	74
5.4 Robotların Başlangıç Parametreleri	75
5.5 Uzaklık Matrisi	76
6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri	84
6.2 Müzayede Sonlandırma Yaklaşımlarında Kullanılan Mesaj Sayısı	85
6.3 Farklı GSGO Değerleri İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri	90
6.4 Farklı GSGO Değerleri için Kullanılan Mesaj Sayısı	91
6.5 Farklı TÜGİLO Değerleri İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri	96
6.6 Farklı TÜGİLO Değerleri için Kullanılan Mesaj Sayısı	97

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Robotik alanındaki araştırmalar 2. Dünya Savaşında atom bombası çalışmalarındaki nükleer atıkları toplamak için başlamıştır. 1960'lı yıllarda ise otomobil üretiminde kullanılmak amacıyla endüstriyel robotlar geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda, hem donanımsal hem de yazılımsal alandaki bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte robotik alanındaki çalışmalar ağ atlamıştır. Günümüzde tasarlanan robot sistemleri gerçek dünya problemlerine hızlı ve akıllıca çözümler üretecek kapasiteye sahiptirler. Bu kapasitedeki robotlar çeşitli alanlarda ve amaçlarda kullanılmaktadır. İnsan sağlığı için tehlike oluşturabilecek nükleer ve toksik atıkların toplanması, bomba ve mayın gibi patlayıcıların belirlenmesi ve imhası gibi alanlarda robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, tıp alanında, hastalara ilaç, yemek ve su gibi temel ihtiyaçların servis edilmesinde ve cerrahi operasyonlarda tıbbi personele yardım amacıyla robotlar kullanılabilmektedir. Uzay araştırmalarında, gezegenlerin keşfedilmesi, gezegenden gerekli örneklerin toplanması, uzay istasyonlarının inşa edilmesi gibi konularda da robotlardan faydalanılmaktadır. Askeri alanda, keşif, ikmal görevlerinde ve askeri operasyonlarda robot sistemleri aktif olarak kullanılabilir. Bunların dışında, deprem, sel ve yangın gibi afet durumlarında insanların yerlerinin tespit edilmesi ve kurtarılmaları için robotlar kurtarma görevlilerine yardımcı olmak amacıyla ekiplerde yerlerini almaktadırlar. Son olarak, robotlar güvenlik ve temizlik gibi servis alanlarında büyük binaların temizlenmesi ve izlenmesi amaçlarıyla kullanılmaktadır.

Robotik alanındaki talepleri karşılamak için, 1990'lı yılların başlarına kadar genellikle tek robotlu sistemler kullanılmıştır. Bununla beraber, araştırmacılar robotların birçok zorlu alanda tek başlarına çalışmak yerine takım halinde çalışmalarının daha verimli olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu amaçla, günümüzde birçok karmaşık problemde, görevlerin hızlı tamamlanması, daha gürbüz sistemlerin elde edilmesi, zm kalitesinin arttırılması ve tek robotlu sistemler tarafından yapılamayan görevlerin yerine getirilmesi amacıyla çok robotlu sistemler, tek robotlu

sistemlere tercih edilmektedir. Çok robotlu sistemlerin avantajlarından yararlanmak için, görevlere atanacak robot sayısının artırılması yeterli bir çözüm yolu değildir. Bunun yerine, robotların birlikte düşünebildiği, planlama yapabildiği ve problemleri birlikte çözebildiği bir yaklaşım önerilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, karmaşık problemlerin çözülebilmesi için her robotun bu problemin tamamı yerine bir parçasına odaklanmasının verimliliği arttıracakı düşünülmüştür. Bu düşünceyi güçlendirmek amacıyla insan topluluklarının karmaşık görevleri nasıl yerine getirdikleri incelenmiştir. Örneğin, trafik kazası geçiren bir hastanın iyileştirilmesinde anestezi uzmanı, cerrah, ortopedist gibi farklı uzmanlıklara sahip doktorlar görev almaktadır. Bir diğer örnek ise ordudan verilebilir. Orduda personel, sağlık görevlisi, haberleşmeci, ikmal sorumlusu, cephede çarpışan askerler olarak değişik görevlerde çalışmaktadır. Bu düşünce tarzı, dağıtık zekâ olarak adlandırılmış ve 2000'li yılların başından itibaren robotik alanında kullanılmaya başlamıştır. Dağıtık zekâ, robotların, insanların, bilgisayarların, algılayıcıların ve hatta hayvanların uzmanlaşarak aynı verim seviyesinde çalışabilmesini amaçlamaktadır. Böylece, zorlu ve büyük bir görev yapacak olan robot takımının her üyesinin bu görevin tamamını yapacak kapasitede olmasının yerine, her üyenin kendine has özel yeteneklerde ve bu görevin bir kısmından sorumlu olmasının daha verimli olacağı düşünülmüştür. Bu noktada, robot takımlarının kendilerine verilen görevleri güvenilir ve verimli bir şekilde yerine getirebilmeleri için robotlar arası koordinasyonun çok iyi yapılması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla, yüksek bant genişlikli haberleşme yeteneğine, çok değişik amaçlar için tasarlanmış algılayıcı ve hareket vericilere sahip robotların, takım seviyesinde koordine olmaları gerekmektedir. Bununla birlikte, robotlar dinamik ortamlarda bulunmakta ve değişen görev taleplerine, sahip oldukları kısıtlı kaynak (zaman ve enerji) ile cevap vermeye çalışmaktadırlar. Sonuç olarak bu şartlar altında robotlar arası koordinasyonu sağlamak zor fakat başarı ile çözülmesi gereken bir problemdir. Robotlar arası koordinasyonu sağlamak için yapılan çalışmalar, önemli bir soruya cevap aramaktadır. Bu soru "Hangi robot hangi işi yapmalıdır?" sorusudur. Geniş bir çerçevede yeteneklere sahip olan robotlardan oluşan robot takımının en verimli ve güvenilir biçimde nasıl kullanılacağına cevabını arayan bu soru, çok robotlu sistemlerin koordinasyonu alanında görev paylaşırma problemi olarak adlandırılmaktadır. Çok robotlu sistemlerde koordinasyon ve görev paylaşırma problemine birçok farklı çözüm yaklaşımları geçmiş çalışmalarda yerini

almıştır. Birçok araştırma, davranış tabanlı mimariler önermiştir. Bununla birlikte, sosyal ve ekonomik modellerden esinlenerek görev paylaşırma problemine çözüm arayan çalışmaların sayısı da her geçen gün artmaktadır.

1.1 Problemin Tanımı

İlgilenilen problem, çok robotlu sistemlerde, görevlerin zaman ve enerji gibi ölçütler göz önünde bulundurularak verimli bir şekilde robotlara paylaşırılmasıdır. Problemin tanımı yapılırken bazı varsayımlar yapılmaktadır:

- i. Robotlar çokturedir ve farklı kaynaklara (yetenek ve araç-gereç) sahiptirler,
- ii. Robotlar arası haberleşme mevcuttur,
- iii. Robotlar dürüst ve birlikte çalışmaya yatkındırlar,
- iv. Robotlar farklı görevler için kullanılabilirler,
- v. Görevlerin ortaya çıkma sıraları ve zamanları ile ilgili bir tanımlama mevcut değildir,
- vi. Robotlar görevleri aldıklarında, görevin nasıl yerine getirileceğine kendileri karar vermektedir.

Bu varsayımlar altında görev paylaşırma problemi aynı zamanda dinamik kaynak paylaşırma problemi olarak da tanımlanabilir. Bir kaynak kümesi ve bir görev kümesi verildiğinde, kaynakların görevlere verimli bir şekilde paylaşırılmasını amaçlanmaktadır. Bu problem esasında NP-Zor bir problemdir (Dias,2004). Bununla birlikte, robotların gelecek görevler hakkında herhangi bir bilgiye sahip olmadığı ve gerçek zamanlı, belirsizlikler içeren ortamlarda çalıştığı göz önüne alındığında klasik planlama yaklaşımlarının bu problem için uygun olmadığı gözükmektedir. Bu durumda, gelen her görev daha önceden belirlenen ölçütü mümkün olduğunca eniyilemeye çalışacak şekilde robotlara paylaşırılmalıdır. Genelde, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma yaklaşımları üç ölçütü eniyilemeye çalışmaktadır:

- i. Görevlerin tamamlanma yüzdesi,
- ii. Haberleşme yükü,
- iii. Kaynak kullanımı

Bu noktada, görevlerin tamamlanma yüzdesi arttırılmaya, haberleşme yükü ve kaynak kullanımı azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu ölçütler birbirlerine güçlü bir şekilde bağlıdırlar. Örneğin, robotlar görevleri tamamlama yüzdesini arttırmak için daha çok haberleşmeye ihtiyaç duyabilirler. Eğer haberleşme yükü azaltılmak istenirse, bu durumdan kaynak kullanımı olumsuz etkilenebilir. Bu ölçütler arasındaki ilişkiler genellikle uygulamaya göre değişmektedir.

1.2 Önerilen Yaklaşım

Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çözüm olarak market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda, robotlar market yapısı içinde iki temel rol (Üretici ve Tüketici) üstlenmektedirler. Üreticiler belirli aralıklarla markete yapılması istenen görevleri sunmaktadırlar. Tüketiciler ise markete giren görevler için servis sağlamaktadırlar. Görevler için servis sağlayacak olan robotlar değişik algılayıcı ve yeteneklere sahiptirler. Görev paylaşırma aşamasında ise alış-veriş olarak tanımlanan bir süreç kullanılmaktadır. Bu sürecin sonunda üreticiler görevleri yapmaya hak kazanan tüketicileri belirlemektedirler. Bu sürecin sonlandırılması bir başka deyişle görevleri yapacak robotların belirlenmesi görev paylaşırma probleminin en önemli parçasını oluşturmaktadır. Bu noktada, her tüketiciye bir anda sadece bir görev verilmektedir. Görevi yapmaya hak kazanan robotun bu görevi nasıl icra edeceği kendi sorumluluğundadır. Ayrıca, görevi alan tüketicinin bu görevi tamamlayacağı varsayılmıştır. Bununla birlikte, insanlarda olduğu gibi robotlarda da görevlerle ilgili tecrübenin zaman içinde artacağı düşünülmüştür. Ayrıca, insanların belirli sebeplerden dolayı yapamadıkları görevleri daha sonra ele aldığı da göz ardı edilemeyecek bir olgudur. Bu durumun robotlar için de geçerli olabileceği düşünülmüştür. Bu olgular ele alınarak çok robotlu sistemler için bir görev paylaşırma yaklaşımı önerilmiştir.

1.3 Katkılar

Bu yaklaşım, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çeşitli katkıları sağlamaktadır. Bu katkıları şu şekilde listelenebilir:

- i. Alış-veriş sürecinde bir robot platformunun enerji modeli kullanılarak yapılan alış verişin daha somut olarak ifade edilmesi sağlanmıştır.
- ii. Görevleri yapacak robotların belirlenmesi esnasında yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bununla birlikte, atama problemi bu aşamada kullanılarak en iyi robot-görev eşlemeleri bulunmuştur.
- iii. Robotların görevleri icra ederken bir öğrenme maliyeti olduğu fark edilmiş, bu maliyetin zamanla azaldığı gözlemlenmiştir. Robotların görevler için hesapladığı maliyet, öğrenme maliyeti göz önüne alınarak modellenmiştir.
- iv. Görevi yapmak için gerekli kaynakların bulunmaması, robotların çalışmaz duruma gelmesi gibi sebeplerden dolayı yapılamayan görevlerin, tekrar markete sunulması sağlayan bir yaklaşım geliştirilerek yapılan görevlerin yüzdesi ve kaynak kullanımını arttırılmıştır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde şu konular yer almaktadır. Bölüm 2'de çok robotlu sistemlerin özellikleri ve bazı temel görev paylaşırma yaklaşımları anlatılmaktadır. Bölüm 3'de görev paylaşırma probleminde market tabanlı yaklaşımlar incelenmektedir. Bölüm 4'te önerilen yaklaşım ile ilgili bilgiler verilmektedir. Bölüm 5'te önerilen yaklaşımın verimliliğini göstermek için yapılan uygulamalar, Bölüm 6'da ise elde edilen sonuçların detaylı analizi yer almaktadır. Bölüm 7'de yapılan tez çalışması ile ilgili sonuç ve öneriler verilmektedir.

BÖLÜM 2

ÇOK ROBOTLU SİSTEMLER

Çok robotlu sistemler ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, görevlerin ayrıştırılması ve paylaşılması, görevlerin yapılması esnasında robotlar arasındaki koordinasyonun sağlanması, robotlar arası haberleşme ve robot kontrol mimarileri gibi çok çeşitli alanlarda bulunmaktadır. Dudek, ve ark., (1996) yapılan çalışmaları

- i. Ortamdaki robot sayısı,
- ii. Haberleşme menzilleri (robot dağılımlarına göre haberleşmenin mümkün olabilirliliği), haberleşme topolojileri (hangi robotun hangi robotla haberleşeceğini belirleyen yapı), haberleşme bant genişliği (haberleşme ortamında ne kadar bilgi alışverişi yapılacağı),
- iii. Robotların tekrardan organize olma hızı (bir üyenin bir diğer üyeye göre hareket edebilme oranı),
- iv. Robotların hesaplama modeli (her bir üyenin hesaplama yeteneği),
- v. Robotların oluşumları (robotların fiziksel, davranışsal ve yazılımsal olarak birbirinden farklı ya da aynı olmaları) göz önüne alınarak gruplandırmıştır.

Stone ve Veloso (2000), otomatik öğrenme açısından yaptıkları incelemede, tektürel (homogeneous) – çoktürel (heterogeneous) ve haberleşme ekseninde bir sınıflandırma oluşturmuşlardır. Bu sınıflandırmaya göre, çok robotlu sistemler, tektürel haberleşemeyen, çoktürel haberleşemeyen, tektürel haberleşen ve çoktürel haberleşen erkinler olarak dört sınıfa ayrılmıştır.

Gerkey ve Mataric (2004), çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma yöntemleri için bir analiz ve sınıflandırma yapmışlardır. Bu sınıflandırma, görev tanımından bağımsız olarak yapılmış ve çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemlerinin iyi bilinen eniyileme problemlerine benzerlikleri gösterilmiştir. Böylelikle, hangi görev paylaşırma probleminin hangi eniyileme yöntemleriyle çözülebileceği belirlenmiştir.

Bu sınıflandırmada çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemleri üç temel ekseninde tanımlanmıştır:

- i. Robotların bir anda yapabildikleri görev sayısına göre: bir anda tek görev yapabilen robotların (TG) ve bir anda çok görev yapabilen robotların (ÇG) bulunduğu durumdaki görev paylaşımı.
- ii. Görevlerin yapılması için gerekli olan robot sayısına göre: tek robot tarafından yapılabilen görevler (TR) ve birden fazla robot tarafından yapılabilen görevlerin (ÇR) olduğu durumlardaki görev paylaşımı.
- iii. Robotların geleceğe dair bir bilgileri olup olmamasına göre: Anlık atama (AA) robotların geleceğe dair herhangi bir bilgiye sahip olmadıkları durumlarda yaptıkları anlık atamaları ve zamana yayılmış atama (ZYA) ise robotların gelecek görevler ve durumlar hakkında bilgi sahibi oldukları durumlardaki görev paylaşımı.

Bu üç temel eksen tanımlaması yapıldıktan sonra, çok robotlu sistemler için görev paylaşırma problemleri sekiz ana kısma ayrılmıştır. TG-TR-AA, robotun bir anda sadece bir görev yapabildiği, görevler için bir robotun yeterli olduğu ve robotların geleceğe dair herhangi bir bilgilerinin olmadığı durumlardaki görev paylaşırma problemini tanımlamakta ve bu problem için bilinen eniyileme çözüm yöntemlerini açıklamaktadır. Benzer şekilde TG-TR-ZYA, TG-ÇR-AA, TG-ÇR-ZYA, ÇG-TR-AA, ÇG-TR-ZYA, ÇG-ÇR-AA ve ÇG-ÇR-ZYA görev paylaşırma problemleri tartışılmış, bu sınıflardaki geçmiş çalışmalara yer verilmiş ve eniyileme yöntemleri anlatılmıştır.

Bu bölümün devamında, çok robotlu sistemlerde yapılan geçmiş çalışmaları tartışmadan önce, sistemlerin kontrol yapıları (karar verme mekanizmaları), robot takımının yapısı (tektürel ya da çoktürel), haberleşme yöntemleri gibi bazı temel konulardan bahsedilecek, daha sonra yaygın olarak bilinen görev paylaşırma yaklaşımları anlatılacaktır.

2.1. Kontrol Yapıları

Çok robotlu sistemlerde kontrol yapıları karar mekanizmasının bulunduğu yere göre merkezi ya da dağıtık olarak iki sınıfta toplanabilir. Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çözüm yaklaşımları tamamen merkezi çözümlerden tamamen dağıtık çözümlere kadar geniş bir perspektifte yer almaktadır. Bununla beraber, son yıllarda merkezi ve dağıtık yaklaşımların avantajlarını bir araya getiren market tabanlı yaklaşımlar popüler olmaya başlamış ve kontrol yapıları arasında yerini almıştır (Dias, 2004).

2.1.1. Merkezi yaklaşımlar

Merkezi yaklaşımlarda, bir robot ya da merkezi bir bilgisayar lider rolü oynamakta ve tüm takım üyelerinin aksiyonlarını planlamakla sorumlu olmaktadır (Chaimowicz, ve ark., 2001). Bu yöntemde, genellikle takım üyeleri son durumlarını bildiren bilgileri, tüm takımı koordine etmek durumunda olan lidere göndermeleri gerekmektedir. Merkezi yaklaşımların temel avantajı, liderin planlama esnasında tüm üyeler ile ilgili bilgileri elinde bulundurması dolayısıyla en iyi çözümü üretebilir olmasıdır. Bununla birlikte, merkezi yaklaşımlar, değişen koşullara yavaş tepki verme, büyük boyutlu robot takımları için çözüm bulma zorlukları, haberleşme problemleri ve liderin çalışamaz hale gelmesi durumunda tüm sistemin çalışamaz olması gibi dezavantajlar barındırmaktadır. Örneğin, eğer robotlar çok değişken bir ortamda çalışıyorlarsa, lider takım üyelerinden gelen güncellenmiş bilgileri kullanarak takım üyeleri için yeni planları yeterince hızlı bir şekilde üretemeyebilir. Bu durumda, robotlar liderin kararlarına bağlı oldukları için kendilerini tehlikeli durumlardan sakınamayabilirler ya da görevleri başarı ile yerine getiremeyebilirler. Ayrıca, değişik yetenek ve algılayıcılara sahip robotların bulunduğu bir robot takımında, takım boyutunun artmasıyla birlikte görevlerin paylaşırılması esnasında en iyi çözümü üretme yeteneği önemli ölçüde azalmaktadır. Bir diğer önemli dezavantaj ise robotlar arası haberleşmedir. Tamamen merkezi bir yaklaşımda, yeni bir durumla karşılaşıldığında, liderin tekrar plan yapması için tüm üyelerden tekrar bilgi alması gerekmektedir. Dolayısıyla verimli bir haberleşme sağlamak için yüksek bant genişliği kullanma

zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Son olarak, takımın gürbüzlüğü tek bir robota bağlıdır. Eğer planlayıcı bir sebeple görevini yerine getiremezse, tüm robot takımı işlevsiz hale gelmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı, merkezi yaklaşımlar, küçük boyutlu robot takımlarının kullanıldığı, haberleşmenin problemsiz olduğu ve fazla değişken olmayan çalışma ortamları için uygun bir kontrol yapısı olarak ortaya çıkmaktadır.

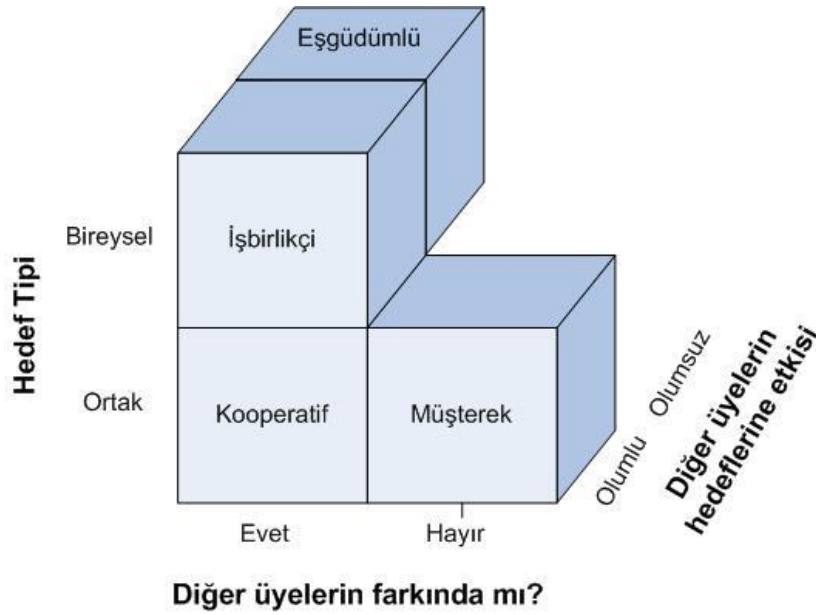
2.1.2. Dağıtık yaklaşımlar

Tamamen dağıtık, tepkisel ve davranışsal yaklaşımlar, planlama sorumluluğunu takım üyeleri arasında paylaştırarak merkezi yaklaşımların doğasından kaynaklanan birçok problemin üstesinden gelmişlerdir. Dağıtık yaklaşımlarda, her robot kendi yerel bilgisini ve içsel durumunu göz önüne alarak kendi planını yapmakla yükümlüdür. Böylece, bir robotta oluşacak başarısızlık, tüm sistemin işlevsiz hale gelmesine sebep olmayacaktır. Ayrıca, diğer robotlardan bilgi toplama gerekliliği yoktur. Robot takımının boyutunun değişmesi, sistemin çözüm üretme kalitesini etkilememektedir. Haberleşmeden kaynaklanan problemlere karşı merkezi yaklaşımlara göre daha dayanıklıdır. Bu yaklaşımların temel dezavantajı ise, planlama esnasında yerel bilgi ve durum göz önüne alındığı için en iyi olmayan çözümlerin üretilmesidir. Bununla birlikte, dağıtık yaklaşımların kolay gerçekleştirilebilmesi ve merkezi yaklaşımlardan kaynaklanan birçok problemin üstesinden gelmesi sebebiyle çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma probleminde sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok araştırma, biyolojik, fiziksel ve ekonomik modellerden esinlenerek dağıtık yaklaşımları modellemeye çalışmıştır.

Çok robotlu sistemlerde koordinasyon ve görev paylaşırma problemine çözüm bulmak amacıyla geliştirilen birçok dağıtık yaklaşım geçmiş çalışmalarda yerini almıştır. Araştırmacılar, bu alanda birçok muhtemel çözüm yönteminin olduğunu ve bu yöntemlerin her çok robotlu sistem için uygun olmadığını fark etmişler ve farklı tipteki dağıtık çok robotlu sistemlerin iyi anlaşılıp, bu sistemlere uygun çözüm yollarının geliştirilmesinin önemli olduğu saptamasını yapmışlardır. Parker (2007), dağıtık çok robotlu sistemler için bir sınıflandırma yapmıştır. Bu sınıflandırma üç eksen üzerine kurulmuştur:

- i. Robotların hedefleri (Robotların ortak bir hedefe ya da kendi hedeflerine sahip olması),
- ii. Robotların takımın diğer üyelerinin farkında olmaları (Robotların takımdaki diğer robotların varlığından haberdar olması ya da olmaması),
- iii. Robotların aksiyonlarının diğer robotların hedeflerine etkisi (Bir robotun aksiyonunun diğer bir robotun hedefine ulaşmasına destek ya da engel olması).

Bu sınıflandırma kullanılarak dağıtık çok robotlu sistemlerde robotlar arasındaki ilişkiler dört ana tipte toplanmıştır: Müşterek (Collective), Kooperatif (Cooperative), İşbirlikçi (Collaborative) ve Eşgüdümlü (Coordinative). Yapılan sınıflandırma ve oluşturulan ilişki tipleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Dağıtık Çok Robotlu Sistemler Arasındaki İlişkiler (Parker,2007)

Müşterek ilişki tipi, dağıtık çok robotlu sistemler arasındaki ilişkilerden en basit olanı olarak düşünülmektedir. Bu ilişki tipinde, robotlar diğer robotların varlıklarından haberdar değildirler, ortak bir hedef için hareket ederler ve bir robotun aksiyonu diğer robotların yararınadır. Çok robotlu sistemlerde bu ilişki tipine örnek olarak sürü

(swarm) robotik alanı gösterilebilir (Mataric, 1995; Kube ve Zhang, 1993). Bu ilişki tipi, genelde, yiyecek arama, bir araya toplanma ve sürü halinde hareket etme gibi biyolojik davranışlarla ilgili görevleri yerine getirmek için kullanılan sistemlerde görülmektedir. Bu sistemlerde, robotlar genellikle basit yerel kontrolörler içerirler. Çok sayıda robotun bir araya gelerek ortak bir hedef için hareket ettiği bu sistemlerde haberleşme genellikle yerel etkileşimler ile gerçekleştirilmektedir.

Kooperatif ilişki tipinde, robotlar diğer robotların varlıklarından haberdardır ve ortak bir hedef için birbirlerine yardım ederek çalışmaktadırlar. Kutu itme (Gerkey ve Mataric, 2002a), bir ortamın temizlenmesi (Sipahioğlu, ve ark., 2010), arama ve kurtarma (Murphy, 2000), gezegen keşfi (Stroupe, ve ark., 2006) gibi görevler bu ilişki tipinin kullanılabileceği uygulama alanları arasında yer almaktadır. Bu görevler esnasında, robotlar ortak bir görevin alt parçalarını yerine getirebilirler ya da ortak bir çalışma alanında birbirleriyle ilişki kurmadan çalışabilirler. Ancak, robotlar genellikle ortak bir hedefi yerine getirmek için birlikte çalışmaktadırlar.

İşbirlikçi ilişki tipinde, robotlar kendi hedeflerine ulaşmaya çalışmaktadırlar. Ayrıca robotlar takımdaki diğer üyelerden haberdardır ve diğer robotların hedeflerine varmalarına yardım etmektedirler. Bu ilişki tipinin karakteri, robotların kendi hedeflerine ulaşmaları için diğer robotlardan yardım alması üzerine kurulmuştur. Bu ilişki tipi, kooperatif ilişki tipine çok benzemektedir. Ancak bu ilişki tipinde, robotlar diğer robotlara kendi kişisel hedeflerine varmaları için yardım etmektedirler. Bu ilişki tipini kullanarak yapılabilecek görevler arasında çok robotlu devriye görevleri gösterilebilir. Bu durumda, her üye daha önceden belirlenmiş bir hedefe varmak ile görevlendirilmiştir. Eğer robotlar algılayıcı kısıtlamalarından dolayı hedeflerine varamazlarsa, diğer robotların algılayıcı yeteneklerinden faydalanarak daha önceden belirlenmiş hedeflerine ulaşmaları sağlanmaktadır (Özkan, 2007). Bu tip işbirlikleri aynı zamanda, koalisyon oluşturma olarak da adlandırılabilir (Parker ve Tang, 2006; Vig ve Adams, 2006).

Eşgüdümlü ilişki tipinde robotlar ortak bir hedefe sahip değildirler ve bir robotun aksiyonu diğer bir robotun hedefine varmasına yardımcı olamamaktadır. Bu

ilişki tipi genellikle, robotların ortak bir çalışma alanını paylaştığında ortaya çıkmaktadır. Bu durumda robotlar, diğer robotlarla olan ilişkilerini en aza indirmeye çalışarak görevleri yerine getirmektedirler. Çok robotlu sistemlerde yol planlama teknikleri (Kloder ve Hutchinson, 2006; Guo ve Parker, 2002) ve trafik kontrol teknikleri (Asama, ve ark., 1991; Yuta ve Premvuti, 1992; Wang, 1991) bu ilişki tipi kullanılarak yapılacak görevler arasında gösterilebilir.

2.1.3. Market tabanlı yaklaşımlar

Merkezi ve dağıtık yaklaşımların sağladığı avantajları bir araya getiren market tabanlı yaklaşımlar son yıllarda popüler olmaya başlamışlardır. Market tabanlı yaklaşımlardaki genel işleyiş, robotların kendi yerel bilgisini ve içsel durumunu göz önüne alarak kendi planlarını yapabilmesi, ancak görevlerin robotlara paylaştırılma sürecine (alış-veriş süreci) takım üyelerinin de dâhil olabilmesidir. Ayrıca, market tabanlı yaklaşımlarda haberleşme, görevlere teklif yollamak ve görevleri yapmaya hak kazanan robotlara atama yapmak gibi sınırlı bilgiler içeren mesajlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte, müzakere protokollerinin belirlenmesi, görevler için uygun maliyet fonksiyonlarının belirlenmesi, uygun bağlılık ve ceza kurallarının oluşturulması gibi önemli konularda karar verilmesi gerekliliği market tabanlı yaklaşımların zorlukları arasında sayılabilir. Bu yüzden, tüm bu faktörlerle ilgili kararların market tabanlı sistemin tasarım aşamasında verilmesi gerekmektedir.

2.2. Robot ve Görev Ayrışması Yaklaşımları

Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda ve robotlara görev paylaşırma probleminde robot takımının tektürel ya da çoktürel robotlardan oluşması çözüm yöntemlerinin seçilmesinde önemli bir ölçüt olmaktadır. Robotlar, fiziksel ve yazılımsal olarak aynı yeteneklere sahiplerse tektürel, farklı özelliklere sahiplerse çoktürel olarak adlandırılmaktadırlar.

Tektürel robotlardan oluşan gruplarda, aynı özelliklere sahip robotlar genellikle takım halinde hareket ederek ortak bir davranış sergilemeye çalışmaktadırlar. Tektürel

robotlarla ilgili çalışmalar genellikle sürü robotik olarak adlandırılan alanda yer almaktadır (Mataric, 1995; Kube ve Zhang, 1993). Bu alandaki çalışmalar, doğada yer alan biyolojik organizmaların davranışlarını modellemeye çalışmaktadırlar. Ayrıca, Ostergaad, ve ark., (2001) yaptıkları çalışmada acil durum görevlerinde (emergency handling) tektürel robotları kullanmışlardır. Bu görevlerde robotlar kendi algılama alanları içindeki alarm verilen noktalara süratle ulaşmaya çalışmaktadırlar.

Çoktürel robotlardan oluşan gruplarda, robotlar fiziksel (araç, gereç) ya da yazılımsal (davranış, yetenek) olarak birbirlerinden farklılıklar göstermektedirler. Bu tür robot gruplarında, robotlar sahip oldukları yeteneklere ve donanımlara bağlı olarak uzmanlaşmaktadırlar. Böylece, farklı uzmanlıklara sahip robotlar ile robot grubunun kabiliyetleri artmakta ve verilen görevlere daha kaliteli ve daha kısa sürede çözümler üretebilmektedirler. Bununla birlikte, çoktürel robotlardan oluşan robot takımlarının koordinasyonu oldukça zor bir problemdir (Iocchi ve Nardi, 2003). Buna rağmen, çoktürel robotlar, robot takımına kazandırdıkları kabiliyetler sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır.

Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemi için robot gruplarında olduğu gibi görevler de tektürel ve çoktürel olarak ikiye ayrılabilir. Goldberg ve Mataric (2000), yaptıkları çalışmada tektürel ve çoktürel görev paylaşırma yöntemlerini çöp toplama görevi için değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçları görev tamamlama zamanı ve kullanılan enerji parametreleri ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucun tektürel robot takımı ile elde edildiği görülmüştür.

2.3. Haberleşme Yapısı Yaklaşımları

Çok robotlu sistemlerde haberleşme, robot grubunun koordineli bir şekilde çalışmasında ve robotlar arasında bilgi alış-verişinin sağlanmasında önemli bir etkidir. Çok robotlu sistemlerde haberleşme genellikle dolaylı ve açık olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Dolaylı haberleşme, robotların ortamda yaptıkları değişiklikleri diğer robotların algılayıcılar vasıtasıyla fark etmeleri ile gerçekleştirilir (Pagello, ve ark., 1999). Örneğin, devriye görevi yapan bir robot takımında, her üye gezdiği

hedeflere diğer robotların algılayabileceği daha önceden belirlenmiş işaretler bırakabilir. Bu işaretler, diğer robotlar tarafından kamera ve lazer uzaklıkölçer gibi algılayıcılar vasıtasıyla tespit edilerek aynı bölgenin tekrar gezilmesi ile ortaya çıkacak olan zaman ve enerji kaybını en aza indirmektedir. Bu haberleşme türünün avantajı, önceden tasarlanmış bir haberleşme protokolüne ve haberleşme alt yapısına gereksinim duyulmamasıdır. Ayrıca, bu tür haberleşme basit ve gürbüzdür. Bunun sebebi, eğer robotlardan biri ortamda bir değişiklik yapmışsa, bunun diğer robotlar tarafından kolaylıkla fark edilmesidir. Böylece haberleşme sırasında bilgi kaybı gibi durumlar söz konusu olmamaktadır.

Açık haberleşme türünde ise, robotlar bilinçli olarak diğer robotlarla bilgi paylaşımında bulunmaktadır. Genellikle fiziksel (kablolu ya da kablosuz) olarak sağlanmış haberleşme bağlantıları ve haberleşme protokolleri kullanılmaktadır. Açık haberleşme türünde, robotlar bilgi paylaşımı esnasında gruptaki tüm üyelere (broadcast) bilgi gönderebilecekleri gibi, sadece bir robota (unicast) da bilgi gönderebilirler. Açık haberleşmenin alt yapı oluşturma ve protokol belirleme gibi dezavantajları olmasına rağmen, karmaşık görevler için gerekliliği de açıktır. Robotların zorlu ve büyük görevleri yerine getirebilmeleri için diğer robotlarla bilgi alış-verişinde bulunmaları gerekmektedir. Bu aynı zamanda, yapılacak görevin yapılma kalitesini arttırmakta ve yapılma zamanı ve kullanılan enerji gibi ölçütleri de iyileştirebilmektedir. Dolaylı, açık ve bu iki haberleşme türünün birlikte kullanıldığı çalışmalar Özkan (2007) tarafından detaylı olarak incelenmiştir.

Açık haberleşme türünde kullanılan bazı temel haberleşme yapıları Dutta, ve ark., (2004) tarafından yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir. Karatahta tabanlı mesajlaşmada, tüm robotlar merkezi bir mekanizmaya mesajları yazarak ve okuyarak bilgi alış-verişini sağlamaktadırlar. İşaret tahtası tabanlı mesajlaşmada ise, her robot kendi işaret tahtasına sahiptir ve sadece kendisi bu tahtaya bilgi yazabilmektedir. Robotun komşuluğunda bulunan diğer robotlar ise bu tahtada yazan bilgileri okuyabilmektedirler. Eğer yazılan mesajların, diğer bir robot tarafından cevaplanması gerekiyorsa el sıkışma (handshaking) yöntemi kullanılabilir. Mesaj geçme yönteminde ise, robotlar mesajları belirli bir robota göndermektedirler ve bu robotta

mesajları geliş sırasına göre kabul etmektedir. Mesajların içeriğinde sadece gerekli bilgiler bulundurularak kullanılan bant genişliğinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu yöntem haberleşmede maliyet ve zaman açısından karmaşık bir yapı ortaya çıkarsa da robottan robota sağlıklı bir haberleşme sağlamaktadır.

2.4. Çok Robotlu Sistemlerde Koordinasyon ve Görev Paylaşırma Yaklaşımları

ALLIANCE, çok robotlu sistemlerde koordinasyon ve görev paylaşırma problemi için geliştirilen davranış tabanlı çalışmalar içerisinde en çok bilinenler arasında yer almaktadır. ALLIANCE, orta ve küçük boyutlu çoktürel robot takımları için tasarlanmış, robot başarısızlıklarına karşı dayanıklı, görev atamalarını dinamik olarak yapan davranış tabanlı bir mimaridir. Mimarinin içinde bulunan kontrolör farklı görevler için farklı davranış kümeleri kullanmaktadır. Farklı özelliklere sahip robotlara görevlerin paylaşırılması için kullanılan birim ALLIANCE içinde yer almaktadır. Bu mimaride, uygun aksiyonların seçimi motivasyon kavramı üzerine oturtulmuştur. Motivasyon kavramı, sabırsızlık ve kabul etme terimleri cinsinden modellenmiştir. Sabırsızlık durumu diğer robotların görevleri yeterince iyi yapamadıkları zaman, kabul etme durumu ise, robotun verilen işi yapamayacağını anladığı durumlarda oluşmaktadır. Her robot kendi ve diğer robotların durumları hakkında kısmi bir bilgiye sahip olmakta ve bu kısmi bilgi ile motivasyon modeli kullanılarak robotların kullanacakları davranışlar belirlenmektedir (Parker, 1998, 2001). Parker (1997, 1995) ALLIANCE mimarisini davranış seçme noktasında kullanılmak üzere öğrenme kavramını ekleyerek genişletmiş ve L-ALLIANCE olarak adlandırılmıştır.

BLE (Broadcast of Local Eligibility) robotların bir görev için yerel verimliliğini hesaplayıp, bu değeri diğer robotlarla paylaşan davranış tabanlı bir görev paylaşırma yöntemidir. En yüksek verimliliğe sahip olan robot diğer robotları engelleyerek görevi almaktadır. Bu yaklaşım, robotlar arası çakışmaları çözmek için bağlantı noktası arabuluculuk davranışı (Port Arbitration Behaviour) tekniğini kullanmaktadır. Bu davranış, robotun yapacağı davranışları seçen bir yazılım gibi düşünölebilmekte ve, aynı zamanda robotun diğer robotlara ulaştığı bir bağlantı noktası gibi de

çalışabilmektedir. Her robotta bulunan bu bağlantı noktaları, robotları birbirine bağlayan tek yönlü haberleşme yollarıdır (Werger ve Mataric, 2000).

Çok Amaçlı Davranış Koordinasyonunu kullanan görev elde etme yaklaşımı, çok robotlu sistemler için davranış tabanlı bir mimaridir (Pirjanian, 1998). Bu yöntem, robotların kontrolünde davranış tabanlı bir mimari ve robotlara görev paylaşım için ise sağlamcı (deliberative) bir görev planlama sistemi kullanmaktadır. Bu yaklaşımda, robot takımındaki her robot kendi hedeflerine sahiptir ve grubun yararını en çoklayacak şekilde aksiyonlarını seçebilmektedir. Robotların aksiyonlarının seçimi açık haberleşme ve oylama kullanılarak yapılmaktadır. Bu yaklaşım ile elde edilen çözümler genelde en iyi çözüme kısmi olarak yakın olanlardır.

Çok robotlu sistemlerde takım oluşturma probleminin en önemli uygulama alanlarından biri robot futboludur. Stone ve Veloso (1999), tarafından önerilen yaklaşım, robot futbolu uygulamalarında dinamik olarak görevlerin paylaşılması için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, tüm tektürel robotlar önceden tanımlanmış strateji ve görevlere sahiptirler. Robotlar zamanla buldukları ortamı algılayarak görevlerini değiştirmektedirler. Robotun içsel durumundan kaynaklanan bu değişim ortama yansıdığında, diğer robotlarda ortamdaki değişiklikleri algılayarak kendi yapacakları görevleri değiştirmektedirler. Robotların içsel durumlarındaki her değişimden diğer robotlar haberdar edilerek takım tekrar oluşturulmaktadır. Yeni görev ve stratejiler belirli zaman aralıklarıyla robot takımına atanmaktadır.

Görev paylaşımına çözüm yaklaşımlarının yer aldığı bir diğer önemli sınıf ise sürü robotik olarak adlandırılmaktadır. Karınca algoritmaları bu alanda yapılan önemli çalışmalar arasında yerini almıştır. Karınca algoritmalarındaki (Lerman ve Gastyan, 2001) temel fikir, karınca gruplarının buldukları ortamdaki değişikliklere adapte olabilmeleridir. Bu yöntem, karıncalar ile ilgili biyolojik temellere dayanmaktadır. Karıncalar, yollarında ilerlerken arkalarında bir salgı bırakmakta ve en çok salgı bırakılan yolu izlemeyi tercih etmektedirler. Bu yaklaşım, yolun bir görev olarak kabul edildiği durumlarda bir görev paylaşım yaklaşımı olarak düşünülebilir. Görevlerin seçilmesi aşamasında yoldaki salgı miktarı bir olasılık fonksiyonu ile

tanımlanarak seçim işlemi yapılmaktadır. Dolaylı haberleşmenin kullanılması bu yaklaşımın önemli bir özelliğidir. Bu yaklaşım, aynı zamanda belirli varsayımlar yapmaktadır. Karıncaların iki boyutlu bir ortamda düz hareketler yaptığı, bir engelle karşılaşıldığında, grubun iki eşit alt gruba bölündüğü yapılan varsayımlar arasındadır.

Çok robotlu sistemlerin kullanım alanlarında biri de sel, yangın, deprem gibi felaket durumlarında ortaya çıkan acil görevlerdir. Bu görevlerde çok robotlu sistemlerin getirdiği avantajlardan faydalanmak için üst seviyede bir koordinasyon gerekmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan birinde (Ostergaard, ve ark., 2001), acil durum görevlerine en uygun robotu dinamik olarak atayan bir görev paylaşırma yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım iki temel faktör üzerine kurulmuştur. Bunlardan biri koordinasyon faktörüdür. Koordinasyon faktörü haberleşme ile yakından bağlantılıdır. Robotların diğer robotlardan haberi olmadığı durumlar bireysellik olarak adlandırılmaktadır. Bireysellik özelliğinin dezavantajı birden fazla robotun aynı acil görevi yapmak istemesidir. Robotlar arası haberleşmenin olduğu durumda ise koordinasyon sağlanarak bu problem giderilmektedir. Bu durum ise birbirini dışlama olarak adlandırılabilir. Bu yaklaşımda, göz önüne alınan diğer faktör ise, bağlılık olarak adlandırılmıştır ve robotların aldıkları görevi bitirene kadar yapması ya da daha verimli yapacağı bir görev için elindeki görevi bırakması arasında karar verme etkeni olarak tanımlanmıştır. Görev paylaşırma aşamasında ise kara tahta olarak kullanılan bir robottan yararlanılır. Bu robot dışındaki takım üyeleri kara tahtaya bilgi yazıp okuyabilmektedirler. Her robot algıladığı alarmın yoğunluğunu göz önüne alarak kara tahtaya belirli değerler yazmaktadır. Alarmı en yoğun olarak algılayan robot, bu alarmı (görevi) alma hakkını kazanmaktadır.

Mataric, ve ark., (2003) belirsizlikler altında çok robotlu sistemler için dinamik görev paylaşırma problemi üzerine önemli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemi için deneysel sonuçlarla desteklenen önemli bir kılavuz ortaya koymaktadır. (Ostergaard, ve ark., 2001), çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da yazarlar koordinasyon ve kabul etme faktörlerine bağlı olarak dört farklı görev paylaşırma yaklaşımı önermişlerdir. Deneysel sonuçları, tüm durumlarda en iyi sonucu üretebilecek bir görev paylaşırma yaklaşımının olmadığını ve

belirsizlik içeren ortamlarda çalışan görev paylaşırma algoritmalarının gürültünün seviyesine göre değişmeleri gerektiğini göstermiştir. Bu sonuç çok robotlu sistemler için görev paylaşırma yaklaşımlarının daha ileri seviyelere taşınması gerekliliğini vurguladığı için önem taşımaktadır.

BÖLÜM 3

EKONOMİ TABANLI YAKLAŞIMLAR

Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda, ekonomi tabanlı yaklaşımlar önemli bir yer tutmaktadır. Ekonomi tabanlı yaklaşımlar ilk olarak Smith (1980), tarafından tanımlanan Kontrat Ağı Protokolü (KAP) ile ortaya çıkmıştır. Daha sonra müzayede tabanlı yaklaşımlar çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda sıklıkla kullanılmıştır. KAP ve müzayede yaklaşımlarını ekonominin temel dinamikleri olarak kullanan market tabanlı yaklaşımlar son yıllarda birçok çok robotlu sistemin koordinasyonu ve görev paylaşırma yaklaşımında kullanılmıştır.

Market tabanlı yaklaşımlar, merkezi ve dağıtık yaklaşımların avantajlarını bir araya getirmektedir. Dağıtık yaklaşımlarda olduğu gibi market tabanlı yaklaşımlarda da her robot kendi yerel bilgisini ve içsel durumunu göz önüne alarak kendi planlarını yapma yeteneğine sahiptir. Dağıtık tabanlı yaklaşımların market tabanlı yaklaşımlara getirdiği avantajlar şunlardır: 1) Ortamda ya da robot takımında meydana gelen değişiklikler karşısında yeniden plan yapma yeteneği robot takımının boyutunun artması ile olumsuz etkilenmemektedir. 2) Robotlardan herhangi birinin başarısız olması durumunda diğer robotlar görevlerine devam etmekte ve tüm sistemin başarısız olması önlenmektedir. Market tabanlı yaklaşımlara merkezi yaklaşımların getirdiği avantaj ise, her robotun bağımsız olarak kendi planlarını yapma yeteneğine sahip olmasının yanında alış-veriş sürecine takım üyeleri de dâhil olabilmesidir. Böylece, görevlerin paylaşırılması esnasında daha fazla bilgi elde edilmekte ve market tabanlı yaklaşımlar en iyi çözüme daha yakın sonuçlar üretebilme şansını elde edebilmektedirler. Market tabanlı yaklaşımların bir diğer avantajı ise gereksinim duyduğu haberleşmenin sınırlı olmasıdır. Genelde, haberleşme sadece görevlerin anons edilmesi, anons edilen görevler için tekliflerin gönderilmesi ve görevleri yapmaya hak kazanan robotlara görevlerin atanması için kullanılmaktadır.

Market tabanlı yaklaşımlarda görev üreticilerin ve tüketicilerin market içindeki pozisyonlarını belirlemek amacıyla iki temel tanım yapılmaktadır. Bu tanımlardan fiyat, üreticinin bir görevin yapılması karşılığında tüketiciye ödeyeceği miktarı belirlemektedir. Maliyet ise, tüketicinin bu görev için harcayacağı kaynak miktarını göstermektedir. Başka bir deyişle, görev üreticiyi etkileyen tüm faktörler fiyat ile gösterilmiştir. Maliyet ise görev tüketici için aynı amaçla kullanılmaktadır.

Market tabanlı yaklaşımlarda görev paylaşırma süreci görev üretici bir robotun takımdaki diğer robotlardan ürettiği görevler için servis ya da ürün istemesi ile başlamaktadır. Üretici bu görevler için kendisine en uygun fiyatları belirlemektedir. Daha sonra, üretici belirlediği bu fiyatlar ile görevleri takımın diğer üyelerine (görev tüketici) anons etmektedir. Her tüketici kendi içsel durumunu ve yerel bilgisini kullanarak bu görevler için birer maliyet belirlemektedir. Daha sonra, tüketiciler fiyat ve maliyetin fonksiyonu ile belirlenen teklifleri üreticiye göndermektedirler. Bu noktada üretici aldığı tüm teklifleri değerlendirerek görev verilecek tüketicileri belirlemektedir.

Market tabanlı yaklaşımlarda, markette bulunan her robot görevler için en iyi teklifi vererek görevi yapmaya hak kazanmaya çalışmaktadır. Bu durumda, robotlar sadece bu işi yapmak için gerekli olan maliyet ile görevleri yapmaya çalışmaktadırlar. Böylece gereksiz maliyetler yok edilerek tüm sistemin kârının en büyüklmesi sağlanmaktadır.

3.1 Geçmiş Çalışmalar

Bu alt bölümde, çok robotlu sistemlerde koordinasyon ve görev paylaşırma problemi için KAP ve görüşme tabanlı, müzayede ve market tabanlı yaklaşımların kullanıldığı çalışmalar tanıtılacaktır.

3.1.1 Kontrat Ağı Protokolü ve görüşme tabanlı yaklaşımlar

Smith (1980), KAP'ı tanımladığında, bu protokolün dağıtık durumda bulunan düğümler arasında yüksek seviyeli bir haberleşme sağlayarak, düğümlerin karmaşık

problemleri birlikte çözmelerini amaçlamıştır. Böylece, düğümlerin yapılacak görevlerin koordinasyon ve kontrolünde çözüme ortak olabileceklerinden bahsetmiştir. Smith, görev paylaşırma problemini, bağlantı problemi olarak tanımlamış ve bu problemde iki etkenin önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu etkenlerden biri kaynak paylaşımıdır. Kaynak paylaşımı, düğümlerin üstleneceği görevlerin eşit şekilde dağıtılmasını amaçlamaktadır. Diğer etken ise verimliliktir. Görevleri en iyi yapabilecek düğüme vermeyi amaçlayan bu etken ile tüm düğümlerin verimliliğinin artacağı söylenmiştir. Düğümlerin hepsinin bulunduğu ortama kontrat ağı adı verilmiş ve görev icra etme hakkına sahip olmak ise kontrat olarak tanımlanmıştır. Kontratlar görev veren (yönetici) ve görevi icra eden (girişimci) arasındaki anlaşmayla yapılmaktadır. Görüşmeler ise görev anonsu, tekliflerin toplanması ve en iyi kontrata karar verilmesi aşamalarını içermektedir.

Lemaire, ve ark., (2004) insansız hava araçlarında görevlerin dağıtık olarak paylaşırılması için Kontrat Ağı Protokolü tabanlı bir mimari önermiştir. Bu çalışmada, yazarlar, kontrat ağı protokolüne iki önemli katkı yapmışlardır. İlk olarak, protokole eşitlik faktörü adını verdikleri bir katsayı ekleyerek hava araçlarının gidecekleri yolları en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Ayrıca, zaman kısıtlı görevlerin paylaşırılmasını sağlamak amacıyla robotlara geçici olarak usta/yardımcı rollerinin verilmesini sağlamışlardır. Bununla birlikte, bir jeton düzeni ile robotlar ellerinde bulunan görevler için görüşmeleri başlatmaktadırlar. Böylece bir anda sadece bir robotun görevleri için görüşme yapılabilmektedir.

Cheng, ve ark., (2007) KAP'ın üç temel kısıtlaması olduğunu ve bunları aşmak için genişletilmiş bir KAP'a ihtiyaç olduğunu savunmuştur. Bu kısıtlamalardan biri, görev anonsunun tüm ağı yapılmasıdır. Yazarlar, ağda bulunan eleman sayısı ve anons edilecek görev sayısı arttıkça, haberleşme yükünün çok fazla artacağını belirtmişlerdir. Bunu önlemek amacıyla belirli bir alanda bulunan robotlara görev anonsunun yapılması, bu alanın ise elde edilen kayıtlara göre belirlenmesi gerektiğini söylemişlerdir. KAP'ın bir diğer kısıtlaması ise, görev verilecek robotun belirlenmesinde sadece tek bir etkenin göz önünde bulundurulmasıdır. Bunu önlemek için yazarlar, çok etkenli karar verme problemini ele almışlardır. Son kısıtlama ise, görevi alan robotun görevi tamamlayana

kadar icra etmesidir. Bunun önüne geçmek için bağlılık ve ceza kavramlarını kararlılığı bozmadan kullanmışlardır.

KAP tabanlı ve görüşme tabanlı yaklaşımlar esasında birbirlerine çok benzer yapıdadır. Aralarındaki fark görevlerin paylaşılmasında görev veren ve görevi icra edenler arasındaki yapıdan kaynaklanmaktadır. M+ (Botelho ve Alami, 1999) çok robotlu sistemlerin koordinasyonunu sağlamak için önerilen genel bir dağıtık mimaridir. Bu mimari, görev paylaşılması, hata tespiti ve görevlerin yerine getirilmesini sağlayan katmanlardan oluşmaktadır. Robotlar diğer robotlar ile yaptığı görüşmelere göre planlama, değerlendirme, aday, en iyi aday ve beklemede gibi içsel durumlar arasında geçişler yaparak bir görev paylaşırma yapısı kurmaktadır.

3.1.2 Müzayede tabanlı yaklaşımlar

Müzayede tabanlı yaklaşımlar görev paylaşırma probleminde ve çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda kolay gerçekleştirilmesi ve yüksek verimlilik sağlanması sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadırlar. MURDOCH (Gerkey ve Mataric, 2000, 2002a) yayımla/abone ol (publish/subscribe) haberleşme modelini kullanmaktadır. Görevleri paylaşırma esnasında, dağıtık ve tek kalemlî müzayede yapısını esas alan bu yöntem, anlık olarak en uygun robota görevlerin atanmasını temel alan fırsatçı bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşım, robotların birbirlerine sadece görev paylaşırken bağlı oldukları zayıf bağlı bir koordinasyon için uzun zamanlı bir senaryoda kullanılmıştır. Ayrıca robotların hem görev paylaşırken hem de görevi icra ederken bağlı oldukları sıkı bağlı bir koordinasyon için de test edilmiştir. Bununla birlikte, robot başarısızlıklarını da ele alan bu çalışma, oldukça popüler görev paylaşırma yaklaşımlarından biridir.

Koenig, ve ark., (2006) sıralı, tek kalemlî müzayede yöntemlerini kullanarak çok robotlu sistemlerin koordinasyonunu sağlamışlardır. Bu müzayede tipinde, görevler tek olarak müzayedeye çıkmasına rağmen, robotlar bu görev için teklif verirken daha önceden aldıkları görevleri de hesaba katmaktadırlar. Ayrıca, tüm robotların gittikleri toplam yolların en küçüklenmesi amaçladığında, en iyi çözüme belirlenmiş bir yakınlıktaki çözümleri polinom zamanlı olarak elde edebilmektedir. Tovey, ve ark.,

(2005) müzayede tabanlı yaklaşımlar için üç temel amaç fonksiyonu tanımlamıştır. Bunlar, robotların gittiği toplam yolun en küçüklenmesi, robotlar tarafından gidilen en uzun yolun en küçüklenmesi ve tüm robotlar tarafından gidilen ortalama yolun en küçüklenmesidir. Bu şekilde tanımlanan amaç fonksiyonları ile robotlar herhangi merkezi bir kontrolöre ihtiyaç duymadan koordine edilebilmiştir. Ancak, bu durumda her robotun gönderdiği tekliflerin diğer robotlar tarafından bilinmesi gerekmektedir. Böylece, her robot kendi için en kârlı görevi seçebilecektir.

Tekrarlı, paralel ve tek kalemlı müzayede yönteminde (Dias, 2004) her görev ayrı ve diğer görevlerden bağımsız olarak müzayedeye sunulmaktadır. Müzayede belirli zaman aralıkları ile tekrar edilmektedir. Bu belirli zaman aralığı dolduğunda, tüm robotlar diğer robotlarla tek kalemlı müzayedeleri başlatmaktadırlar. Bu durumda, robotlar ellerindeki görevleri değiştirme şansı elde ederek kendilerinin ve tüm takımın yararını en büyükmeye çalışmaktadırlar.

Berhald, ve ark., (2003) tarafından önerilen kombinasyon sal müzayede yönteminde, seyrüsefer görevlerinin kombinasyonlarına tek seferde teklif gönderilerek bu görevlerin robotlara paylaşılması sağlanmaktadır. Bu yöntemde, robotlar teklifleri oluştururken hedefler arasındaki gezinme sıralarını da hesaba kattıkları için en iyi çözümü elde etmektedirler. Bu yöntemin dezavantajı ise hesaplama karmaşıklığından dolayı sonuçların elde edilmesi uzun sürmektedir. Bununla birlikte, robot takımının boyutlarının ya da ziyaret edilecek hedeflerin artmasıyla çözüm üretme süresi önemli ölçüde uzamakta ve gerçek zamanlı uygulamalar için verimlilik düşmektedir.

Gerçek zamanlı uygulamalarda da müzayede tabanlı yaklaşımlar sıklıkla kullanılmaktadır. Saniel ve Balch (2005), değişken ortamlarda çok robotlu keşif görevi için müzayede tabanlı bir görev paylaşırma yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşımda, yazarlar, gerçek zamanlı uygulamaların gerekliliklerini göz önüne alarak toplam yolun en küçüklenmesini sağlayacak sezgiseller kullanmışlardır. Bununla birlikte, ortamdaki değişiklikler sebebiyle yapılan planlarda değişiklikler gerekmektedir. Bu durumda, tüm planların tekrar yapılması yerine mevcut ana kadar yapılan atamaları eleyen bir yöntem izlemişlerdir. (Saniel ve Balch, 2006) çok robotlu sistemler için görev paylaşırma,

işbirliği mekanizması ve robot başarısızlıklarını önleyen fonksiyonları içeren ve DEMİR-CF olarak adlandırılan bir mimari önermişlerdir. (Sariel, ve ark., 2008) çalışmalarında ise önerdikleri bu mimariyi sualtı mayın tarama görevlerinde kullanmış ve verimliliğini göstermişlerdir.

3.1.3 Market tabanlı yaklaşımlar

Stentz ve Dias, (1999) yaptıkları çalışmada, market tabanlı yaklaşımlarla ilgili ilk tanımlamaları yapmışlardır. Robot takımındaki üyelerin maliyet ve kârı belirleyen fonksiyonlara nasıl karar vermeleri gerektiğini, market yapısında alış-veriş sürecinin önemini ve görevlerin fiyatlarının nasıl belirleneceğini, robot takımının değişen ortam ve robot takımı koşullarına göre kendini nasıl tekrar konumlandıracağını, bu konumlandırma sırasında öğrenme ve adaptasyonun önemini tartışmışlardır. Ayrıca, altın bulma uygulamasını kullanarak bu kavramların etkilerini göstermişlerdir.

Dias ve Stentz (2000), dağıtık algılama görevinde market tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu çalışmada, robotlara ortamın haritası ve gezilecek noktalar arasındaki mesafeler verilmiştir. Böylece robotların ve robot takımının maliyet fonksiyonlarının kat edilen yollar cinsinden hesaplanabilmesi sağlanmıştır. Santral yöneticisi (operator executive) olarak adlandırılan yazılımsal erkin robot takımı ve kullanıcı arasındaki iletişimi sağlayan bir ara yüz olarak tasarlanmıştır. Bu yazılım ile kullanıcı, robot takımı ile ilgili parametreleri değiştirebilmekte ve robotlara ilk görev atamalarını yapabilmektedir. Bu atamalarda, her robotun her ziyaret noktası için teklif verebilmesi sağlanmakta ve ziyaret noktaları için en yüksek teklifi veren robotlara görevler atanmaktadır. Tüm ziyaret noktaları bu esasa göre robotlara atandıktan sonra robotlar kendi aralarında görüşmelere başlayarak planlarına son halini vermektedirler. Elde edilen benzetim sonuçları, market tabanlı yaklaşımların verimliliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Thayer, ve ark., (2000) çalışmalarında fırsatçı eniyileme kavramını ortaya atmışlardır. Bu kavram, robotun bir fonksiyonunun çalışmaz hale geldiği durumlarda diğer fonksiyonlarından yararlanabileceği üzerine kurulmuştur. Örneğin, herhangi bir

problem nedeniyle robot hareket edemez duruma gelirse, bu robotun hesaplama ve algılama gibi diğer yeteneklerinden faydalanılabilir. Ayrıca, fırsatçı eniyileme kavramında, robotların koşullar değiştiğinde ve kendileri için daha kârlı görevler ortaya çıktığında bu görevleri kabul etmeleri ön plandadır. Böylece, robotların değişken ortamlara kolaylıkla adapte olmaları sağlanmaktadır. Robotların bahsedilen bu kavrama uygun hareket edebilmelerini sağlamak amacıyla dört katmanlı bir mimari önerilmiştir. En alt katmanda robotun algılama, hesaplama ve hareket etmek için kullandığı kaynaklar bulunmaktadır. Bir üsteki katmanda robotun yapabileceği roller yer almaktadır. Bu roller esasında robotun kapasite ve yeteneklerini tanımlayan yazılımsal modüllerdir. Rollerin bulunduğu katmanın üstünde görevler bulunur. Görevleri yapmak için gerekli olan roller bu katmanda tanımlanmıştır. Örneğin bir robota bilgi gönderme görevi için, robotun haberleşme rolünde olması gerekmektedir. En üst katmanda robotun içsel durumunu ve robotlar arası koordinasyonu sağlayan bir yönetici katmanı bulunmaktadır.

Dias ve Stentz (2001), yaptıkları çalışmada, günümüzde, birçok karmaşık ve çeşitli problemde, görevlerin hızlı tamamlanması, daha gürbüz sistemlerin elde edilmesi, çözüm kalitesinin artırılması ve tek robotlu sistemler tarafından yapılamayan görevlerin yerine getirilmesi amacıyla çok robotlu gezgin robot sistemlerin, tek robotlu robot sistemlere göre daha fazla tercih edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, çok robotlu sistemlerin kullanım alanlarını ve bu sistemlerin gerekliliklerini tanımlamışlar, çok robotlu sistemlerin tek robotlu sistemlere göre birçok alanda daha verimli olduklarına dikkat çekmişlerdir. Bununla birlikte, market tabanlı koordinasyon yaklaşımını çoktörel robot takımları ve bu robotların üstlendikleri değişik roller için iki farklı alanda uygulamış ve verimliliğini göstermişlerdir.

Zlot, ve ark., (2002) market tabanlı bir yaklaşım kullanarak kısmi olarak bilinen bir ortamda harita çıkarma görevini yerine getirmişlerdir. Bu yaklaşımda, robotlara ilk görev atamaları belirli stratejiler kullanarak yapılmaktadır. Bu noktadan sonra robotlar ellerinde bulunan her görevi anons ederek, bu görevleri daha uygun olan takım arkadaşına vermeye çalışmaktadır. Robotlar görevler için maliyeti kat ettikleri yol cinsinden belirlemişlerdir. Izgaralara ayrılmış ortamda, her hücre bilinmeyen, boş,

engelli gibi özellikler taşımaktadır. Robotlar elde edecekleri kâra, izledikleri yol üzerindeki boş hücreleri hesaplayarak karar vermektedirler. Robotlar anons ettikleri görevler için daha iyi bir teklif gelmediği durumda listesinde bulunan ilk görevi yerine getirmeye başlamaktadırlar. Robotlar her hedef noktasında ellerindeki görevleri tekrar anons ederek robot takımının değişikliklere karşı gürbüz ve verimli olmasını sağlamaktadırlar.

(Dias ve Stentz, 2002a; 2002b) yaptıkları çalışmalarda, market tabanlı yaklaşımlarda yapılan görüşmelerin bir çift robot tarafından ve bir görev için yapılmasının, bu yaklaşımların en iyi çözüme ulaşmasını kısıtladığını öne sürmüşlerdir. Bu durumun üstesinden gelmek için bir lider rolü ortaya çıkarmışlardır. Bu rol, bir grup robotun planlarını gözden geçirerek bu planları en iyiye yaklaştırmak için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, bir robot takımında birden fazla lider robot olabileceği ve bu liderler arasında grup planları seviyesinde görüşmeler yapılabileceği söylenmiştir. Böylece, market tabanlı yaklaşımların en iyi çözümü oluşturma yetenekleri artmaktadır.

Goldberg, ve ark., (2003) çalışmalarında üç katmanlı (davranış, yönetici ve planlama) bir mimari kullanmışlardır. Davranış katmanı robotun davranışlarını gerçekleştirmekte, yönetici katmanı görevlerin yapılması esnasında robotlar arası eş zamanlama ve koordinasyonu sağlamakta ve planlama katmanında ise market tabanlı bir yapı kullanılarak görevleri kaynaklara atanmaktadır. Planlama katmanında iki temel bileşen bulunmaktadır. Bunlardan biri aracı olarak adlandırılmakta ve görevleri anons etmek ve anons edilen görevlere teklif yollamaktan sorumlu olmaktadır. İş düzenleyicisi ise aracı için görevlerin uygunluğuna ve maliyetine karar vermekte ve görevlerin yapılması esnasında yönetici katmanla birlikte çalışmaktadır. Bu mimari, robotlar arasında değişik seviyelerde koordinasyon ve eş zamanlama sağladığı için çok robotlu sisteme geniş bir esneklik katmaktadır. Ayrıca, şartların uygun olduğu durumlarda çeşitli seviyelerde eniyileme yaklaşımları kullanarak yapılan görev-robot atamalarını iyileştirmektedir. Dias ve Stentz (2003), çalışmalarında bu üç katmanlı mimariyi aracı robotlar (TraderBots) olarak adlandırmış ve detaylarını anlatmışlardır.

(Dias, et al., 2003) çalışmasında aracı robotlar mimarisini bir gezegen ortamında bulunan değişik taşları toplama görevi için uygulamıştır. (Dias et al., 2004) yaptıkları çalışmada, değişken ortamlarda ve robotların kısıtlı bilgiye sahip olduğu durumlarda, aracı robotlar mimarisinin karmaşık görevleri market tabanlı bir koordinasyon yapısı kullanarak başarı ile yaptığını göstermişlerdir. Ayrıca, bu çalışmada, mimarinin gerçekleşmesi esnasındaki detayları da incelemişlerdir. Esasında bu mimari dört soyut katmandan oluşmaktadır. En alt katmanda motorlar, adım sayıcılar, lazer ve ses üstü mesafe algılayıcıları gibi donanımlar bulunmaktadır. Donanım katmanının bir üstünde, donanımlardan aldıkları verileri toplayan, yorumlayan ve donanımlara gerekli komutları veren bir donanım soyutlama katmanı bulunmaktadır. Bu katmanın üstünde, robotların otonom olarak hareket etmelerini sağlayan bir katman bulunmaktadır. Bu katmanda, Veri Sunucu ve Görev Yapıcı olarak adlandırılan iki modül bulunmaktadır. En üst katmanda ise robotlar arası haberleşmeyi sağlayan aracı bulunmaktadır. Aracı katmanı bu mimarinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Yönetici (OpTrader) ve Robot (RoboTrader) olarak adlandırılan araçlar yardımıyla robotlar arası koordinasyon sağlanmaktadır. Önerilen Aracı Robot mimarisi dağıtık algılama görevini yerine getirmek amacıyla gerçekleştirilmiş ve verimliliği gösterilmiştir.

(Zlot ve Stentz, 2003) market tabanlı yaklaşımların karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabileceğini söylemişlerdir. Bu noktada çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda görevleri robotlara anlık olarak dağıtan, planlayan ve yapan bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımda, karmaşık bir görevin geleneksel görev ayrıştırma teknikleri kullanılarak alt görevlere ayrılabilmesini savunmuşlardır. Böylelikle, görevler hiyerarşik bir düzen içinde görev ağaçları yardımıyla gösterilebilmektedir. Ağaç yapısının en üst düğümünde (kök) karmaşık görev en soyut halde bulunmaktadır. Ağacın yapraklarına doğru ilerledikçe görevlerin soyutlanma seviyeleri düşmektedir. En alt düğümlerde (yaprak) görevler basit davranışlar halinde bulunmaktadırlar. Kök ve yapraklar arasında değişik soyutlama seviyelerinde bulunan görevler arasındaki ilişkiler VE/VEYA operatörleri yardımıyla oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda, görevler için yapılan müzayedeler ağaçlar kullanılarak yapılmaktadır. Bir müzayede duyurulduğunda robotlar ağaçta bulunan her görev için bir maliyet hesaplamaktadırlar. Daha sonra, robotlar kendileri için kârlı olacak görevler için teklif

göndermektedirler. Müzayedeyi açan robot özel bir müzayede sonlandırma yaklaşımı kullanarak polinom zamanda en iyi robot-görev eşleşmesini bulmaktadır. Önerilen yaklaşım, robot takımının geniş bir alanda yer alan ve daha önceden belirlenen bölgelere giderek bu bölgeleri gözlemlenmesi görevinde uygulanmıştır.

(Stentz, ve ark., 2004; Zlot ve Stentz, 2005, 2006) yaptıkları çalışmada karmaşık görevler için görevlerin alt parçalara ayrıştırılması, robotlara atanması ve yapılması esnasında iki farklı yaklaşım olabileceğini savunmuşlardır. Bu yaklaşımlardan birinde, bilinmeyen bir ortamın haritasının çıkarılması ya da dağıtık algılama gibi görevlerde, görevlerin bağımsız alt görevlere ayrıştırılabileceğini ve ayrı robotlar tarafından yapılabileceğini söylemişlerdir. Bununla beraber, bir alanın keşfi görevinde, ayrıştırılan alt görevlerin birden fazla robot ile yapılması gerekebilir. Bu durumda, görevlerin ayrıştırılması esnasında da robotlar arasında bir koordinasyon gerekebilmektedir. Ayrıca, robotlar ağaçta bulunan tüm görevler ve onların kombinasyonları için teklif gönderdikleri için gelen tekliflerin değerlendirilmesi oldukça güçtür. Bu durumun üstesinden gelmek amacıyla gelen teklifler kümelenmiş ve değerlendirilmesi kolaylaştırılmıştır.

(Kalra, ve ark., 2005a; Dias, ve ark., 2005) yaptıkları geniş kapsamlı analiz ve araştırmada çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda market tabanlı yaklaşımları ele almışlardır. Market tabanlı yaklaşımların doğal mekanizmalarından olan müzayede yöntemlerini incelemişlerdir. Bununla birlikte, anlık görev paylaşılması, rol atamaları, görevler arasındaki kısıtları göz önüne alarak yapılan görev paylaşmalarını, çok robot gerektiren görevlerin paylaşılması gibi çok geniş bir yelpazede yer alan görev paylaşırma problemlerini irdemişlerdir. Daha sonra, benzer incelenmeyi görevlerin ayrıştırılması ve yapılması esnasında da yapmışlardır. Ayrıca, market tabanlı yaklaşımları, çözüm kalitesi, ölçeklenebilirlik, değişken ortam ve durumlar gibi ölçütleri göz önünde bulundurarak analiz etmişlerdir.

Jones, ve ark., (2006a) yaptıkları çalışmada, felaket durumlarında görev paylaşırma amacıyla market tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Yangın, sel ve deprem gibi felaketlerde çok robotlu sistemlerin verimli olarak kullanılması için bazı

temel zorlukların üstesinden gelinmesi gerektiğini savunan yazarlar bu zorlukları tek tek ele almışlardır. Bu zorluklardan ilki, görev paylaşırma yönteminin anlık ve dinamik olarak oluşan yeni olaylara çok acil olarak cevap verebilir olmasıdır. Bir diğere zorluk, robotlar tarafından ele alınacak görevlerin değişik aciliyet ve öneme sahip olmasıdır. Son olarak, görevlerin belirli bir sürede tamamlanması gerekmektedir. Bu noktada, felaket durumunda yapılacak görevlerde zaman ve önem faktörleri öne çıkmaktadır. Önerilen yaklaşımda, yazarlar geleneksel market tabanlı yaklaşımları öğrenme kavramı ile zenginleştirerek, görev paylaşırma esnasında ilerde gelişebilecek durumları tahmin etmeye çalışmışlardır. Böylece robotlar, daha iyi atamalar yaparak felaket durumunda ortaya çıkabilecek zararları en aza indirmeye çalışmaktadırlar.

(Gerkey ve Mataric, 2002b) yaptıkları çalışmada gerçek ekonomilerde insan topluluklarının nasıl hareket ettiklerini incelemişlerdir. Bu incelemede, bir ürün ya da servis için fiyat üzerinden bir karar verme sürecinin olduğu fark edilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada, fiyatı belirleyen iki faktörün maliyet ve kalite olduğunu belirtmiştir. Genelde, insanların maliyeti enküçüklemeye ve kaliteyi enbüyüklemeye çalışarak ortak bir fiyat üzerinde anlaşmaya çalıştıklarını vurgulanmıştır. Genel market teorisinde, markette bulunanlar tarafından alınan geri besleme yardımıyla fiyat sürekli olarak değişmektedir. Bu süreç sonunda fiyatın markette bulunan herkes için en uygun olduğu denge noktasına ulaşacağı bilinmektedir. Bu yapının çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma yaklaşımlarında kullanılabileceği savunulmuş ve temel bir model oluşturulmuştur.

(Schneider, ve ark., 2005) okyanusların, kutup bölgelerinin ve diğere gezegenlerin keşfinde market tabanlı yaklaşımların etkili bir biçimde kullanılabileceğini savunmuşlardır. Önerilen yaklaşımda, market içinde kullanılan müzayede yönteminde maliyeti yerine kâr tabanlı bir yapı sunulmaktadır. Bu durumda, robotlar müzayede aşamasında bir miktar ödeme yaparak görevi yapma şansını elde etmekte ve görevin tamamlanması sonucunda elde ettikleri kârın tamamı kendilerine kalmaktadır. Bununla birlikte, gezegen ve okyanus gibi belirsizlikler içeren ortamlarda görevlerin yapılma sürelerinin ve harcanacak enerjilerin doğru olarak tahmin edilmesinin zor olduğu söylenmiştir. Bunun sebepleri arasında zemin üzerindeki sürtünme, çukur vs gibi ortam

şartları gösterilmiştir. Bu durumda, robotların tahmin ettiği görev tamamlama süreleri ile görevin gerçekten tamamlanması için gereken süre arasında bir fark oluşmaktadır. Robotların bu farkı ortadan kaldırebilmeleri için bir öğrenme mekanizması önerilmiştir. Böylece robotların zaman içinde buldukları ortam şartlarını göz önüne alarak tahmin yapmaları sağlanmıştır.

Kalra, ve ark., (2005b) iki robot ile kutu taşıma gibi görevlerde robotlar arasında sıkı bir koordinasyon olması gerektiğini savunmuşlardır. Önerdikleri (Hoptiles) donanımlı robot yaklaşımında, robotların koordinasyon stratejilerini değişen ortam şartlarına uygun olarak adapte etmeleri ön görülmüştür. Bu noktada iki tip koordinasyon önermişlerdir. Pasif koordinasyon tipinde, robotlar takım arkadaşlarının hareketlerine anında tepki göstererek kapalı bir biçimde onları etkilemektedirler. Örneğin, bir kutu taşıma görevinde robotlardan biri kutuyu ileri doğru hareket ettirdiğinde, diğer robot bu hareketi algılayarak yapması gereken davranışa karar vermektedir. Bu koordinasyon tipinde açık bir haberleşme yoktur. Aktif koordinasyon tipinde ise, robotlar birbirlerini anons ettikleri ya da yaptıkları görevler vasıtasıyla etkilemektedirler. Bu noktada robotlar müzayede yöntemleri kullanarak açık bir şekilde haberleşmektedirler. Önerilen yaklaşım güvenlik görevine uygulanmış ve etkinliği gösterilmiştir.

(Jones, ve ark., 2006b) günümüzde robotların birleştirilmiş roller sergilediklerini söylemişlerdir. Robotların bu rolleri yapabilmeleri için dinamik olarak çoktörel takımlar oluşturmaları ve görevlerin yapılması esnasında sıkı bir koordinasyon içinde olmaları gerekmektedir. Önerilen bu yaklaşım avlanma görevinde uygulanmıştır. İki farklı tipte robotun kullanıldığı uygulamada, robotlardan biri av ararken diğeri de ortamın haritasını çıkarmakla sorumlu olmuştur. Bu avlanma görevinde, robotların her ikisinin de bulunmasının zorunlu olduğunu vurgulanmıştır. Önerilen yaklaşım oyun, rol ve görevler seviyesinde koordinasyon sağlamaktadır. Bu alandaki bir diğer çalışma Vig ve Adams, (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda koalisyon oluşturma olarak adlandırılan sınıfa girmektedir. Yazarlar RACHNA adını verdikleri mimaride kombinasyonel tipindeki müzayedeleri sonlandırmak için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Tang ve Parker, (2007) yaptıkları

çalışmada çok robotlu sistemlerde koordinasyonu iki seviyede ele almışlardır. Sıkı koordinasyon gerektiren görevler için düşük seviyeli koalisyon oluşturma tekniğini kullanırken, robotların tek başlarına yapabilecekleri görevler için ise yüksek seviyeli ve geleneksel görev paylaşırma yaklaşımlarını kullanmışlardır. Böylece her iki tip koordinasyon yöntemi için görev paylaşırma yaklaşımlarını bir çatı altında toplamışlardır. ASyMTRe-D olarak adlandırdıkları yaklaşımı belirli alanların temizlenmesi görevinde gerçekleştirmişlerdir. Çeşitli boyut ve ağırlıktaki engellerin bulunduğu ortamların temizlenmesi için bu engellerin belirlenen ortak bir yere robotlar tarafından taşınmaları gerekmektedir. Robotlar engellerin durumuna göre tek başlarına ya da diğer robotların yardımıyla engelleri taşımaktadırlar.

Viguria, ve ark., (2007) çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda TG-TR-ZYA olarak sınıflandırılan görev paylaşırma problemine çözüm aramışlardır. Bu yaklaşımda, robotların gelen yeni görevleri görev listelerinde en uygun yere yerleştirmeleri için Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ele alınmıştır. Problemin çözümünde hesaplama maliyetini düşürmek amacıyla bir sezgisel kullanılmıştır. Gelen yeni görevler için son birim maliyeti hesaplanarak teklif gönderilmiştir. Bununla birlikte, bu alanda kullanılan geleneksel yaklaşımların aslında en iyi çözümü üretemeyecekleri savunulmuştur. Bu durumu önlemek için, yazarlar görevleri soyutlanmış halde anons edip, teklif gönderecek olan robotlara daha çok bilginin akmasını sağlamışlardır. Böylelikle, robotlar gelecek hakkında daha çok bilgiye sahip oldukları için en iyi çözümü üretme şansı yakalamışlardır. Önerilen yaklaşım, belirli noktaları ziyaret etmeye dayanan görevler ile uygulanmıştır. Bu mimari (Viguria, ve ark., 2008) çalışmasında genişletilmiştir. Önerilen yaklaşım, bir görevin yapılmasında diğer robotlardan servis istemenin daha kârlı olup olmadığına karar vermek üzerine kurulmuştur. Görevi müzayedeye sunan robot diğer robotlardan servis istemenin daha kârlı olacağına karar verdikten sonra ikinci bir müzayedeye başlatarak bu görev için en uygun robotu belirler. Bu yaklaşım, belirli bir verinin belirlenen bir merkeze gönderilmesi görevinde uygulanmıştır. Robotların merkeze veri göndermesi için belirli bir alanın içinde olması gerekmektedir. Bu noktada verilmesi gereken karar, bu belirli alana girmek için kat edilecek yol veya bu alan içindeki başka bir robota verileri aktaracak kadar haberleşme yükünden hangisinin daha kârlı olacaktır.

BÖLÜM 4

ÖNERİLEN YAKLAŞIM

Bu kısımda, önerilen yaklaşımla birlikte market tabanlı görev paylaşırma problemine yapılan katkılar anlatılacaktır. İlk olarak, bu çalışmada kullanılan market tabanlı görev paylaşırma yönteminde yer alan üretici ve tüketici rolleri, genel robot kontrol mimarisi ve alış-veriş süreci detaylı olarak verilecektir.

Alış-veriş sürecinde üretici ve tüketicilerin pozisyonlarının belirlenmesinde kullanılan fiyat ve maliyete nasıl karar verildiği market tabanlı yaklaşımlarda önemli bir konudur. Robotların sahip oldukları tek şeyin enerji olduğu kavramından yola çıkılarak bir görevin fiyatı ve maliyetinin hesaplanmasında bir robot platformunun güç modelinden yararlanılmaktadır. Bir robot platformunun hangi kaynaklar için güç harcadığı detaylı olarak anlatılacaktır.

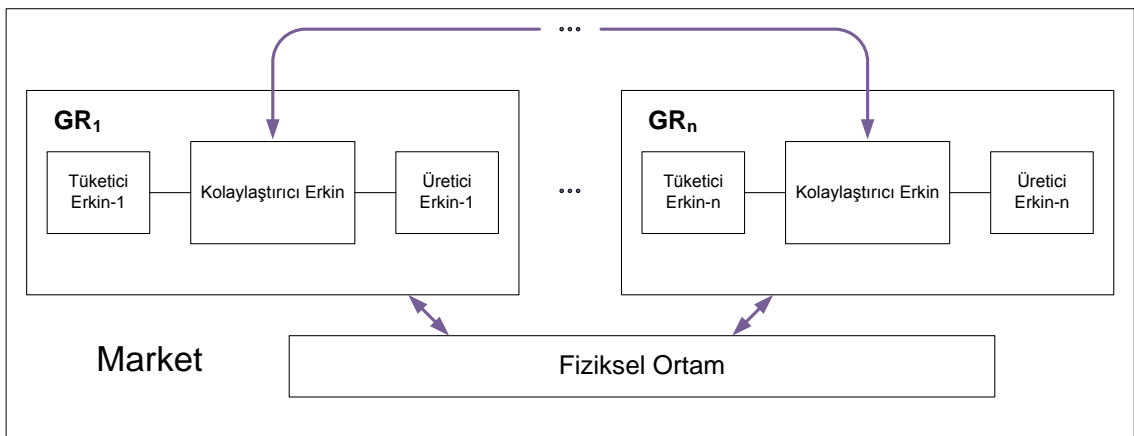
Görev paylaşırma problemi esasında hangi robotun hangi görevi yapacağını belirlenmesidir. Bu kararın verilmesi için, market tabanlı yaklaşımların içinde müzayede mekanizmaları işletilmektedir. Bu noktada, karar müzayedenin sonunda müzayede sonlandırma algoritmaları olarak adlandırılan yaklaşımlar kullanılarak verilmektedir. Bu çalışmada, GEYTSAR ve REYTSAG olarak adlandırılan iki sezgisel ve bir tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı incelenecektir. Ayrıca, görev paylaşırma problemi aslında robotları görevlere atama problemi olarak da kabul edilebilir. Bu noktada, en iyi görev-robot eşleşmelerini bulmak amacıyla Macar algoritması kullanılmaktadır.

Market tabanlı yaklaşımlara bir diğerk katkı ise, keşfederek öğrenme kavramıdır. Bu kavram, bir görevin tekrar tekrar icra edilmesi sonucunda, bu görevin yapılması için gereken sürenin azalması üzerine kurulmaktadır. Bu çalışmada, keşfederek öğrenme kavramı market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımına eklenmektedir.

Son olarak, markete giren görevler için herhangi bir sebepten dolayı uygun robot olmadığı durumda, yapılamayan görevlerin akıllı bir şekilde markete tekrar dâhil edilmesi gerekmektedir. Önerilen akıllı sistem kara tahta problem çözme yaklaşımından esinlenmektedir. Bu sistem, kara tahta ile birlikte veri tabanı ve kontrol modüllerini de içermektedir. Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS) olarak adlandırılan sistem önerilen market tabanlı yaklaşıma eklenmektedir. Bu bölümün alt bölümlerinde bahsedilen katkılar sırasıyla anlatılacaktır.

4.1 Market Tabanlı Görev Paylaştırma Algoritması ve Alış-Veriş Süreci

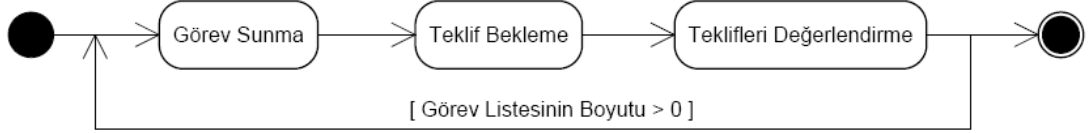
Gezgin robot uygulamalarında algılama, konumlandırma, hareket planı, alt seviye kontrol ve kullanıcı ara yüzü gibi birçok modülün kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan uygulamaya da bağlı olarak birçok değişik robot kontrol mimarisi bahsedilen modüllerin kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma probleminde robotların yerel kontrolü için erkin tabanlı bir kontrol mimarisi önerilmektedir. Bu mimari, robotların kontrolünde her biri özel bir amaç için tasarlanmış yazılımsal erkinler içermektedir. Önerilen mimari Şekil 4.1’de verilmektedir. Kesikli çizgilerle gösterilen dikdörtgenler içinde bulunan n tane çoktörel gezgin robot markette yerini almaktadır. Robotun içinde yer alan her dikdörtgen ise yazılımsal erkinleri tanımlamaktadır.



Şekil 4.1 Robot Kontrol Mimarisi

Önerilen mimaride, her robot iki yazılımsal erkinine sahiptir: Üretici Erkin ve Tüketici Erkin. Bu erkinler tasarım sırasında belirlenen görevleri yerine getirmek üzere kullanılmaktadır. Erkinlerin belirlenen görevleri yapmaları sırasında robot içerisindeki veya diğer robotlarda bulunan erkinlerle haberleşmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, erkinlerin birbirleri arasında mesajlaşmalarını sağlamak amacıyla Açık Erkin Mimarisi (Open Agent Architecture, AEM) kullanılmaktadır (Open Agent Architecture, 2010). Bu çerçevede, kolaylaştırıcı erkin, erkinlerin ilgilendikleri mesajları kabul etmelerini sağlayan içerik tabanlı bir yapı sağlamaktadır. Yazılımsal erkinlerin detayları aşağıda verilmektedir.

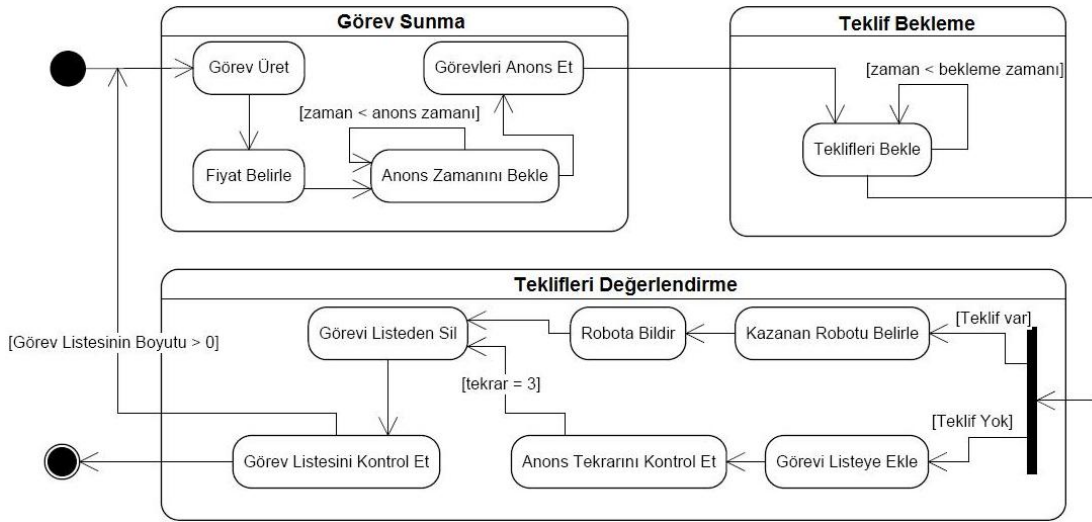
Üretici Erkin: Üretici erkin markete görev sunmak ile görevlendirilmiştir. Daha sonra markete sunduğu görevler için tüketici erkinlerden gelecek olan teklifleri beklemektedir. Son olarak, gelen teklifleri değerlendirerek hangi görevi hangi robota vereceğine karar vermektedir. Üretici erkinin üç temel durumu Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Üretici Erkin Durum Diyagramı

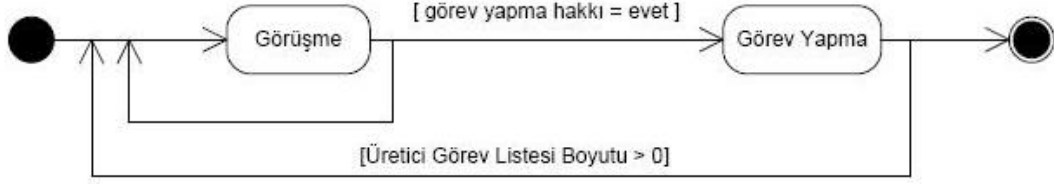
Üretici Erkin, markete görev sunma aşamasında, görevleri üretmektedir. Görevlerin üretilmesi esnasında, görevlerle ilgili olan temel parametreler belirlenmektedir. Ayrıca, bu görevler için uygun fiyatlara da karar verilmektedir. Görevler oluşturulduktan sonra, rastsal olarak belirlenen anons etme zamanına kadar beklenmektedir. Bu zamana ulaşıldığında görevler diğer robotlara anons edilmektedir. Bu noktada, üretici erkin teklif bekleme aşamasına geçmektedir. Bu aşamada, daha önceden belirlenmiş olan ve bekleme süresi olarak adlandırılan süre boyunca robotlardan gelecek olan teklifleri beklenmektedir. Bekleme süresi dolduğunda, üretici erkin teklif değerlendirme olarak adlandırılan son aşamaya geçmektedir. Bu aşamada, ilk olarak, daha önceden belirlenen müzayede sonlandırma algoritmalarını kullanarak hangi görevin hangi robota verileceğine karar verilmektedir. Daha sonra görevi

yapmaya hak kazanan robotlara bu durum bildirilmekte ve ilgili görev üretici erkinin görev listesinden silinmektedir. Eğer görev herhangi bir robota verilememiş ise, bu görev daha sonra anons edilmek üzere üretici erkinin görev listesinin sonuna eklenmektedir. Bir görev, üç kere anons edildikten sonra herhangi bir robota verilemezse, o görev üretici erkinin görev listesinden kaldırılmaktadır. Üretici erkinin detaylı durum diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Üretici Erkin Durum Diyagramı (Detaylı)

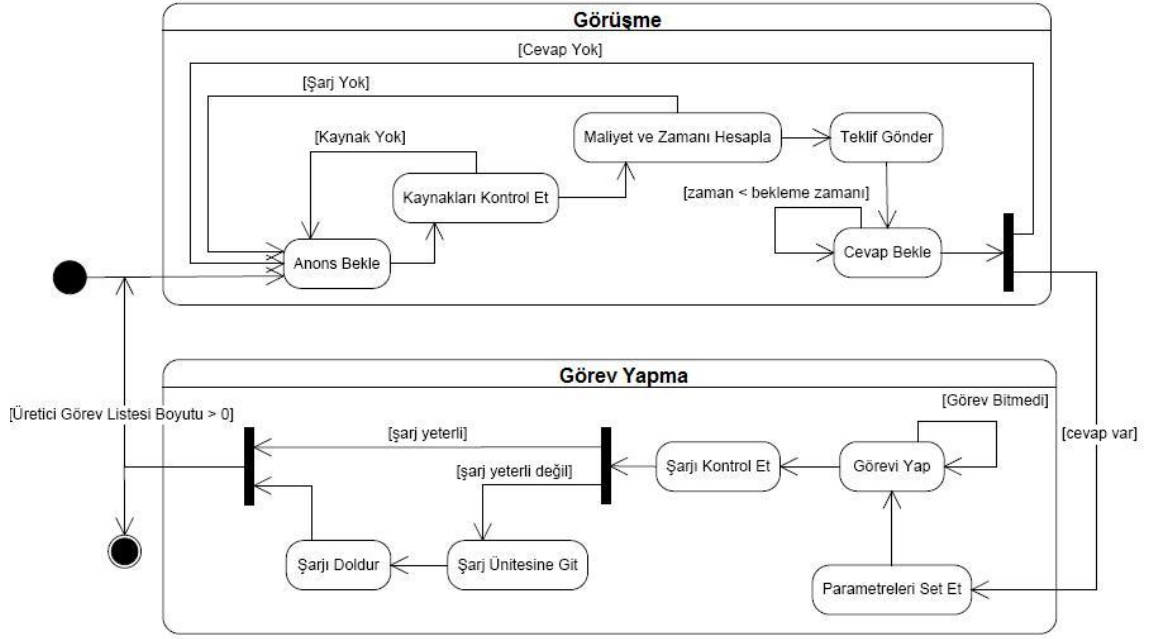
Tüketici Erkin: Tüketici Erkin, Üretici Erkin tarafından markete sunulan görevlere servis sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Tüketici Erkin iki temel durumda bulunmaktadır. Bunlardan ilki, görevleri yapmaya hak kazanmak amacıyla gerçekleştirilen görüşme durumudur. Eğer tüketici erkin görevi yapmaya hak kazanırsa, bu noktadan sonra görevi yapma durumuna geçmektedir. Bu süreç, bütün Üretici Erkinlerde anons edilecek görev kalmayınca kadar devam etmektedir. Tüketici Erkinin bulunduğu iki temel durum Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Tüketici Erkin Durum Diyagramı

Tüketici erkin görüşmelere başlamak için üretici erkinlerden gelecek olan görev anonslarını beklemektedir. Görev anonsun geldiğinde, robot görev yapma durumunda değilse ve enerjisi bittiği için şarj dolun ünitesinde bulunmuyorsa bu görev anonsunu kabul etmektedir. Bu durum görüşmenin ilk aşaması olarak kabul edilmektedir. Daha sonra tüketici erkin görev için gerekli olan kaynaklar (yetenek, fiziksel donanım) ile kendi kaynaklarını karşılaştırmaktadır. Eğer kaynaklar yeterli ise, tüketici erkin bu görevin maliyetine ve süresine kendi içsel durum ve bilgisine göre karar vermektedir. Robotun şarjı görevi bitirebilecek düzeydeyse, robot bu görev için teklif göndermeye karar vermektedir. Daha sonra tüketici erkin, görevin fiyatından kendi bulduğu maliyeti çıkararak bu görevden ne kadar kâr sağlayacağını bulmakta ve bu değeri teklif olarak görevi anons eden üretici erkine göndermektedir. Bu kısım ise, görüşmenin ikinci aşamasıdır. Bu noktada, tüketici erkin, üretici erkinin görevler için topladığı teklifleri değerlendirmesi ve karar vermesi için daha önceden belirlenmiş bir süre beklemektedir. Eğer bu sürenin sonunda tüketici erkin görev yapmaya hak kazanamamış ise, üretici erkinlerden görev anonsu bekleme aşamasına geri dönmektedir. Diğer taraftan, robot görev yapmaya hak kazanmış ise, görev yapma durumuna geçmektedir.

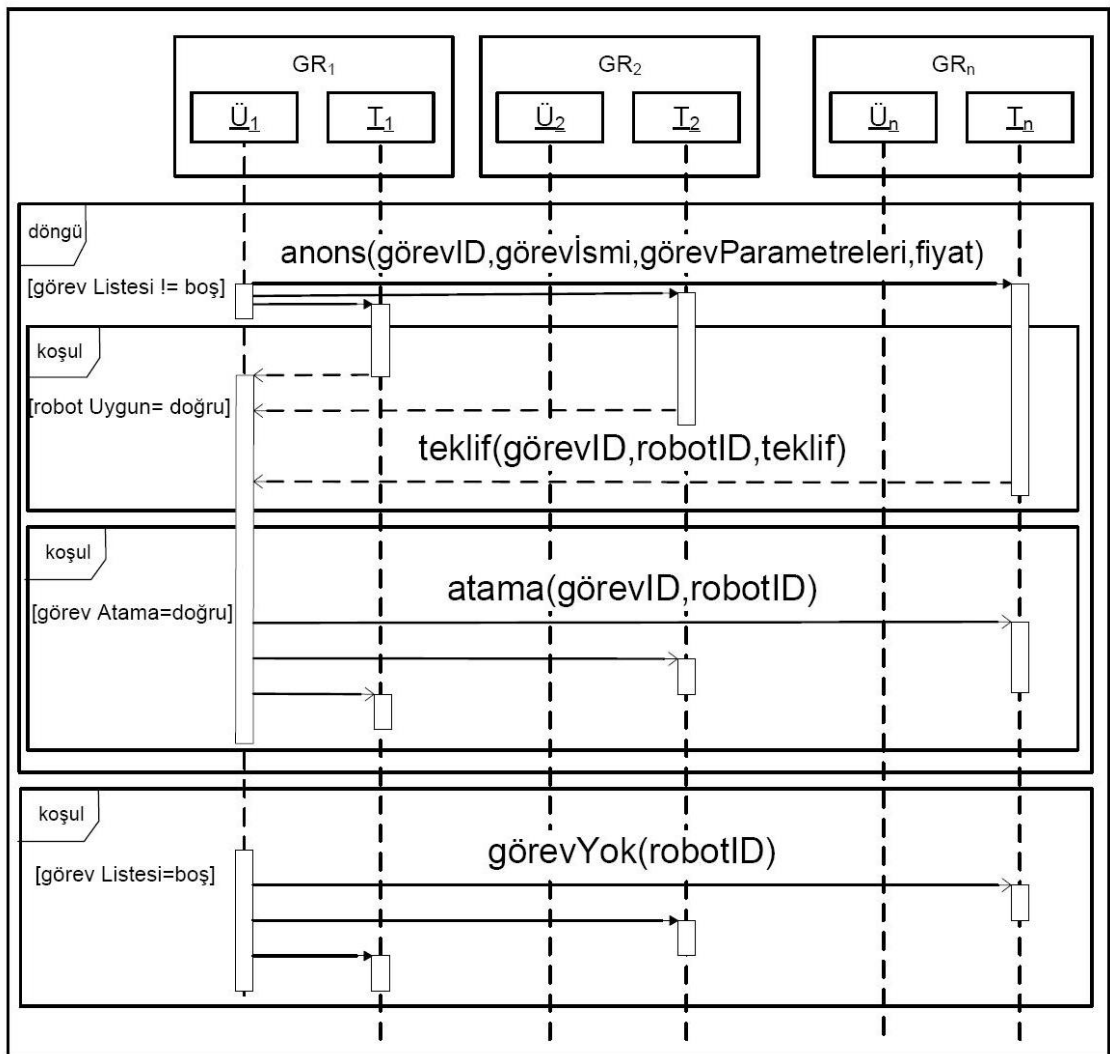
Görev yapma durumunda, ilk olarak görevle ilgili parametreler robotun ilgili parametrelerine atanmaktadır. Bu noktada, robot görevi yapmaya başlamakta ve görevi tamamlayana kadar bu durumda kalmaktadır. Görev tamamlandığında robot şarj durumunu kontrol etmektedir. Eğer daha önceden belirlenmiş eşik değerinin altında ise, robot şarj dolun ünitesine giderek şarj doldurma durumuna geçmektedir. Eğer şarjı yeterli ise, Üretici Erkinlerden görev anonsu bekleme aşamasına geri dönmektedir. Sürecin sonlanması için, Üretici erkinlerde hiç görev kalmaması gerekmektedir. Tüketici Erkinin detaylı durum diyagramı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Tüketici Erkin Durum Diyagramı (Detaylı)

Erkinlerin tasarım amacına uygun olarak çalışabilmeleri için robot içerisindeki veya diğer robotlarda bulunan erkinlerle haberleşmeleri gerekmektedir. Markette bulunan üretici ve tüketici erkinler arasındaki ilişki, bir üretici erkinin “*anons(görevID, görevİsmi, görevParametreleri, fiyat)*” mesajını aynı robotun tüketici erkini dâhil olmak üzere marketteki bütün tüketici erkinlere göndermesiyle başlamaktadır. Bu mesajın içeriğinde bulunan *görevID*, anons edilen görevin hangi robotun kaçınıcı görevi olduğunu, *görevİsmi*, temizleme, taşıma, görüntüleme, haritalama, kapsama gibi yapılacak görevin ismini, *görevParametreleri*, görevin başlangıç ve bitiş konumları, görevin öncelik, bitirilme zamanı gibi parametrelerini, *fiyat* ise görevin tamamlanması sonucunda tüketici erkine ödenecek olan miktarı belirlemektedir. Tüketici erkinler, *görevİsmi* ve *görevParametrelerini* kullanarak yaptıkları değerlendirme sonucunda bu görev anonsunu kabul edip etmemeye karar vermektedirler. Anonsu kabul ettikten sonra aynı parametreleri ve *fiyatı* kullanılarak bir teklif oluşturmakta ve bu teklifi “*teklif(görevID,robotID,teklif)*” mesajı ile anonsu yapan üretici erkine göndermektedirler. Bu mesajın içeriğinde bulunan *görevID*, hangi robotun kaçınıcı işine teklif gönderildiğini, *robotID* hangi tüketici erkinin bu teklifi gönderdiğini ve teklif ise

tüketici erkinin bu görevi yapması karşılığında elde edeceği kâr ı belirtmektedir. Üretici erkin gelen teklifleri değerlendirip, görevleri yapmaya hak kazanan robotları belirlemekte ve “*atama(görevID,robotID)*” mesajı ile ilgili görev-robot eşleşmesini tüketici erkinlere bildirmektedir. Bu süreç tüm üretici erkinlerden “*görevYok(robotID)*” mesajı gelene kadar devam etmektedir. Erkinlerin birbirleri ile etkileşimleri Şekil 4.6’daki Sıralama diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Alış-veriş Sürecinin Sıralama Diyagramı

4.2 Bir Robot Platformunun Güç Modeli

Market tabanlı yaklaşımlarda, fiyat ile maliyet üretici ve tüketicinin marketteki pozisyonunu belirlemektedir. Bu değerlerin, üretici ve tüketicinin gerçek pozisyonlarını yansıtmaları, robot takımının verimliliğinin artmasında önem taşımaktadır. Market tabanlı yaklaşımların kullanılmaya başlandığı yıllarda araştırmacılar, bu değerlerin belirlenmesinde para birimlerini kullanmışlardır (Stentz ve Dias,1999). Ancak, bu yaklaşımın, üretici ve tüketici pozisyonlarını belirlemede oldukça soyut olduğu görülmüştür. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, maliyetin belirlenmesinde ağırlıklı olarak robotların kat ettikleri yol ya da görevi yapmak için harcadıkları zaman kullanılmıştır (Dias ve Stentz, 2000; Tovey, ve ark., 2005). Bununla birlikte, robot takımındaki her robotun algılama, hareket etme ve hesaplama gibi kendine has özellikleri bulunabilmektedir. Maliyetin hesaplanması esnasında robotların özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca, yapılan çalışmaların çoğunda görevler için fiyatların nasıl belirlendiğine değinilmemiştir. Zlot, ve ark., (2002) yaptıkları çalışmada, fiyatların belirlenmesinde, maliyetlerden büyük değerler seçilmeye çalışıldıklarını ifade etmektedirler. Bu durumda, fiyatların üreticinin marketteki konumunu tam olarak yansıtmamaktadır. Ayrıca, fiyatların hesaplandığı birim ile maliyetin hesaplandığı birimin aynı olup olmadığı belli değildir. Geçmiş çalışmalardaki, fiyat ve maliyet belirleme mekanizmaların içerdikleri bazı temel dezavantajlar şöyledir:

- 1) Robot platformları, algılama, hareket etme, hesaplama ve kontrol yeteneklerine sahiptirler. Dolayısıyla, robotların görevleri yerine getirmeleri esnasında kullandıkları çeşitli kaynakları görevin maliyetine eklemek gerekmektedir.
- 2) Fiyatın ve maliyetin farklı metrikler kullanılarak hesaplanması karar mekanizmasının doğruluğunu ve verimliliğini olumsuz etkilemektedir.
- 3) Fiyat ve maliyet, görevin sahip olabileceği öncelik, görev tamamlama zamanı gibi özellikleri tam olarak yansıtamayabilir ve bu özellikleri yansıtmak için ek kontrol yapıları ve haberleşme yükü gerekebilir.

- 4) Robot enerjilerinin müzakere süresince karar mekanizması tarafından göz önüne alınmaması durumunda, görevi tamamlamaya enerjisi yetmeyecek robotlara görev atamaları yapılabilir. Bu durumdan sistemin gürbüzlüğü olumsuz etkilenecektir.

Bu dezavantajlar göz önüne alındığında, fiyat ve maliyetin hesaplanmasında, bir robot platformunun güç modelinin kullanılması uygun olacaktır. Örneğin, bir görüntüleme görevinin bir robot takımı tarafından yapıldığını, robot takımının bir üyesinin kameraya ve diğer üyesinin de lazer uzaklıkölçere sahip olduğunu ve kameraya sahip olan robotun görüntülenecek bölgeye daha yakın olduğunu varsayalım. Bununla birlikte, kameranın lazer uzaklıkölçere göre daha fazla güç harcadığını varsayalım. Bu durumda, robotların kat edecekleri yolu ya da görevin tamamlanma süresini göz önüne alarak görevi kameraya sahip robota vermek daha fazla enerji gerektirebilir ve tüm robot takımının kârı bu durumdan olumsuz etkilenebilir. Bununla birlikte, robot takımına verilen görüntüleme görevinin diğer görevlere göre önceliği olduğunu ve belirli bir süre içerisinde bitirilmesi gerektiğini varsayalım. Bu durumda, robot takımının karar verme aşamasında enerji ve diğer ölçütler arasında karar vermesi için ikinci bir kontrole ihtiyaç duyacağı açıktır. Fiyat ve maliyetin birden çok ölçütün olduğu bu gibi durumlarda enerji cinsinden hesaplanması tüm etmenlerin tek bir değerde toplanmasına yardımcı olacak ve kontrol ve karar mekanizmalarının yapısını sadeleştirecektir. Ayrıca, fiyat ve maliyet hesabında güç modelinin kullanılması, bu iki faktörün aynı metriklerde değerlendirilmesini sağlayarak karar mekanizmasının doğruluğunu ve verimliliğini arttıracaktır.

Bir görevin maliyeti ve fiyatının enerji cinsinden hesaplanabilmesi için robotun güç modeline gereksinim duyulmaktadır. Robotlar hareket, algılama, hesaplama ve kontrol için enerji harcamaktadırlar. Hareket verenin ve ses üstü mesafe algılayıcılarının güç modeli Mei, ve ark., (2006) tarafından aşağıdaki gibi önerilmiştir:

1) Hareket verenin gücü:

$$P_m(m, v, a) = P_l + m(a + g\mu)v \quad (4.1)$$

burada P_m hareket verenin gücünü, P_l dönüşüm ile kaybedilen gücü, m robotun kütlesini, g yerçekimi sabitini, μ yer sürtünme katsayısını, v ve a sırasıyla robotun doğrusal hızını ve ivmesini göstermektedir.

2) Ses üstü mesafe algılayıcı gücü:

$$P_s(f_s) = c_0 + c_1 f_s \quad (4.2)$$

burada P_s ses üstü mesafe algılayıcı gücünü, f_s algılayıcı frekansını, c_0 ve c_1 iki pozitif sabiti ifade etmektedir.

Ses üstü mesafe algılayıcı dışında robot üzerinde bulunabilecek kamera, lazer uzaklıkölçer gibi algılayıcılarında bulunduğu toplam algılayıcı gücü P_a , robotun üzerinde bulunabilecek bir bilgisayarın gücü P_b , ve mikro kontrolörün gücü P_k ile ifade edilebilmektedir. Bu bahsedilen güçler kullanılan robot platformuna bağlı olarak değişmektedir. Robotun harcadığı toplam güç ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$P_t = P_m + P_a + P_b + P_k \quad (4.3)$$

4.3 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları

Görev paylaşırma problemine market tabanlı çözüm arayan yaklaşımlarda görevleri yapmaya hak kazanacak robotların belirlenmesi aşamasında genelde müzayede mekanizması işletilmektedir. Bu noktada, görevleri yapacak robotlar müzayede sonlandırma algoritmaları olarak adlandırılan yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Bu çalışmada, müzayedeleri sonlandırmak amacıyla Görevin En Yüksek Teklife SAhip Robotu (GEYTSAR) ve Robotun En Yüksek Teklife SAhip

Görevi (REYTSAG) olarak adlandırılan iki sezgisel önerilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin başarısını karşılaştırmak amacıyla (Gerkey ve Mataric, 2002) tarafından önerilen Tekrarlamalı Müzayede Sonlandırma yöntemi gerçekleştirilmiş ve kullanılmıştır. Ayrıca, görev paylaşırma problemi bir atama problemi olarak düşünölmüş ve en iyi atamaları yapmak amacıyla Macar Algoritması kullanılmaktadır.

Önerilen ve kullanılan yaklaşımlarda, robotların yapabilecekleri görevler için gönderdikleri teklifler $n \times n$, burada n robot takımındaki üye sayısını göstermektedir, boyutundaki teklif matrisi olarak adlandırılan matriste tutulmaktadır. Müzayede sonlandırma yöntemlerinin anlatılmasında kullanılacak olan örnek teklif matrisi Denklem 4.4’de verilmiştir. Teklif matrisi robot takımında altı robot olduğu varsayılarak oluşturulmuştur. Matristeki satırlar görevleri sütunlar robotları göstermektedir. Robotun teklif göndermediği görevler için ise ‘0’ kullanılmaktadır.

$$\begin{bmatrix} 26 & 0 & 0 & 24 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 & 2 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.5 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & 3 & 4 & 0 & 0 \\ 3.4 & 2 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4.3.1 GEYTSAR müzayede sonlandırma yöntemi

Bu yaklaşımda, üretici ilk görevden başlayarak teklif gönderilen her görev için, en yüksek teklifi gönderen robotu belirlemektedir. Daha sonra, bu robota daha önceden bir görev ataması yapıp yapılmadığını kontrol etmektedir. Eğer herhangi bir görev ataması yapılmamış ise, görev en yüksek teklifi veren robota verilmektedir. Eğer en yüksek teklifi veren robota, daha önceden bir görev verilmiş ise, ikinci en yüksek teklifi veren robot belirlenerek aynı süreç tekrarlanmaktadır. Eğer, görev için uygun bir robot bulunamaz ise bu görev üreticinin görev listesinin sonuna eklenmektedir. GEYTSAR müzayede sonlandırma yöntemi Şekil 4.7’de verilmiştir.

GEYTSAR Müzayede Sonlandırma Algoritması

için her görev yap
eğer görev için teklif gelmiş **ise**
 teklifleri büyükten küçüğe sırala
için her teklif yap
 en yüksek teklifi veren robotu belirle
eğer bu robota başka bir görev atanmamış **ise**
 bu robota bu görevi ata
 görevi görev listesinden sil
eğer sonlandır
için sonlandır
eğer görev herhangi bir robota atanmamış **ise**
 görevi görev listesinin sonuna ekle
eğer sonlandır
değilse
 görevi görev listesinin sonuna ekle
eğer sonlandır
için sonlandır

Şekil 4.7 GEYTSAR Müzayede Sonlandırma Algoritması

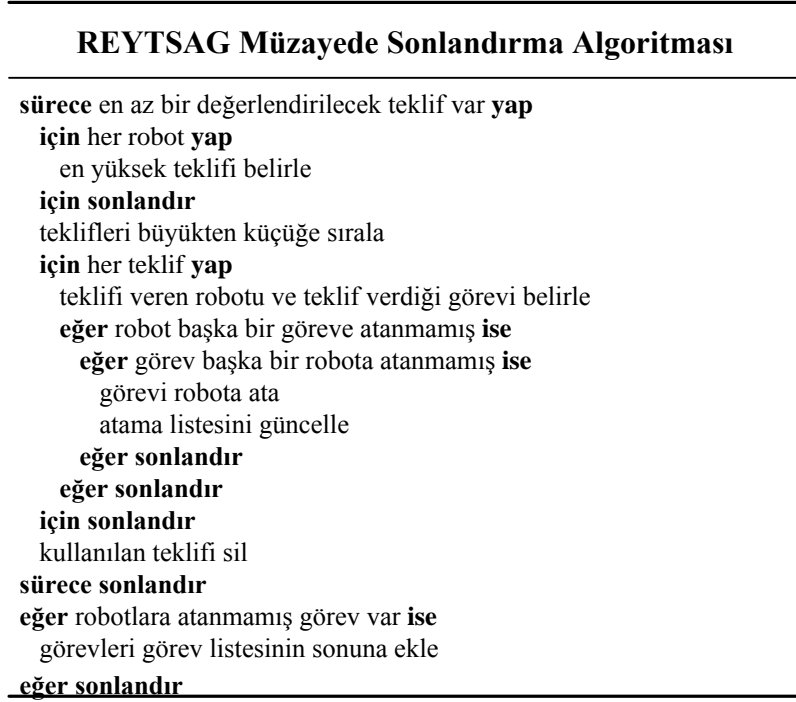
$$\begin{bmatrix} \mathbf{26} & 0 & 0 & 24 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 & 2 & 0 & \mathbf{4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{6.5} & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & 3 & \mathbf{4} & 0 & 0 \\ 3.4 & 2 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{5} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Kullanılan örnek durumda beşinci robot hiçbir görev için teklif göndermemiştir. Ayrıca üçüncü görev içinde herhangi bir robottan teklif alınmamıştır. Denklem 4.5'te gösterilen örnek matriste görevler için gönderilen en yüksek teklifler kalın punto ile gösterilmiştir. İlk görev için en yüksek teklif ilk robottan gelmiştir. Bu robota daha önceden bir görev verilmediği için ilk robota ilk görevi verilmiştir. Benzer şekilde ikinci görev altıncı robota, dördüncü görev ikinci robota, beşinci görev ise dördüncü robota verilmiştir. Altıncı görev için en yüksek teklifi veren altıncı robot daha önce ikinci görevi almıştır, benzer şekilde bu görev için teklif veren birinci ve ikinci robotlarda daha önceden görev aldıkları için altıncı görev herhangi bir robota verilememiş ve tekrar anons edilmek üzere üreticinin görev listesinin sonuna eklenmiştir. Üçüncü göreve herhangi bir teklif gelmediği için bu görev de tekrar anons

edilmek üzere üreticinin görev listesinin sonuna eklenmiştir. GEYTSAR yöntemi kullanılarak elde edilen görev-robot atamaları 1-1, 2-6, 4-2, 5-4 şeklindedir. Bu görev atamaları sonucunda elde edilen toplam kâr 40.5 kW-saat olarak bulunmuştur. Bu noktada, kâr maliyetin fiyattan çıkarılması ile hesaplanmakta ve market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımı ile görevlerin yapılması esnasında meydana gelebilecek gereksiz masrafları ifade etmektedir.

4.3.2 REYTSAG müzayede sonlandırma yöntemi

Bu yaklaşımda, üretici, her robotun en yüksek teklif verdiği görevi belirlemektedir. Daha sonra, bu teklifler büyükten küçüğe sıralanmaktadır. En yüksek teklifi veren robot ve teklif verilen görev belirlenmektedir. Eğer bu robot daha önceden bir görev almamışsa ve bu görev daha önceden bir robota verilmemişse, bu görev bu robota verilmektedir. Bu süreç tüm teklifler için uygulanmaktadır. Önerilen yöntem Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 REYTSAG Müzayede Sonlandırma Algoritması

$$\begin{bmatrix} \mathbf{26} & 0 & 0 & \mathbf{24} & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 & 2 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{6.5} & \mathbf{5} & 0 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & 3 & 4 & 0 & 0 \\ 3.4 & 2 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{5} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Bu yaklaşımda kullanılan örnek teklif matrisi Denklem 4.6’da verilmiştir. Her robotun verdiği en yüksek teklif koyu punto ile gösterilmiştir. En büyük teklif olan ‘26’ ile algoritma işlemeye başlamıştır. Bu teklifi birinci robot birinci görev için vermiştir, daha önce bu robot herhangi bir görev almamış ve bu görev herhangi bir robota verilmemiş olduğu için bu atama yapılmaktadır. Daha sonra aynı süreç büyükten küçüğe her teklif için işletildiğinde, dördüncü görev ikinci robota ve altıncı görev altıncı robota atanmaktadır. Kullanılan tekliflerin yerine sıfır yazılarak yeni teklif matrisi Denklem 4.7’deki gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 & 2 & 0 & \mathbf{4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & \mathbf{3} & \mathbf{4} & 0 & 0 \\ \mathbf{3.4} & \mathbf{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Her robotun verdiği ikinci en yüksek teklif koyu punto ile gösterilmiştir. En büyük teklif olan ‘4’ ile algoritma işlemeye başlamıştır. Dolayısıyla ikinci turda beşinci görev dördüncü robota atanmaktadır. Kullanılan tekliflerin yerine sıfır yazılarak yeni teklif matrisi Denklem 4.8’deki gibi oluşmaktadır.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{1.3} & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{1.2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Son turda da aynı süreç en büyük tekliften en küçük teklife kadar işletilmektedir. Ancak bu turda görevlerin daha önce bir robota atanması ya da robotların daha önceden bir görev alması sebebiyle herhangi bir atama yapılamamıştır. REYTSAG yöntemi kullanılarak elde edilen görev-robot atamaları 1-1, 4-2, 5-4, 6-6 şeklindedir. Bu görev atamaları ile elde edilen toplam kâr 41.5 kW-saat olarak bulunmuştur.

4.3.3 Tekrarlamalı müzayede sonlandırma algoritması

(Gerkey ve Mataric, 2002b) yaptıkları çalışmada bir ürün ya da servis için fiyat üzerinden bir karar verme sürecinin olduğunu fark etmişlerdir. Genel market teorisinde, markette bulunanlar tarafından alınan geri besleme yardımıyla fiyat sürekli olarak değişmektedir. Bu süreç sonunda fiyatın markette bulunan herkes için en uygun olan denge noktasına ulaşacağı bilinmektedir. Bu yapının çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma yaklaşımlarında kullanılabileceği savunulmuş ve temel bir model oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda, üretici, anons edeceği görevler için fiyatları oluşturduktan sonra, bu fiyatları eski fiyat olarak hafızasında tutmaktadır. Tüketiciler ise yapabilecekleri görevler için oluşturdukları tekliflerden sadece en büyük olanını üreticiye göndermektedir. Üretici, her görev için gelen en büyük teklifi belirlemektedir. Daha sonra, görevin eski fiyatından gelen en büyük teklifi çıkararak bu görev için yeni fiyatı oluşturmaktadır. Eğer eski fiyatlar ile yeni fiyatlar aynı değilse, görevler yeni fiyatlar ile tekrar anons edilmektedir. Bu süreç eski fiyatlar ile yeni fiyatlar aynı, bir başka deyişle gelen tekliflerin hepsi sıfır olana kadar devam etmektedir. Tekrarlamalı müzayede sonlandırma algoritması Şekil 4.9'da verilmiştir.

Tekrarlamalı Müzayede Sonlandırma Algoritması

sürece market dengeye ulaşmadığı **yap**
 eski fiyatları yeni fiyat olarak tut
için her görev **yap**
 en yüksek teklifi bul
 eski fiyattan en yüksek teklifi çıkararak yeni fiyatı bul
için sonlandır
eğer tüm görevler için yeni ve eski fiyatlar aynı **ise**
 görevler için en düşük kara sahip olan robotları belirle
 görevleri robotlara ata
 görevleri görev listesinden sil
değilse
 görevleri yeni fiyatları ile yeniden anons et
eğer sonlandır
sürece sonlandır
eğer robotlara atanmamış görev var **ise**
 görevleri görev listesinin sonuna ekle
eğer sonlandır

Şekil 4.9 Tekrarlamalı Müzayede Sonlandırma Algoritması

Görevlerin ilk anons edilmesinden sonra oluşan örnek teklif matrisi Denklem 4.9’da verilmiştir. Bu örnek teklif matrisinde, teklif gelmeyen görevleri göstermek için ‘0’ yerine (∞) kullanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{26} & \infty & \infty & \mathbf{24} & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \mathbf{6.5} & \mathbf{5} & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \mathbf{5} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Denklemden de görüldüğü gibi tekliflerin hepsi sıfırdan farklı olduğu için market denge noktasına ulaşamamıştır. Dolayısıyla görevler yeni fiyatlarıyla bir daha anons edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \mathbf{1.3} & \infty & \infty & \infty & \mathbf{4} \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \mathbf{1.2} & \infty & \mathbf{3} & \mathbf{4} & \mathbf{4.5} & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

İkinci anons sonucunda gelen teklifler Denklem 4.10'da gösterilmiştir. Bu noktada ilginç bir olay meydana gelmiştir. İlk anons sırasında şarj dolum ünitesinde olan ya da başka bir görev yapan beşinci robot ikinci anons sırasında görevlere teklif yollamak için uygun bir durumda bulunmaktadır ve beşinci görev için teklif göndermiştir. Gelen teklifler hepsi sıfırdan farklı olduğu için market dengeye ulaşamamıştır ve görevler yeni fiyatlarıyla tekrar anons edilecektir.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \mathbf{0} \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \mathbf{0} & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \mathbf{0} & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Üçüncü anons sonucunda gelen teklifler Denklem 4.11'de gösterilmiştir. Gelen tekliflerin hepsi sıfır olduğu için market bu noktada dengeye ulaşmıştır. Ancak, altıncı robot iki görev içinde en iyi teklifi vermiştir. Bu noktada, robot elde edeceği kârı enbüyükleyecek olan görevi yapmayı seçecektir. Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yöntemi kullanılarak elde edilen görev-robot atamaları 1-1, 4-2, 5-5, 6-6 şeklindedir. Bu görev atamaları ile elde edilen toplam kâr 42 kW-saat olarak bulunmuştur.

4.3.4 Atama problemi ve Macar algoritması

Atama problemi, yöneylem araştırmasında en çok bilinen kombinatoryal eniyileme problemlerinden birisidir. Bu problemin tanımı, her görev-kaynak atamasının maliyetinin bilindiği varsayılarak n görev ve n kaynağın atamalarından en iyi olanının seçilmesi olarak yapılabilir. Bir en iyi atama, toplam atama maliyetini en küçüklemektedir (Munkres, 1957). Atama probleminin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir (Wolsey, 1998).

İndeksler

i : Görev indisi

j : Kaynak indisi

Kümeler

V: Görevler kümesi, $v_i \in V, \forall i$

U: Kaynaklar kümesi $u_j \in U, \forall i$

Parametreler

n : Görev sayısı

c_{ij} : v_i 'nin u_j 'ye atanmasının maliyeti.

Karar Değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } v_i \text{ görevi } u_j \text{ kaynağına atanırsa} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Model

$$\text{enk } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4.12)$$

kısıtlar altında

$$\sum_{i=1}^j x_{ij} = 1, \forall j \quad (4.13)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \quad (4.14)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \quad (4.15)$$

(4.12) numaralı denklem modelin amaç fonksiyonudur ve toplam atama maliyetini en küçüklemektedir. (4.13) denklemi her kaynağın tek bir göreve atanmasını garanti etmektedir. Benzer şekilde (4.14) denklemi her görevin bir kaynağa atanmasını garanti etmektedir. Denklem (4.15) karar değişkenlerinin 0-1 ve tamsayı olmasını garanti etmektedir.

4.3.4.1 Macar algoritması

Macar ya da diğerk adıyla Kuhn-Munkres algoritması (Kuhn,1955) ilk olarak 1955 yılında Kuhn tarafından önerilmiş ve 1957 yılında Munkres tarafından düzenlenmiştir (Munkres, 1957). Macar algoritması atama problemini $O(n^3)$ zamanda çözer. Burada n iki parçalı (bi-partite) çizgenin bir parçasının boyutunu göstermektedir. Macar algoritması, $G = (V, U, E)$ iki parçalı çizgesinin mevcut olduğu varsayımını yapmaktadır. Burada V ve U çizgenin her parçasındaki düğümler kümesini, E ise ayrıtlar kümesini göstermektedir. Macar algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir (Mills-Tettey, ve ark., 2007).

Girdi: İki parçalı çizge, $G = (V, U, E)$

Burada ($|V| = |U| = n$) ve $n \times n$ boyutlu kenar maliyetlerinin matrisi C .

Çıktı: En küçük maliyetli görev-kaynak eşleşmesi, M

Adım1: Her satırdan, satırın en küçük değerini çıkar.

$$c'_{ij} = c_{ij} - \text{enk}_{j \in U}(c_{ij}) \quad \forall (i \in V, j \in U) \quad (4.16)$$

Adım 2: Her sütundan, sütun en küçük değerini çıkar.

$$c''_{ij} = c'_{ij} - \text{enk}_{i \in V}(c'_{ij}) \quad \forall (i \in V, j \in U) \quad (4.17)$$

Adım 3: En az sayıda çizgi kullanarak matristeki bütün sıfırları kapsa k 'nın çizgi sayısını gösterdiği aşağıdaki durumları düşünelim.

- Eğer $k < n$ ise, s en küçük kapsanmamış matris elemanı olsun. Her kapsanmamış matris elemanından s 'i çıkar. Her iki çizgiyle kapsanmış matris elemanına s ekle. Adım 3'ün başına geri dön.
- Eğer $k = n$ ise, Adım 4'e geç.

Adım 4: En üstteki satırdan başlayarak, her satır için atama yap. Bir atama ancak bir satırda sadece bir sıfır olduğunda yapılabilir. Atama yapıldığında satır ve sütunu C matrisinden sil.

4.3.4.2 Görev atanmasında Macar algoritması

Bu çalışmada, Macar algoritması robotlara anlık görev atamalarının en büyük faydayı sağlayacak şekilde belirlenmesinde kullanılmıştır. Görev atamasında, geleneksel atama probleminden farklı olarak amaç fonksiyonu en büyükleme formundadır. Girdi matrisi maliyetler yerine kârları göstermekte ve tüm görevler tüm robotlar tarafından yapılamamaktadır. Bir girdi matrisi örneği Denklem 4.18’de verilmiştir. Bu matriste, pozitif değerler v_i işinin u_j robotuna atanması durumunda elde edilecek karı, ‘0’ değerleri ise v_i işinin u_j robotuna atanamayacağını göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} 26 & 0 & 0 & 24 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3 & 0 & 2 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.5 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1.2 & 0 & 3 & 4 & 0 & 0 \\ 3.4 & 2 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

İlk olarak, tüm pozitif değerler girdi matrisinin en büyük değerinden çıkartılarak problem en küçükleme formuna dönüştürülmektedir. Örnek matriste, tüm pozitif değerler en büyük değer 26’dan çıkarılmıştır. İkinci olarak, istenmeyen atamaların önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, çok büyük bir değer (∞) istenmeyen atama konumlarına verilmiştir. Örnek fayda matrisinin maliyet matrisine dönüştürülmüş hali Denklem 4.19’da verilmiştir.

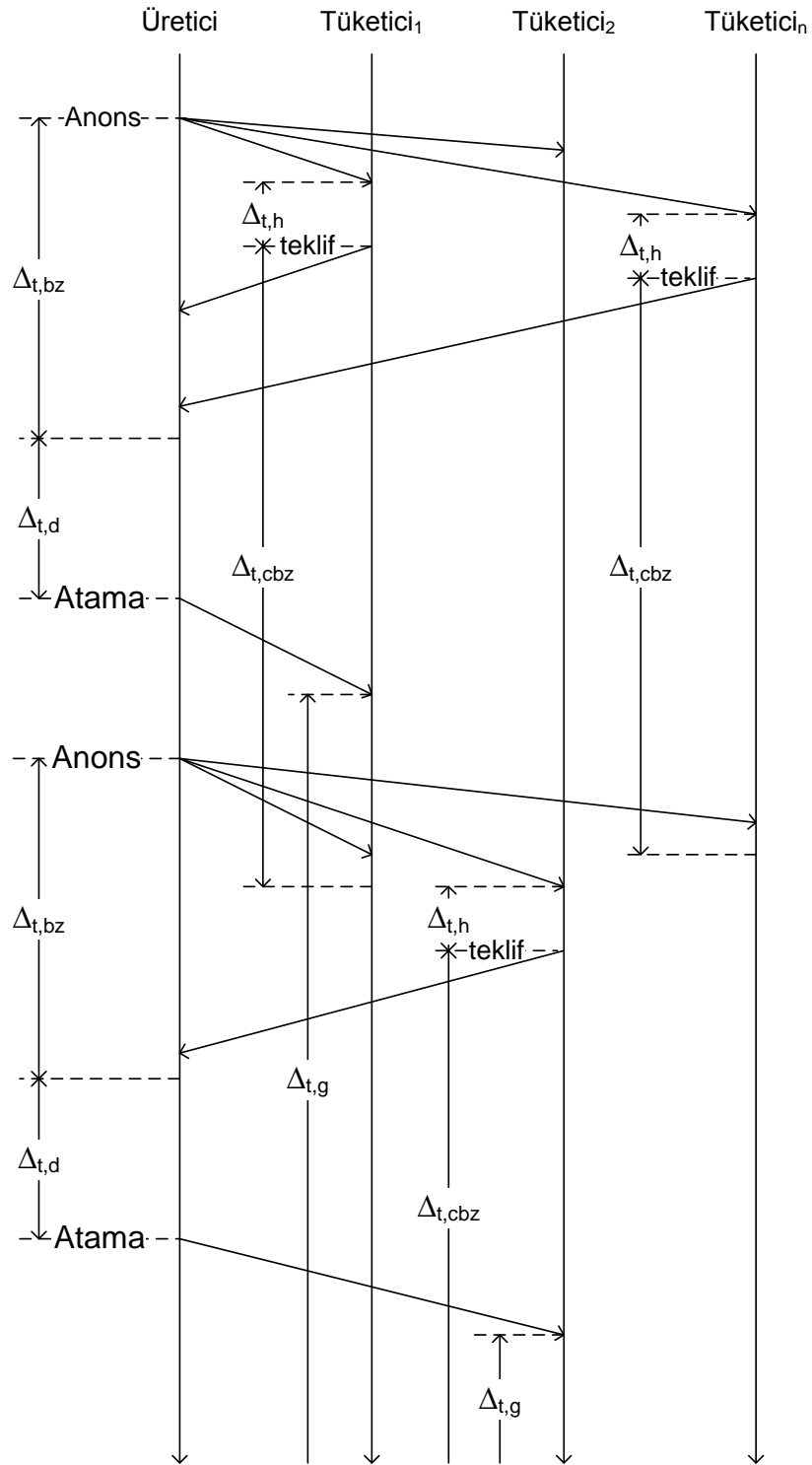
$$\begin{bmatrix} 0 & \infty & \infty & 2 & \infty & \infty \\ \infty & 24.7 & \infty & 24 & \infty & 22 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 19.5 & 21 & \infty & \infty & \infty \\ 24.8 & \infty & 23 & 22 & \infty & \infty \\ 22.6 & 24 & \infty & \infty & \infty & 21 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Macar algoritması kullanılarak elde edilen görev-robot atamaları 1-1, 2-4, 4-2, 5-3, 6-6 şeklindedir. Bu görev atamaları ile elde edilen toplam kâr 42.5 kW-saat olarak bulunmuştur.

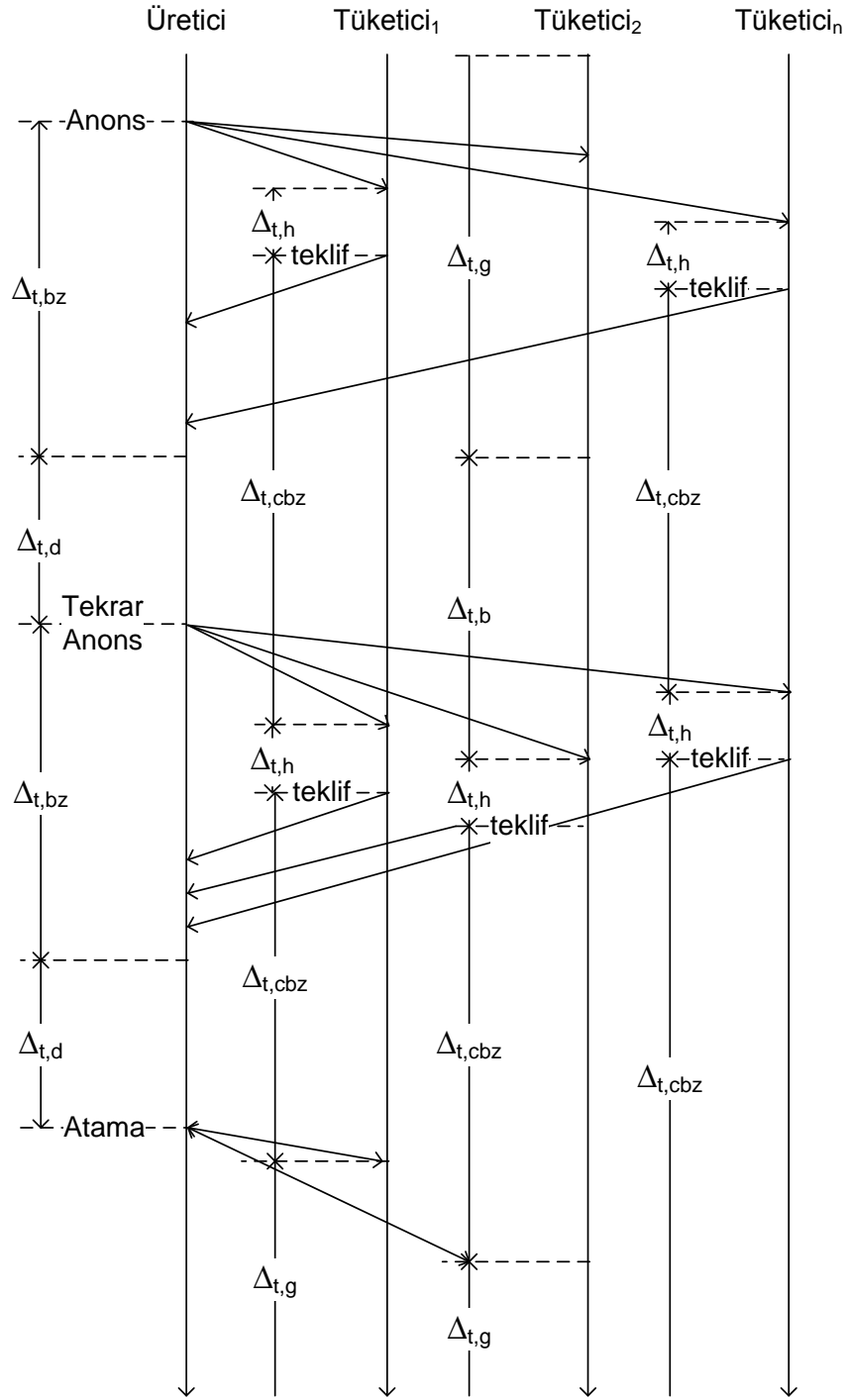
4.3.5 Haberleşme

Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda haberleşme önemli faktörlerden biridir. Genelde, robotlar arasında bilgi alış verişinin artması ile robotlar arasındaki koordinasyonun verimliliğini arttırmaktadır. Bununla beraber, robotlar arasında paylaşılan bilgi arttıkça haberleşme yükü de artmaktadır. Bu noktada, haberleşmenin etkin kullanılması ile hem haberleşme yükünün artması önlenmeli hem de robotların verimli bir şekilde koordine olmaları sağlanmalıdır. Market tabanlı yaklaşımlar, haberleşme sırasında kullandıkları sınırlı bilgi ile haberleşme yükünü önemli ölçüde azaltarak verimli bir şekilde birlikte çalışmaya olanak sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada, müzayede sonlandırma aşamasında kullanılan REYTSAG, GEYTSAR ve Macar Algoritması için haberleşme süreci Şekil 4.10'da, Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yöntemi için ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.10'da üretici robot görevleri anons mesajı ile tüm tüketicilere duyurmakta, uygun olan tüketiciler görevler için teklif mesajı göndermektedir. Üretici, gelen teklifleri değerlendirerek görevleri yapmaya hak kazanan robotlara atama mesajı göndermektedir.



Şekil 4.10 Market Haberleşme Süreci



Şekil 4.11 Market Haberleşme Süreci (Tekrarlamalı)

Şekil 4.11’de ise market dengeye ulaşıncaya kadar üretici robot aynı görevler için anons mesajı göndermeye devam etmektedir. Bu örnekte ilginç nokta ise, ikinci tüketicinin ilk görev anonsunda görev yaparken, ikinci görev anonsu sırasında boşta olması ve görevler için teklif mesajı göndermesidir. Şekillerdeki tek yönlü oklar mesajları göstermektedir. Ayrıca, kesikli yatay çizgiler arasında gösterilen zaman dilimlerinin tanımlamaları aşağıdaki gibidir:

$\Delta_{t,bz}$: Üreticinin teklifleri bekleme süresi.

$\Delta_{t,h}$: Tüketicinin teklifi oluşturma süresi.

$\Delta_{t,d}$: Üreticinin teklifleri değerlendirme süresi.

$\Delta_{t,cbz}$: Tüketicinin üreticiden cevap bekleme süresi.

$\Delta_{t,g}$: Tüketicinin görevi yapma süresi.

$\Delta_{t,b}$: Tüketicinin boşta bekleme süresi.

REYTSAG, GEYTSAR ve Macar Algoritması müzayede sonlandırma yaklaşımlarının kullanıldığı durumda müzayedenin süresi, üretici ve tüketici tarafından gönderilen toplam mesaj sayısı sırasıyla Denklem 4.20 ve 4.21’de, Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı için ise Denklem 4.22 ve 4.23’te gösterilmiştir.

$$\text{Müzayede Süresi} = \Delta_{t,bz} + \Delta_{t,d} \quad (4.20)$$

$$\text{Toplam Mesaj Sayısı} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m 1 + \text{UTS}_{i,j} + \text{AS}_{i,j} \right) \quad (4.21)$$

$$\text{Müzayede Süresi} = TS \times (\Delta_{t,bz} + \Delta_{t,d}) \quad (4.22)$$

$$\text{Toplam Mesaj Sayısı} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m TS_{i,j} \times (1 + \text{UTS}_{i,j}) + \text{AS}_{i,j} \right) \quad (4.23)$$

burada, n robot takımının üye sayısını, m robotların toplam anons sayısını, $\text{UTS}_{i,j}$, $\text{AS}_{i,j}$ ve $TS_{i,j}$ sırasıyla i ’inci robotun j ’inci anonsunda teklif gönderen tüketici sayısını, atama sayısını ve tekrar anons etme sayısını göstermektedir. Denklemlerde de açıkça görüldüğü gibi Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yönteminde müzayede süresi,

görevlerin tekrar anons edilme sayısı ile yakından ilişkilidir. Tekrar anons edilme sayısı birden büyük bir sayı olduğu için, tekrarlamalı müzayede yönteminde müzayede süresi her zaman, diğer yöntemlerin müzayede sürelerinden büyük olacaktır. Ayrıca, tekrar anons edilme sayısı arttıkça, bu süre önemli ölçüde artacaktır. Müzayedeler boyunca kullanılan toplam mesaj sayısı için de müzayede süresi için yapılan yorumun benzeri yapılabilmektedir.

4.4 Keşfederek Öğrenme

Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda ve görev paylaşırma probleminde öğrenme sıklıkla ele alınmaktadır. Bunun sebebi, öğrenme kavramının, robotların buldukları ortamdaki değişikliklere adapte olmalarını ve daha iyi karar vermelerini sağlayan önemli bir etken olmasıdır. Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda öğrenme kavramı çok farklı amaçlar için kullanılmıştır.

(Parker, 1997, 1995) ALLIANCE davranış tabanlı yaklaşımını öğrenme ile zenginleştirmiştir. Bu çalışmada, robotlar geçmiş deneyimlerinden yararlanarak, aksiyon seçme aşamasında daha verimli stratejiler belirlemektedirler. Böylelikle, robotlar bir insan yönetimine gerek kalmadan gerekli parametreleri değiştirerek, daha akıllı seçimler yapma şansını elde etmektedirler. Ayrıca, robotlar ortam ve robot takımındaki değişikliklere öğrenme sayesinde rahatlıkla adapte olmakta, değişen görev tanımlamalarını da kolaylıkla ele alabilmektedirler.

Schneider, ve ark., (2005) yaptıkları çalışmada, gezegen ve okyanus gibi ortamlarda zemin üzerindeki sürtünme, çukur vs gibi ortam şartlarındaki belirsizlikler sebebiyle görevlerin yapılma sürelerinin ve harcanacak enerjilerin doğru olarak tahmin edilmesinin zor olduğu söylenmişlerdir. Bu durumda, robotların tahmin ettiği görev tamamlama süreleri ile görevin gerçekten tamamlanması için gereken süre arasında bir fark oluşmaktadır. Robotların bu farkı ortadan kaldırebilmeleri için bir öğrenme mekanizması önerilmiştir. Böylece robotların buldukları ortam şartlarını göz önüne alarak tahmin yapmaları sağlanmıştır.

Jones, ve ark., (2006a) yaptıkları çalışmada market tabanlı yaklaşımı felaket durumlarında görev paylaşım amacıyla kullanmışlardır. Önerilen yaklaşımda, yazarlar geleneksel market tabanlı yaklaşımları öğrenme ile zenginleştirerek, görev paylaşım esnasında ilerde gelişebilecek durumları tahmin etmeye çalışmışlardır. Böylece, daha iyi atamalar yapılarak felaket durumunda ortaya çıkabilecek zararlar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

(Dalh, ve ark., 2006) robotların görevleri seçmeleri esnasında otomatik öğrenmenin kullanılmasını sağlamışlardır. Bu durumda, önerdikleri sistemin geleneksel kontrol yapılarını kullanan robot sistemlerinden çok daha verimli ve insan kontrolünden bağımsız olacağını öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada, yazarlar, davranış tabanlı görev seçme yaklaşımında bireysel öğrenmenin etkilerini göstermişlerdir. Daha sonra, bireysel öğrenmenin robot takımı seviyesindeki etkilerini gözlemlemişler ve bu yaklaşımının takımın verimliliğini arttırdığını söylemişlerdir.

Köse, ve ark., (2004) yaptıkları çalışmada, robot futbolu alanında market tabanlı ve işbirlikçi bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada, robot futbolu alanının, diğer çok robotlu sistemlere göre çok daha dinamik ve karmaşık bir yapısı olduğunu vurgulanmıştır. Önerilen yaklaşımda, davranış atama probleminde Q-öğrenmeyi kullanılmıştır. Robot takımının Q-öğrenme kullanılarak önceden eğitilmesi sonucunda, geleneksel market yapısına göre daha verimli bir davranış atama politikası geliştirdiği gösterilmiştir.

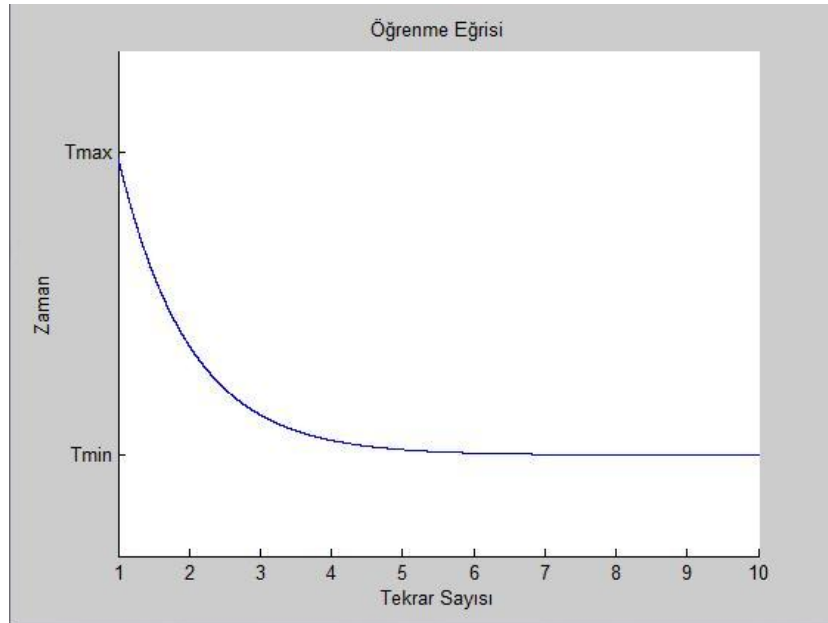
Bu çalışmada, geçmiş çalışmalardan farklı bir öğrenme stratejisi önerilmektedir. Bir görevin yapılma süresinin, görev tekrarlandıkça azaldığını temel alan yaklaşım keşfederek öğrenme olarak adlandırılmaktadır. İnsan topluluklarında ve endüstriyel üretimde keşfederek öğrenme yaklaşımına birçok örnek bulunmaktadır. Örneğin, bir ayakkabı boyacısı, ilk gününde ayakkabı boyama konusunda hiç tecrübesi olmadığı için ayakkabıları daha yavaş ve dikkatli boyayacak ve esasında ayakkabı boyamayı öğrenmek için süre harcayacaktır. Daha sonraki günlerde, ayakkabı boyama ile ilgili yeterli deneyime sahip olduğunda, ayakkabıları boyama hızı artacaktır. Benzer şekilde, bir fabrikanın yeni bir uçak modeli üretmeye başladığını varsayalım. İlk uçağın yapımı

esnasında birçok önemli ayrıntı için zaman harcanacaktır. Dolayısıyla ilk uçağın tamamlanması için çok uzun bir süre gerekecektir. Daha sonra, seri üretime geçildiğinde uçakların tamamlanma süresi önemli ölçüde azalacaktır.

Önerilen yaklaşımda bir görevin süresi görevi yapmak için gerekli olan süre ve görevle ilgili öğrenme süresinin toplamından oluşmaktadır.

$$\text{görev süresi} = \text{görevin yapılma süresi} + \text{öğrenme süresi} \quad (4.24)$$

Örneklerde de anlatıldığı gibi, ilk görevin yapımı sırasında, görevle ilgili önemli bir öğrenme süreci var olmaktadır. Daha sonraki görevlerde, bu öğrenme süreci logaritmik olarak azalmakta ve belirli bir noktadan sonra görevler öğrenme için hiç zaman harcanmadan gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, öğrenme için harcanan sürenin en fazla olduğu yerde görev süresi en fazla (T_{max}), öğrenme için hiç zaman harcanmadığı durumda görev süresi en az (T_{min}) olmaktadır. Görev tekrar sayısı ve görev süresi arasındaki değişim öğrenme eğrisi olarak adlandırılmakta ve Şekil 4.12’de gösterilmektedir (Ritter and Schooler, 2001).



Şekil 4.12 Öğrenme Eğrisi

Öğrenme süresi kabaca görev süresinin en fazla ve en az olduğu durumlar arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Bu noktada önemli bir soru ortaya çıkmaktadır: “Bir görevin öğrenme süresi ne kadardır?”. Öğrenme süresini iki önemli faktör belirlemektedir:

1) Görevin karakteri. Örnekte anlatılan ayakkabı boyama ve uçak yapımı görevleri, süre ve nitelik bakımından birbirinden çok farklı görevlerdir. 2) Görevi yapanın öğrenme yeteneği. Ayakkabı boyayan ve uçak yapanların öğrenme yetenekleri birbirinden farklı olabilir. Bu noktada, Görev Süresini Geliştirme Oranı (GSGO) öğrenme süresinin görev süresine oranını göstermektedir. Bu iki faktörü verdiğimiz ayakkabı boyamak ve uçak yapmak görevleri üzerinde inceleyelim. İlk önce ayakkabı boyayan ve uçak yapanların aynı öğrenme yeteneğine sahip olduğunu varsayalım. Dolayısıyla, bu iki görevi yapanların aynı GSGO değerine sahip olduğunu düşünelim. Ayakkabı boyama süresinin ilk görev için 30 dakika, uçak yapma görevi için ise bir yıl yani 525600 dakika olduğunu ve GSGO değerinin de 0.2 kabul edelim. Dolayısıyla, ayakkabı boyayan insan bu görevi tam öğrendiğinde 24 dakikada, uçak yapan ise 420480 dakikada yani 292 günde yapacaktır. Dolayısıyla ayakkabı boyama görevi için öğrenme süresi 6 dakika olurken uçak yapma görevi için öğrenme süresi 105120 dakika yani 73 gün olmaktadır. Sonuç olarak, öğrenme süresi, yapılan görevin karakterine göre önemli ölçüde değişmektedir. İkinci faktörü incelemek için ise iki insanın uçak yapma görevini yerine getirdiklerini varsayalım. Bununla beraber, görevi yapanların farklı öğrenme kapasitelerine sahip olduğunu düşünelim. Dolayısıyla görev yapanlardan birinin 0.4 değerinin ise 0.2 GSGO ile orantılı olarak görevleri öğrenmektedirler. Bu durumda ilk görev yapan 219 ikincisi ise 292 günde görevleri tamamlayacaklardır. Bu durumda öğrenme süreleri arasındaki fark 73 gün olarak ortaya çıkmaktadır.

Önerilen yaklaşımda, keşfederek öğrenme kavramı kullanılarak görev süreleri hesaplanmaktadır. Öğrenme süresinin azalması ile kazanılan zaman deneyim zamanı olarak adlandırılmakta ve Denklem 4.25’te gösterilmektedir.

$$\text{deneyim zamanı} = T_{max} \times GSGO \times (1 - e^{-N}) \quad (4.25)$$

burada, N görevin daha önceden yapılma sayısını göstermektedir. Deneyim zamanı, ilk görev için sıfır olmakta, daha sonra görevlerin yapılma sayısı arttıkça T_{max} ile GSGO değerinin çarpımı olan değere yaklaşmaktadır. Görevlerin yapılma süresi ise, T_{max} zamanından deneyim zamanının çıkarılması ile hesaplanmaktadır.

4.5 Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS)

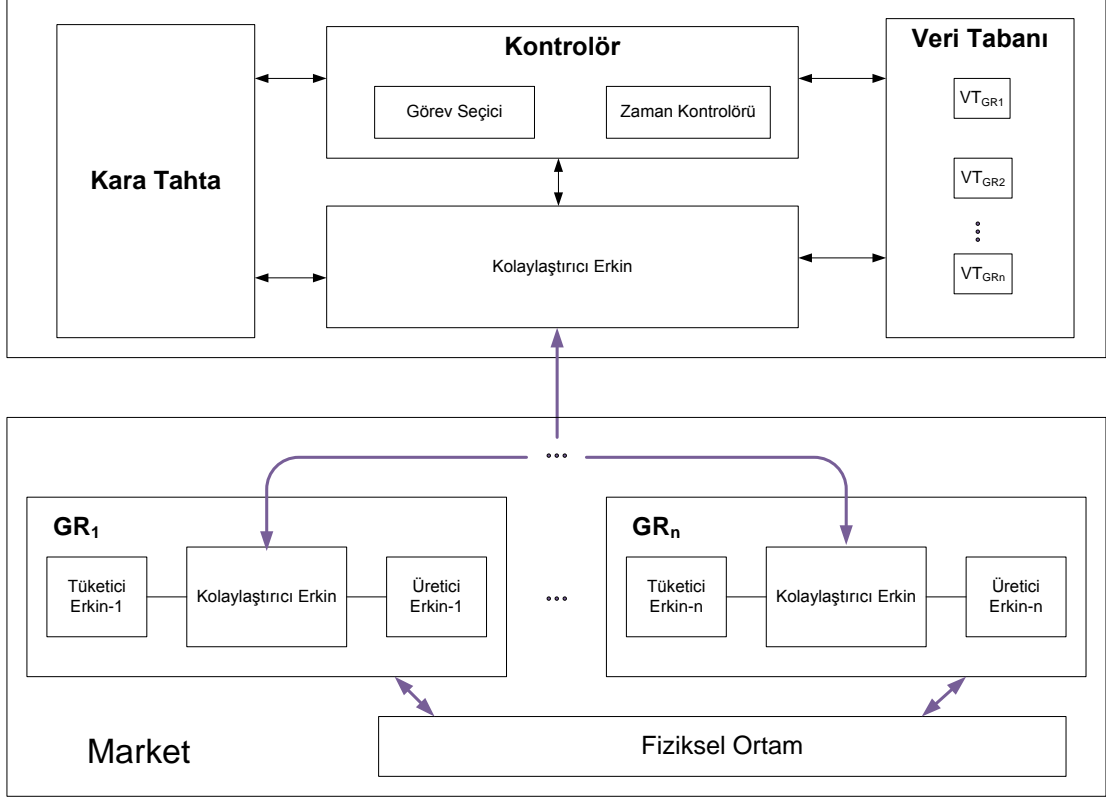
İnsan topluluklarında, iş yoğunluğu, görevi yapmak için gerekli şartların oluşmaması gibi sebeplerden bazı görevlerin daha sonra yapılmak üzere ertelendiği sıklıkla görülmektedir. Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS) bu temel kavram üzerine kurulmaktadır. Robotların da insanlar gibi yapamadıkları görevleri daha sonra tekrar ele almalarını sağlayan AGTAS ile robotların daha çok görev yapmaları ve kaynaklarını verimli kullanmaları amaçlanmaktadır. Market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımlarında görev tekrar anons sistemleri çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bunlardan biri yapılamayan görevlerin tekrar markete katılmasıdır. Görevlerin tekrar paylaşılması ise diğer bir kullanım amacıdır. Robotların görevlerini yerine getiremeyecek durumda olmaları, görevlerin yapılması esnasında oluşan haberleşme kayıpları ve gecikmeleri görevlerin robotlara tekrar dağıtılmasının sebepleri arasındadır (Nanjanath ve Gini, 2010).

Önerilen çalışmada, AGTAS, daha önceden kaynak bulunamadığı için yapılamayan görevleri tekrar markete dâhil etmek amacıyla market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımına eklenmiştir. AGTAS, Kara Tahta sistemleri (Corkill, 1991) olarak adlandırılan yaklaşımından esinlenerek geliştirilmiştir. Birçok araştırmacı, kara tahta yaklaşımlarının avantajlarının farkına vararak önerdikleri yöntemlerde bu sistemleri kullanmışlardır. AlHudhud ve Ayesha, (2008) yaptıkları çalışmada, robotlar arasında iletişimi sağlamak amacıyla iki seviyeli bir haberleşme modeli önermişlerdir. Alt seviye haberleşmede robotlar hareketlerini koordine ederek verilen görevleri yerine getirmek amacıyla yerel olarak haberleşmektedirler. Yüksek seviyeli haberleşme ise görevlerin dağıtılması amacıyla kurulmuştur. Bu seviyede kara tahta benzeri bir yapı önerilmiştir.

(Biswal ve Choudhury, 2007) müzayede tabanlı bir dinamik görev atama yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmada, dört farklı tipte görev paylaşırma stratejisi geliştirilmiş ve etkileri gösterilmiştir. Robot sisteminin ölçeklenebilir ve daha gürbüz olabilmesi için kara tahta tabanlı bir haberleşme önerilmiştir. Bu yaklaşımda, her robot kendi mevcut durumunu kara tahtaya yazmakta ve her robot kara tahtada yazan bilgileri okuyabilmektedir. Haberleşmenin hiç olmadığı durumda robotlar sadece kendi bilgilerini okuyabilmektedirler. Haberleşmenin olduğu durumlarda tüm robotlar aynı bilgiye ulaşabildikleri için robot takımının verimliliğini arttıracak şekilde kararlar alabilmektedirler.

(Sotzing, ve ark., 2007; Sotzing ve Lane, 2008) çoklu otonom sualtı araçlarının koordinasyonu problemini ele almışlardır. Haberleşmenin yetersiz olduğu okyanus yüzeyi gibi ortamlarda çoklu otonom sualtı araçlarını kontrol ve koordine etmek amacıyla bir mimari önermişlerdir. Bu mimaride, görev kontrolörü, görev modelleyicisi ve araçlarla ilgili verilerin bulunduğu veritabanı modülleri bulunmaktadır. Bu yapıda kara tahta benzeri bir yaklaşım görevlerin modellenmesi aşamasında kullanılmaktadır. Veri tabanı, görevde yer alan tüm araçların bilgilerini tutmaktadır. Görev kontrolörü ise karar mekanizmasının bulunduğu modüldür. Görev modelini ve araçların veri tabanını kullanarak üst seviye bir karar verme yapısı sağlamaktadır.

Önerilen AGTAS yapısı da üç temel modül içermektedir. Bu modüller Kara Tahta, Veri Tabanı ve Kontrolör olarak adlandırılmaktadır. AGTAS eklenmiş market tabanlı görev paylaşırma mimarisi Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.13 AGTAS Eklenmiş Market Tabanlı Görev Paylaştırma Mimarisi

Kara Tahta: Kara Tahta modülü daha önceden herhangi bir robota verilememiş görevleri daha sonra markete tekrar anons etmek amacıyla saklamaktadır. İlk olarak, gelen her göreve bir görevID ataması yapılmaktadır. Daha sonra, görev ismi, fiyat, öncelik, görevin başlangıç ve bitiş konumları, görevi yapmak için gerekli olan kaynaklar (yetenek veya gereç) gibi görev özellikleri görevle birlikte saklanmaktadır. Bununla birlikte görev kara tahtaya yazıldığı anda bir zaman sayacı da başlatılmaktadır. Bu noktada önemli bir soru ortaya çıkmaktadır: “Görevler ne kadar kara tahtada kalacaklar?”. Bu soruyu cevaplamak amacıyla market yapısının işleyişi incelenmiştir. Örneğin, bir çiftçi ürettiği sebze, meyve gibi ürünleri belirli bir süre içinde satmak durumundadır. Aksi halde, elindeki ürünler çürüyecektir. Bu durum, cep telefonu veya bilgisayar gibi süratle ilerleyen sektörler içinde geçerlidir. Üretici geliştirdiği yeni ürünü belirli bir süre içinde tüketemez ise, bu ürünün daha gelişmiş versiyonları markete girecek ve bu ürünler satılamayacaktır. Örneklerde de görüldüğü gibi

üreticinin ürettiği ürünleri (görevleri) satılma (yerine getirilme) süresinin anlamlı bir son tarihi olmalıdır. Dolayısıyla, bu zaman sayacı, görevin son tarihini kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Gelen her görev, parametreleri ve zaman sayacı ile kara tahtaya yazıldıktan sonra, bu görevler görevID, fiyat, öncelik veya görev için gerekli kaynaklar gibi görev parametreleri temel olarak sıralanmaktadır.

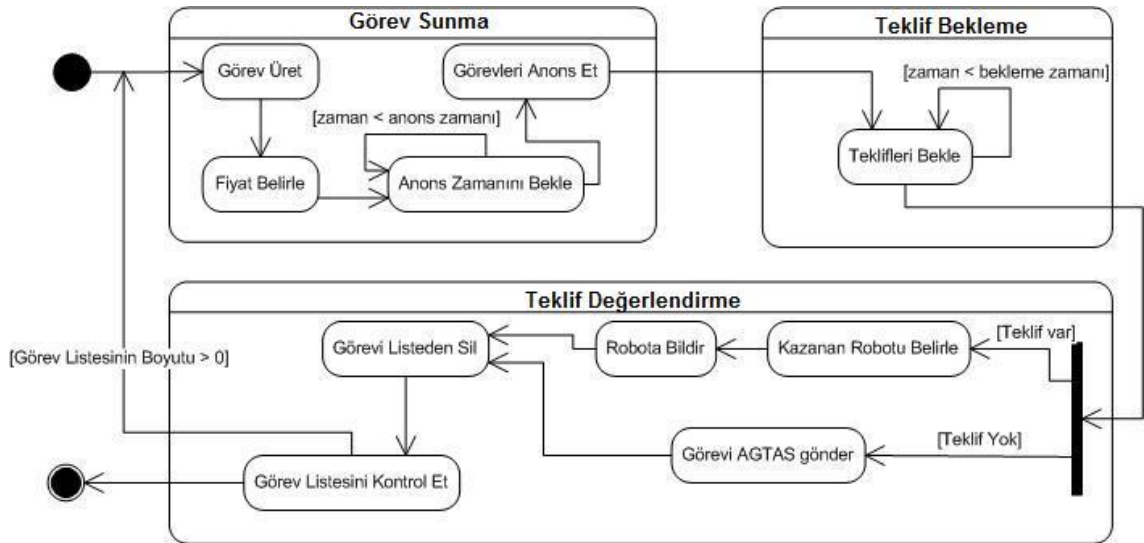
Veri Tabanı: Veri tabanı robot parametrelerini tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu modül her robot için bir alt modül içermektedir. Bu alt modüllerde robotID, ortalama hız, kütle, mevcut şarj, robotun konumu ve robotun kaynakları gibi robot parametreleri saklanmaktadır. Bu parametreler sürekli olarak güncellenmekte ve robotlara görev ataması yapan kontrolör tarafından kullanılmaktadır.

Kontrolör: Kontrolör AGTAS sisteminde, kara tahtada yazılı olan görevler arasında robotlara en uygun olanı belirlemek için kullanılan üst seviye bir planlayıcıdır. Kontrolör iki temel modül içermektedir. Bunlardan biri görev seçicidir. Görev seçici, tüketiciler için kara tahtada bulunan en uygun görevi seçmek için tasarlanmıştır. Kara tahtada bulunan görevler ve veri tabanında bulunan robot parametreleri karar verme sürecinde kullanılmaktadır. İlk olarak, kara tahtada sıralanmış halde bulunan görevler belirlenen görev parametresine göre süzülmemektedir. Daha sonra, görev seçici, süzülen görevler için gerekli olan kaynaklar ile robotun kaynaklarını karşılaştırmaktadır. Bu noktada, robotun yapabileceği birden çok görev var ise, bu görevlerden en yüksek fiyata sahip olanı kara tahtada bulunan en uygun görev olarak belirlenmekte ve robota atanmaktadır. Kontrolörde bulunan diğer alt modül ise zaman kontrolörü olarak adlandırılmaktadır. Zaman kontrolörü daha önceden belirlenmiş görev geçerlilik süresi ile görevin zaman sayacını karşılaştırmaktadır. Görev geçerlilik süresi, görevin fiyat, öncelik ya da kaynak gibi parametrelerinden bir göz önüne alınarak belirlenmekte ve görevin ne kadar süre kara tahta da yazılı kalabileceğini belirlemektedir. Görev geçerlilik süresinin fiyata göre belirlendiğinde, fiyatı yüksek olan görevler sistemde daha uzun süre, düşük fiyatlı görevler ise daha kısa süreler kara tahtaya yazılı olarak kalabilir. Eğer geçerlilik süresi, önceliğe göre belirlenirse, düşük öncelikli görevler uzun süreler kara tahtada kalırken, yüksek öncelikli görevler daha kısa süreler tahtada kalabilirler. Bu noktada önemli olan, görev geçerlilik süresinin

yapılacak olan uygulamaya göre kullanıcının tarafından belirleneceğidir. Zaman kontrol sürecinde, görevin zaman sayacı görev geçerlilik süresinden küçükse bu görev kara tahtada yazılı kalmakta, aksi takdirde tahtadan parametreleri ile birlikte silinmektedir.

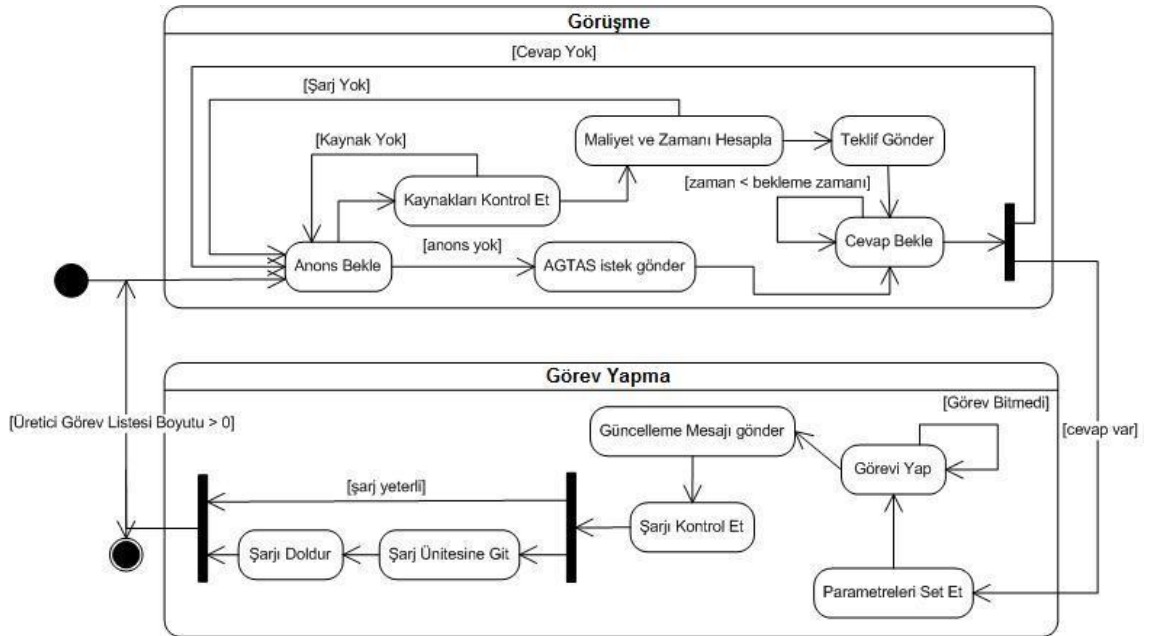
AGTAS temel olarak tüketicilerin ellerindeki görevleri tamamladıklarında tahtada bulunan görevleri yapmaları temeli üzerine kurulmuştur. Bu yaklaşımda, market içerisindeki üretici ve tüketici erkinlerin rollerinde bazı değişiklikler olmaktadır. Bu noktada sırasıyla Üretici, Tüketici Erkinlerin ve AGTAS sisteminin temel çalışma prensipleri anlatılacaktır.

Üretici Erkin: Üretici erkin geleneksel market tabanlı yapıdaki gibi temel olarak üç durumda bulunmaktadır. Görev sunma durumunda elindeki görevleri markete duyurmaktadır. Daha sonra tüketici erkinlerden gelecek olan teklifleri beklemekte ve bu teklifleri değerlendirmektedir. AGTAS yaklaşımında, üretici erkin, ilk iki temel durumda geleneksel market tabanlı yaklaşımlarla aynı prensiplere sahip olarak çalışmaktadır. Bununla birlikte, tekliflerin değerlendirilmesi durumunda, herhangi bir robota veremediği görevleri üretici listesinin sonuna eklemek yerine AGTAS'a göndermektedir. Üretici erkin durum diyagramı Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Üretici Erkin Durum Diyagramı (AGTAS)

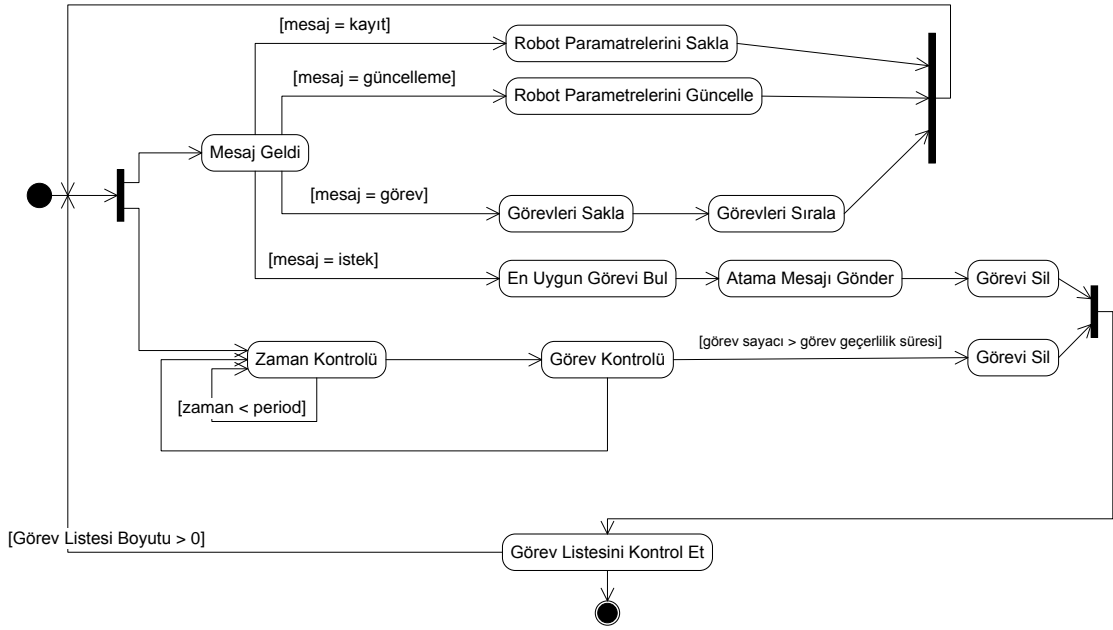
Tüketici Erkin: Tüketici erkin AGTAS yapısında görüşme ve görev yapma olarak adlandırılan iki temel durumda bulunmaktadır. Tüketici erkin robotun parametrelerini içeren kayıt mesajını AGTAS'a göndererek markette yerini almaktadır. Daha sonra, geleneksel market yapısında olduğu gibi üreticilerden gelecek olan anonsları beklemektedir. Ancak, AGTAS yapısında, geleneksel market yaklaşımından farklı bir durum oluşmaktadır. Tüketici erkin, üreticilerden gelecek olan görev anonsu için daha önceden belirlenmiş bir süre boyunca beklemektedir. Eğer bu süre dolmadan üreticilerden bir görev anonsu tüketiciye ulaşırsa, geleneksel market yapısında olduğu gibi gelen görev anonsu değerlendirilmektedir. Aksi takdirde, bu sürenin sonunda hiçbir üreticiden görev anonsu duyulmaz ise, tüketici AGTAS'dan görev istemektedir. AGTAS gelen isteği değerlendirerek uygun bir görev gönderebilir ya da kara tahtada bu tüketici için uygun bir görev de olmayabilir. AGTAS'dan uygun bir görev gelmişse, tüketici görev yapma durumuna geçmektedir. Aksi takdirde, robot yeni görev anonslarını beklemek üzere görüşme durumunda kalmaktadır. Tüketici erkinler, üreticilerden ya da AGTAS'dan gelen görevleri tamamladıktan sonra AGTAS'a bir güncelleme mesajı yollayarak, robotun mevcut parametrelerini güncellemektedirler. Tüketici erkin durum diyagramı Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Tüketici Erkin Durum Diyagramı (AGTAS)

AGTAS: AGTAS mesajlar tarafından yönetilen bir sistemdir. AGTAS ilk olarak tüketici erkinden gelen “*kayıt(robotID,robotParametreleri)*” mesajı ile çalışmaya başlamaktadır. Kayıt mesajının içeriğindeki robotID, hangi robotun sisteme kayıt yaptırdığını, robotParametreleri ise robotun ortalama hızı, bulunduğu konumu, mevcut şarj durumu gibi parametrelerini göstermektedir. Bu noktada, AGTAS robotID ile belirtilen alanda robotun parametrelerini saklamaktadır. Daha sonra AGTAS gelen mesajları kontrol etmektedir. Eğer gelen mesaj “*görev(görevİsmi,görevParametreleri,fiyat)*” mesajı ise, bu mesaj ile gelen görev ve parametrelerine hemen bir görevID atanmakta ve kara tahtanın sonuna yazılmaktadır. Daha sonra, kullanıcı tarafından belirlenen sıralama parametresine göre kara tahtadaki görevler sıralanmaktadır. Eğer gelen mesaj, “*istek(robotID)*” mesajı ise kontrolör, veri tabanında robotID ile gösterilen yerde saklanan parametreleri ve kara tahtadaki görevleri kullanarak istek yapan tüketici için en uygun görevi belirlemektedir. Ancak, bu kara tahtada her zaman robot için uygun bir görev olacak anlamı taşımamaktadır. Kontrolör, en uygun görevi bulduktan sonra, bu görevi “*atama(görevParametreleri,robotID)*” mesajı ile tüketici erkine bildirmektedir. Bu mesajda yer alan görevParametreleri, görevin süresi, maliyeti, başlangıç ve bitiş konumları gibi parametreler içermektedir. Son olarak, AGTAS “*güncelleme(robotID,robotParametreleri)*” mesajını kabul ettiğinde robotID ile gösterilen tüketicinin veri tabanında tutulan parametreleri güncellemektedir.

AGTAS, ilk görev kara tahtaya yazıldıktan sonra, tahtada bulunan görevlerin geçerliliklerini kontrol etmektedir. Periyodik olarak yapılan kontrollerde görevin zaman sayacı ile görevin geçerlilik süresi karşılaştırılmaktadır. Eğer görevin zaman sayacı, görevin geçerlilik süresini geçerse, bu görev kara tahtadan parametreleri ile birlikte silinmektedir. Bu süreç, kara tahtada görev kalmayıncaya kadar devam etmektedir. AGTAS’ın durum diyagramı Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 AGTAS Durum Diyagramı

BÖLÜM 5

UYGULAMALAR

Bu bölümde, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çözüm aramak için önerilen market tabanlı yaklaşımın verimliliğini göstermek üzere gerçekleştirilen uygulamalar sunulmaktadır. Önerilen yaklaşım, Linux işletim sistemi üzerinde C++ programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalarda, P3-DX gezgin robot platformu kullanılmıştır. Bu bölümün alt kısımlarında sırasıyla kullanılan robot platformunun ve test ortamının özelliklerine, görev ve robot takımı tanımlamalarına, fiyat ve maliyetin nasıl belirlendiği konularına yer verilecektir.

5.1 P3-DX Robot Platformu

Bu çalışmada, gerçekleştirilen uygulamalar esnasında ActivMedia (Mobile Robots, Inc., 2010) firmasının ürettiği Pioneer 3-DX gezgin robot platformu kullanılmıştır. Bu robot platformu, 44,5 cm. x 39,3 cm. x 23,7 cm boyutlarındadır. Diferansiyel sürüş yeteneğine sahip olan ve her biri ayrı servo motorla sürülen iki adet tekerlek robotun önünde, serbestçe harekete edebilen ve sarhoş olarak adlandırılan bir tekerlek ise robotun arkasında yer almaktadır. P3-DX robot platformu, çalışma ortamının algılanması amacıyla çeşitli algılayıcılarla donatılmıştır. Mesafe algılamak için, 8 adet önde ve 8 adet arkada olmak üzere toplam 16 adet ses üstü mesafe algılayıcısı ve 1 derece hassasiyete sahip 180 ışın ile ölçüm yapan SICK LMS200 lazer uzaklıkölçer kullanılmaktadır. Yerel konumu hesaplamak amacıyla tekerleklere monte edilmiş adım sayıcılar (encoderler); robotun yönünü algılayabilmesi için sayısal bir pusula ve robotun arkasında oluşabilecek çarpışmaları algılamak üzere tampon anahtarları (bumper) robot platformunun üzerinde yer almaktadır. Dönme, eğilme ve yakınlaştırma özelliklerine sahip Canon VC-C4 kamera görsel algılamada kullanılmaktadır. Ayrıca, nesne tutmak ve taşımak amacıyla 2 serbestlik derecesine sahip bir tutucu mekanizması robotun ön kısmında yer almaktadır. P3-DX gezgin robot platformu Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

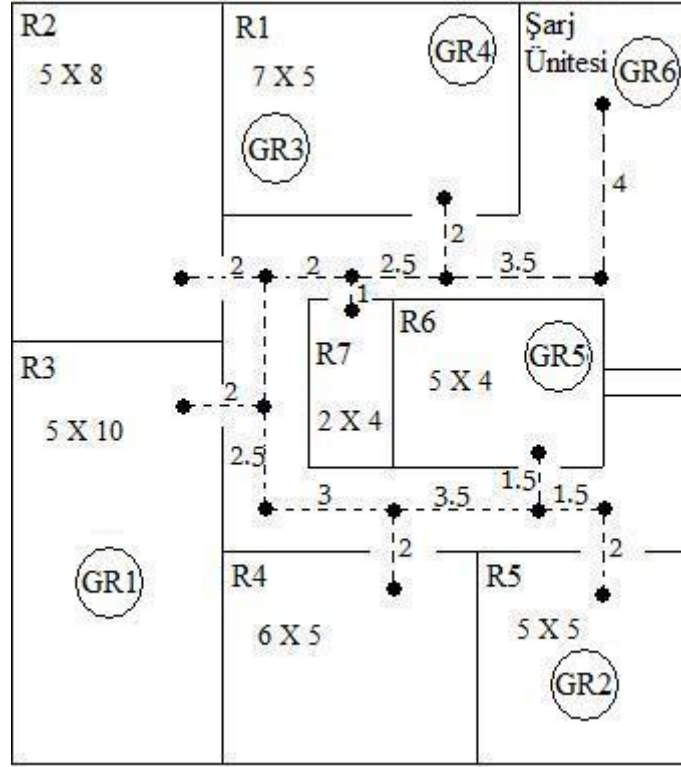


Şekil 5.1 Pioneer 3-DX gezgin robot platformu

Pentium tabanlı işlemciye ve Linux tabanlı bir işletim sistemine sahip olan bir bilgisayar P3-DX robot platformunun içinde yer almaktadır. Robotlar üzerlerinde buldukları Kablosuz Ethernet özelliği ile ortamdaki bilgisayarlar ve diğer robotlarla haberleşebilmektedir.

5.2 Test Ortamı

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla Şekil 5.2’de gösterilen deney ortamı kullanılmıştır. Şekil 5.2’de yedi oda ($R_i, i = 1, \dots, 7$) ve altı gezgin robot ($GR_j, j = 1, \dots, 6$) bulunmaktadır. Odaların boyutları metre cinsinden $x \times y$ formatında verilmiştir. Ortamdaki her nokta (*) bir düğümü göstermektedir. Kesikli çizgiler üzerindeki rakamlar iki düğüm arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu mesafeler fiyat ve maliyetin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Deney ortamının sağ üst köşesinde robotların şarjlarının tükendiği anda ziyaret ettikleri şarj ünitesi bulunmaktadır. Başlangıçta robotlar çember içinde isimlerinin olduğu odada bulunmaktadır.



Şekil 5.2 Deney Ortamı

5.3 Görevler ve Robot Takımı

Önerilen yaklaşım üç farklı görev kullanılarak uygulanmıştır. Bu görevler:

1. Bir odanın temizlenmesi,
2. Bir nesnenin bir odadan diğer bir odaya taşınması,
3. Bir odanın belirli bir süre gözlemlenmesi.

olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, her görev tipi üç önemli özelliğe sahiptir:

1. Hassasiyet,
2. Öncelik,
3. Görev Tamamlama Süresi.

Görevlerin sahip olabileceği hassasiyet özelliği, görevin ne kadar hassas yapılacağını tanımlamaktadır. Bir başka deyişle görevin ne kadar kaliteli yapılacağını belirlemektedir. Örneğin, bir taşıma görevinde hassasiyet taşınacak nesnenin tipine göre değişmektedir. Kristal bir nesne ile plastik bir nesnenin taşınma hassasiyetleri birbirinden farklı olmaktadır. Temizleme görevi için benzer bir örnek, nükleer bir atığın temizlenmesi ve evsel bir atığın temizlenmesi görevleri için verilebilmektedir. Nükleer atığı temizlemek için robotların farklı araç gereç ve yeteneklere sahip olmaları gerekebilmektedir. Gözleme görevinde ise, gözleme yapılacak yerin durumu hassasiyet özelliği ile belirlenebilmektedir. Bir park veya bahçe ile bir bankanın gözlemlenmesi farklı yapıda görevlerdir. Bu çalışmada, görevler düşük ve yüksek olmak üzere iki hassasiyet derecesine sahiptirler. Önerilen yaklaşımda iki hassasiyet derecesine sahip olabilecek üç farklı görevi yapmak için gerekli olan araç gereç ve yetenekler farklı olmak durumundadır. Bu çalışmada, görevleri yapmak için gerekli olan yetenek gezgin olma, kullanılan araç gereçler ise ses üstü mesafe algılayıcı, lazer uzaklıkölçer, kamera ve tutucu olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1’de görevler ve görevleri yapmak için gerekli olan yetenek ve gereçler verilmiştir. Temizleme1 ve Temizleme2 görevleri sırasıyla düşük ve yüksek hassasiyetteki temizleme görevlerini göstermektedir. Taşıma ve Gözleme görevleri de aynı notasyon kullanılarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Görevler ve Görevleri Yapmak için Gerekenler

Gerekenler	Ses Üstü	Lazer	Kamera	Tutucu	Gezgin Olma
Temizleme1	✓	X	X	X	✓
Taşıma1	X	X	X	✓	✓
Gözleme1	X	✓	X	X	✓
Temizleme2	✓	X	✓	X	✓
Taşıma2	X	✓	X	✓	✓
Gözleme2	X	✓	✓	X	✓

Görevlerin sahip olabileceği ikinci özellik önceliklidir. Görevler, daha sonraki görevlerin yapılabilmesi ya da acil olarak yapılması gerektiği için diğer görevlere göre önceliğe sahip olabilmektedirler. Örneğin, bir odayı temizlemeden önce odadaki eşyaların başka bir odaya taşınmaları gerekebilir. Bir diğer örnek ise odalardan birinde yabancı bir kimse olduğu düşünülerek bu odanın acil olarak gözlemlenmesi gerektiği durum için verilebilir.

Son olarak, görevlerin belirli bir tamamlanma süresi olabilir. Örneğin, şarj ünitesine gitmekte olan robotların koridorda bulunan bir nesne yüzünden koridorda sıkışıp kaldıklarını düşünelim. Bu durumda, bu nesnenin diğer robotların şarj bitmeden hemen bu nesneyi bir odaya taşınmaları gerekmektedir. Aksi takdirde, şarj ünitesine gitmek isteyen robotların enerjileri tükenecek ve çalışamaz hale geleceklerdir. Bir diğer örnek ise, bir odadaki nükleer atığı temizleyen bir robotun bozulduğu durum için verilebilir. Bu durumda, bu görevi yapabilecek ve bu odaya en yakın olan robotun bu görevi belirlenen süre içinde tamamlaması gerekmektedir. Aksi takdirde, nükleer atık yayılarak, ortamda bulunan insan ve robotlara zarar verebilir.

Bu çalışmada, her üretici 30 görev üretmektedir. Görevler rassal olarak ve her görev tipinden yaklaşık aynı sayıda olacak şekilde üretilmektedir. Üretilen görevler düşük ve yüksek olmak üzere iki hassasiyet derecesine, düşük, normal ve yüksek olmak üzere üç öncelik seviyesine sahiptirler. Yüksek hassasiyete sahip görevler tüm görevlerin %30'unu oluşturmaktadırlar. Benzer şekilde, tüm görevlerin %30'u görev tamamlama süresine sahiptir. Normal öncelikli, yüksek öncelikli ve düşük öncelikli görevler sırasıyla tüm görevlerin %60, %20 ve %20'sini oluşturmaktadırlar.

Önerilen yöntem altı robottan oluşan bir robot takımı kullanılarak uygulanmıştır. Robot takımında bulunan üyelerin tamamını P3-DX robotlar oluşturmaktadır. Robotlar ses üstü mesafe algılayıcı, lazer uzaklıkölçer, kamera, tutucu gibi araç-gereçlere ve gezgin olma gibi yeteneklere sahip olabilmektedirler. Robot takımındaki her üyenin bu araç-gereçlerin tamamına sahip olması çeşitli sakıncalar içermektedir. Bunlardan birisi, robotları donatmak için gerekli olan maliyettir. Robotların üzerlerinde bulunan kamera ve lazer uzaklıkölçer gibi algılayıcılar yüksek ücretler karşılığında satın alınmaktadırlar.

Ayrıca, robotların üzerinde bulunan algılayıcıların bir ağırlığı vardır. Robotlar üzerlerinde taşıdıkları her gram için enerji harcamaktadırlar. Bu noktada, robotların farklı yetenek ve araç-gerece sahip olarak bazı görevlerde uzmanlaşmalarının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Çizelge 5.2’de robotlar ve yapabilecekleri görevler verilmiştir. Robot takımının birinci ve dördüncü üyeleri temizleme görevlerinde, üçüncü ve altıncı üyeleri ise gözlemlene görevlerinde uzmanlaşmışlardır. Bununla beraber ikinci ve beşinci robotlar hem taşıma hem de gözlemlene görevleri yapabilmektedir.

Çizelge 5.2 Robotlar ve Yapabilecekleri Görevler

Robotlar Görevler	GR₁	GR₂	GR₃	GR₄	GR₅	GR₆
Temizleme1	✓	X	X	✓	X	X
Taşıma1	X	✓	X	X	✓	X
Gözlemlene1	X	✓	✓	X	✓	✓
Temizleme2	✓	X	X	X	X	X
Taşıma2	X	✓	X	X	✓	X
Gözlemlene2	X	X	✓	X	X	X

Robotların uzmanlaşacakları görevler belli olduktan sonra bu görevler için gerekli olan araç-gereç ve yeteneklerle donatılmaları gerekmektedir. Örneğin, altıncı robot Gözlemlene1 görevinde uzmanlaşacaktır. Bu görevi yerine getirebilmesi için lazer uzaklıkölçer algılayıcısı ile gezgin olma yeteneğine sahip olmalıdır. Benzer şekilde, dördüncü robotunda Temizleme1 görevinde uzmanlaşabilmesi için ses üstü mesafe algılayıcısı ve gezgin olma yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Bununla birlikte, birden çok görev yapan beşinci robotun yapacağı tüm görevler için gerekli olan araç-gereç ve yetenekleri bünyesinde barındırması zorunludur. Çizelge 5.3’te robotlar ve sahip oldukları özellikler verilmiştir.

Çizelge 5.3 Robotlar ve Sahip Oldukları Özellikler

Özellikler Robotlar	Ses Üstü	Lazer	Kamera	Tutucu	Gezgin Olma
Robot 1	✓	X	✓	X	✓
Robot 2	X	✓	X	✓	✓
Robot 3	X	✓	✓	X	✓
Robot 4	✓	X	X	X	✓
Robot 5	X	✓	X	✓	✓
Robot 6	X	✓	X	X	✓

Robotlar donanımsal olarak farklı görevler için uzmanlaşmış olmalarına rağmen bazı görevleri hâlâ birden çok robot yapabilmektedir. Örneğin, Temizleme1 görevi birinci ve dördüncü robotlar tarafından, Taşıma1 görevi ikinci ve beşinci robotlar tarafından yapılabilmektedir. Bu durum Temizleme2 ve Gözleme2 görevleri dışında geri kalan tüm görevler için söz konusu olmaktadır. Bu noktada, birden çok robot tarafından yapılabilecek görevleri hangi robotun yapacağına karar vermek gerekmektedir. Bu kararın verilmesinde, robotlardan hangisinin görevin yapılmaya başlanacağı konuma yakın olduğu, robotların bu konuma ne kadar zamanda varacakları, görevleri yapabilecek şarj sahip olup olmadıkları gibi faktörler etkili olmaktadır. Böylece robotlar üzerindeki donanımlarla farklılaştıkları gibi, sahip oldukları, robot konumu, mevcut şarj, ortalama hız gibi parametreler ile de birbirlerinden farklılaşmaktadırlar. Çizelge 5.4'te robotların başlangıç durumunda sahip oldukları parametreler verilmiştir. Robotların tamamı başlangıçta farklı enerji seviyelerine sahiptirler. Tutma ve bırakma zamanları taşıma görevi yapabilen robotlar için beş saniye olarak belirlenmiştir. Robotların başlangıç konumu '0' ile gösterilen altıncı robot şarj ünitesinin yanında bulunmaktadır.

Çizelge 5.4 Robotların Başlangıç Parametreleri

Robotlar Görevler	GR ₁	GR ₂	GR ₃	GR ₄	GR ₅	GR ₆
Mevcut Şarj	20%	10%	40%	60%	50%	30%
Maksimum Şarj (kW-s)	300	300	300	300	300	300
Ortalama Hız(m/s)	0.15	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2
Tutma Zamanı(s)	0	5	0	0	5	0
Bırakma Zamanı(s)	0	5	0	0	5	0
Robot Konumu (Oda)	3	5	1	1	6	0

5.4 Fiyat ve Maliyetin Belirlenmesi

Önerilen yaklaşımda, bir görevin fiyatı ve maliyeti enerji cinsinden hesaplanmaktadır. Bu noktada, P3-DX robot platformunun güç modelinden yararlanılmaktadır. Bu robot platformu için hareket veren ve ses üstü mesafe algılayıcı güçleri sırasıyla Denklem 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Bu denklemlerde kullanılan parametrelerin değerleri $a = 0.6 \text{ m/s}$, $g = 9.9 \text{ m/s}^2$, $\mu = 0.02$, $P_l = 0.25 \text{ W}$, $c_0 = 0.51$, $c_1 = 0.0039$, $f_s = 40 \text{ Hz}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, aküleri ile birlikte Pioneer 3-DX robot platformu 9 kg, lazer uzaklık-ölçer 4.5 kg, kamera 0.375 kg, ve tutucular 1.125 kg ağırlığındadır. Lazerin (SICK, Inc., 2010), kameranın (CANON, Inc., 2010) ve tutucuların (Mobile Robots, Inc., 2010) harcadıkları güç, üreticilerinin resmi internet sitelerinden elde edilmiştir. Lazer, kamera ve tutucuların harcadıkları güçler sırasıyla 20, 12 ve 12 W olarak belirlenmiştir. Robotlar algılayıcı ve hareket verenlerinin dışında hesaplama ve mikro kontrolör için de güç harcamaktadırlar. Mei, ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, P3-DX robot platformunda bulunan mikro kontrolörün 4.6W, bilgisayarın ise 12W güç harcadıklarını saptamışlardır.

Bir görevin fiyatı ve maliyetinin belirlenmesi için görevin süresinin ve bu süre boyunca hangi gereçler tarafından ne kadar enerji harcandığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bir görevin süresi, görevin yapılacağı yere gitmek ve görevi yapmak için gerekli olan sürelerin toplanması ile elde edilmektedir (Denklem 5.1).

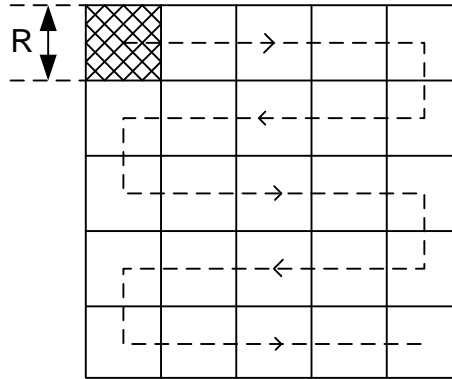
$$\text{Görev Süresi} = \text{Göreve gitme süresi} + \text{Görevi yapma süresi} \quad (5.1)$$

Göreve gitme süresinin hesaplanması esnasında ortamda bulunan odalar arasındaki mesafeleri metre cinsinden gösteren uzaklık matrisinden yararlanılmaktadır (Çizelge 5.5). Robotlar buldukları oda ile gidecekleri oda arasındaki mesafeyi bu matrisi kullanarak elde etmektedirler. Daha sonra, gidecekleri mesafeyi kendi hızlarına bölerek görevin başlayacağı odaya gitmek için gerekli olan süreyi hesaplamaktadırlar.

Çizelge 5.5 Uzaklık Matrisi

metre	Şarj Ü.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Şarj Ü.	0	9.5	14	17	22.5	27.5	25.5	11
R1	9.5	0	8.5	11.5	17	22	20	5.5
R2	14	8.5	0	7	12.5	17.5	15.5	5
R3	17	11.5	7	0	9.5	14.5	12.5	8
R4	22.5	17	12.5	9.5	0	9	7	13.5
R5	27.5	22	17.5	14.5	9	0	5	18.5
R6	25.5	20	15.5	12.5	7	5	0	16.5
R7	11	5.5	5	8	13.5	18.5	16.5	0

Görevi yapma süresi ise görevin tipi ile yakından ilişkilidir. Bu noktadan itibaren, üç farklı görev tipi için görev sürelerinin nasıl hesaplandığı kısaca anlatılacaktır. Temizleme görevi için örnek bir durum Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Temizleme Görevi

Bu örnekte, robot sol üst köşedeki taralı alanda bulunmakta ve ok yönünde hareket ederek bulunduğu odayı temizlemektedir. Temizleme süresi Denklem 5.2’de gösterilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Temizleme\ süresi = \frac{x \times y}{R \times v} \quad (5.2)$$

burada, R robotun çapını, v robotun doğrusal hızını, x temizlenecek odanın enini ve y ise temizlenecek odanın boyunu göstermektedir.

Taşıma görevi bir A noktasından B noktasına kadar bir nesnenin taşınması olarak tanımlanmıştır. Bu noktada robotun A noktasında taşıma görevine başlamadan önce nesneyi tutması ve B noktasında ise görevi tamamlamak için nesneyi bırakması gerekmektedir. Dolayısıyla robot, nesneyi tutmak, taşımak ve bırakmak için zaman harcamaktadır (Denklem 5.3).

$$Taşıma\ süresi = tutma\ zamanı + \frac{|AB|}{v} + bırakma\ zamanı \quad (5.3)$$

Gözlemlene görevi ise, kullanıcı tarafından önceden belirlenen bir süre boyunca odanın gözlemlenmesi olarak tanımlanmaktadır.

Görevi yapma süresinin hesaplanmasında bir diğer önemli özellik hassasiyettir. Yüksek dereceli hassasiyete sahip görevlerin daha dikkatli ve yavaş yapılması gerekmektedir. Bu durumdan görevlerin yapılma sürelerine de etkilemektedir. Yapılan çalışmada, yüksek hassasiyete sahip görevlerin süresi, düşük hassasiyete sahip görevlerin süresinin iki katı olarak kabul edilmektedir.

Görevin enerjisi ise göreve gitme ve görev yapma süresi boyunca harcanan enerjiler toplanarak hesaplanmaktadır. Görevi yapmak için görevin başladığı noktaya doğru giderken sadece hareket verenler (P_m) için enerji harcadığı varsayılmaktadır. Görevi yapma esnasında ise robotun bu görev için kullandığı tüm kaynakların

güçlerinin toplamı (P_t) ile görev yapma süresi çarpılarak görev yapma enerjisi elde edilmektedir. Görevin yapmak için gerekli olan toplam enerji Denklem 5.4'te verilmiştir.

$$\text{Görev Enerjisi} = \text{Göreve gitme süresi} \times P_m + \text{Görevi yapma süresi} \times P_t \quad (5.4)$$

Bu noktada, bir görevin fiyatı ve maliyetinin nasıl hesaplandığını göstermek amacıyla bir taşıma görevinin markete sunulduğunu varsayalım. Görev dördüncü odadan ikinci odaya yüksek hassasiyetle bir nesnenin taşınması olarak tanımlanmıştır. Bu görev için fiyatın oluşturulması esnasında, ortamda bulunan ve uygun durumda olan tüm robotların bu görev için teklif verebilmesi için, en kötü durum göz önüne alınmaktadır. Bir başka deyişle, fiyat, üzerinde tüm algılayıcıların olduğu robot takımındaki en yavaş robotun, görevin başlayacağı odaya en uzak odada olduğu varsayılarak hesaplanmaktadır. Bu durumda robot, görevin başlayacağı dördüncü odaya en uzak yer olan şarj ünitesinde bulunmakta ve hızı da robot takımındaki en yavaş robotun hızı olan $0.1m/s^2$ eşit olmaktadır. Ayrıca, robot üzerinde tüm algılayıcıları bulundurmakta ve ağırlığı da 15Kg olmaktadır. Bu durumda, göreve gitme ve görevi yapma süreleri Denklem 5.5 ve 5.6'da hesaplanmaktadır:

$$\text{göreve gitme süresi} = \frac{22.5}{0.1} = 225 \text{ saniye} \quad (5.5)$$

$$\text{görev yapma süresi} = 5 + \frac{12.5}{0.1} + 5 = 135 \text{ saniye} \quad (5.6)$$

Görev yüksek hassasiyete sahip olduğu için hesaplanan görev yapma süresi denklemlerle bulunan sürenin iki katı olacaktır. Göreve gitme süresi boyunca sadece hareket verenler için enerji harcanmaktadır. Bununla birlikte, görev yapma süresince Taşıma2 görevini yerine getirmek için lazer uzaklıkölçer, tutucular ve hareket verenler için enerji harcanmaktadır. Bu durumda göreve gitme ve görevi yapma enerjileri Denklem 5.7 ve 5.8'de verilmektedir:

$$gitme\ enerjisi = 225 \times [0.25 + 15 \times (0.6 + 9.8 \times 0.02) \times 0.1] = 324.9 \quad (5.7)$$

$$yapma\ enerjisi = 270 \times (20 + 12 + 1.444) = 9029.88 \quad (5.8)$$

Dolayısıyla, bu görevin fiyatı bu iki enerjinin toplamı olan 9,354 *kW-saniye* olacaktır. Bununla beraber, görevler yüksek hassasiyet, yüksek öncelik ya da görev tamamlama süresi gibi özelliklere sahiplerse hesaplanan bu fiyat belirli katsayılarla çarpılmaktadır. Bu çalışmada, yüksek hassasiyete sahip görevlerin fiyatları, düşük hassasiyete sahip görevlerin 1.5 katı, normal ve yüksek önceliklere sahip görevlerin fiyatları, düşük önceliğe sahip görevlerin sırasıyla 1.5 ve 2 katlarıdır. Ayrıca görev tamamlanma süresi içinde, her fazla saniye için 5watt-saat ek ücret fiyata eklenmektedir. Sonuç olarak, örnekte görev markete 1,4032 *kW-saniye* fiyatı ile anons edilecektir.

Anons edilen bu görev için beşinci robotun bir maliyet hesapladığını varsayalım. Ayrıca, robotların başlangıç parametrelerine sahip olduğunu düşünelim. Bu durumda, robot, altıncı odada bulunmakta ve hızı da $0.3m/s^2$ olmaktadır. Ayrıca, robot üzerinde lazer uzaklıkölçer ve tutucu algılayıcılarını bulundurmakta ve ağırlığı da 14.625Kg olmaktadır. Bu durumda, göreve gitme ve görevi yapma süreleri Denklem 5.9 ve 5.10'da, göreve gitme ve görevi yapma enerjileri Denklem 5.11 ve 5.12'de hesaplanmaktadır:

$$göreve\ gitme\ süresi = \frac{7}{0.3} = 23.33\ saniye \quad (5.9)$$

$$görev\ yapma\ süresi = 5 + \frac{12.5}{0.3} + 5 = 51.67\ saniye \quad (5.10)$$

$$gitme\ enerjisi = 23.33 \times [0.25 + 14.625 \times (0.6 + 9.8 \times 0.02) \times 0.3] = 87.31 \quad (5.11)$$

$$yapma\ enerjisi = 51.67 \times (20 + 12 + 3.742) = 1846.79 \quad (5.12)$$

Dolayısıyla, bu görevin beşinci robot için maliyeti 3,780*kW-saniye* olacaktır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLARIN ANALİZİ

Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çözüm arayan yaklaşımlar, genellikle, robotlar arasındaki koordinasyonu arttırarak robotların kaynaklarını yüksek verimle kullanılmalarını ve kendilerine verilen görevlerin mümkün olduğunca çoğunu yerine getirmelerini amaçlamaktadır. Ancak, robotlar arası koordinasyonun arttırılması için robotların birbirleriyle sıkça haberleşmeleri ve daha çok bilgi paylaşmaları gerekmektedir. Böylece, haberleşme yükü artacaktır. Ayrıca, robotlar kendilerine verilen görevleri tamamlamak üzere sahip oldukları kaynakları kullanmaktadırlar. Dolayısıyla, kaynakların kullanımındaki verimlilik arttıkça robotların tamamlayacağı görevlerin sayısı da artacaktır. Sonuç olarak, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma yaklaşımları üç temel ölçüt göz önüne alınarak değerlendirilmelidir:

1. Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi
2. Haberleşme
3. Kaynak Kullanımı

Bu bölümde, ilk olarak önerilen ve kullanılan müzayede sonlandırma algoritmaları bu üç temel ölçüt çerçevesinde analiz edilecektir. Daha sonra en iyi olduğuna karar verilen müzayede sonlandırma algoritması kullanılarak sırasıyla keşfederek öğrenme ve AGTAS yaklaşımları incelenecektir. Bu yaklaşımlarda, tanımlanan parametrelerin ölçütler üzerindeki etkileri tartışılacaktır.

6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları

Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemine çözüm arayan çalışmalarda, hangi robotun hangi görevi yapacağına müzayede sonlandırma algoritmaları kullanılarak karar verilmektedir. Bu çalışmada, GEYTSAR ve REYTSAG olarak adlandırılan iki sezgisel müzayede sonlandırma algoritması

önerilmiştir. Bununla birlikte, geçmiş çalışmalarda yer alan Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, görev paylaşırma probleminin esasında bir atama problemi olduğu düşünölmüş ve bu problemi çözmek için Macar Algoritması kullanılmıştır. Önerilen ve kullanılan müzayede sonlandırma yaklaşımları tamamlanan görevlerin yüzdesi, haberleşme yükü ve kaynak kullanımı olarak adlandırılan üç temel ölçüt göz önüne alınarak incelenecektir.

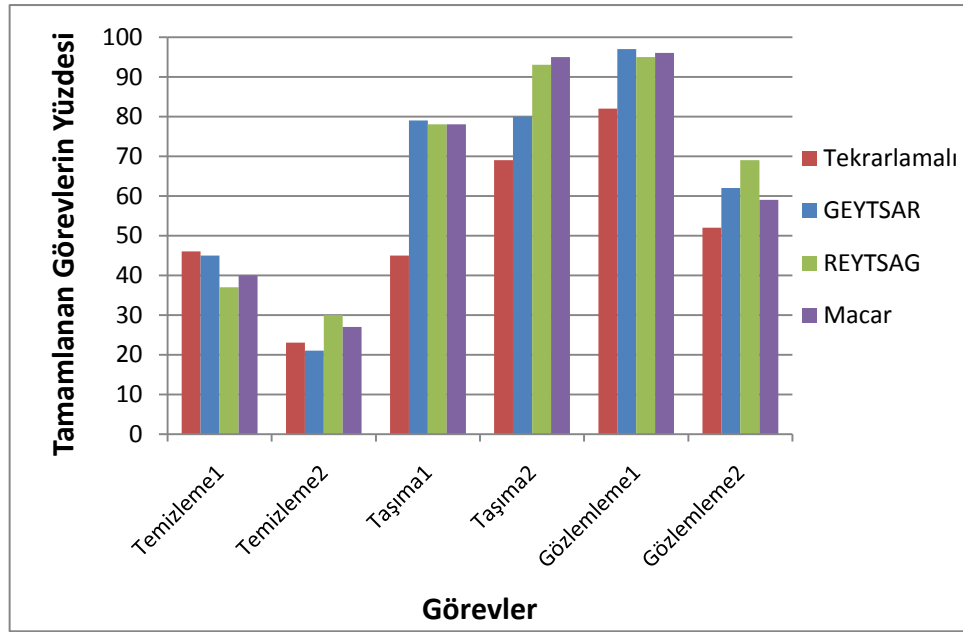
6.1.1 Tamamlanan görevlerin yüzdesi

Çok robotlu sistemlerde görev paylaşırılması esnasında, robotların kendilerine verilen görevlerin mümkün olduğunca çoğunu yapmaları beklenmektedir. Bununla birlikte, görevlerin yapılması için gerekli kaynakların kısıtlı olması ve robotların herhangi bir sebepten dolayı çalışamaz hale gelmesi gibi sebepler nedeniyle görevlerin bazıları yapılamamaktadır. Bu bölümde, robotların kendilerine atanan görevleri tamamladıkları varsayılarak önerilen ve kullanılan algoritmalar tamamlanan görevlerin yüzdesi açısından incelenecektir.

Bu çalışmada, önerilen yaklaşımda kullanılan müzayede sonlandırma algoritmaları üç saati aşkın bir süre test edilmiştir. Her algoritma için testler 10 kere tekrarlanmıştır. Müzayede sonlandırma algoritmaları için elde edilen tamamlanan görevlerin yüzdeleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekildeki Temizleme1 ve Temizleme2 görevleri sırasıyla yüksek ve düşük hassasiyete sahip temizleme görevlerini göstermektedir. Taşıma ve gözlemlene görevleri de aynı notasyon kullanılarak gösterilmektedir.

Görevlerin bazıları bu görevleri yapacak robotun veya robotların başka bir görevi yapması ya da şarj ünitesinde olması sebebiyle yapılamamıştır. Bu noktada, temizleme görevlerinin tamamlanma yüzdesi en düşük olmuştur. Bunun sebebi, Temizleme1 görevinin iki robot (GR_1 ve GR_4) ve Temizleme2 görevinin ise sadece (GR_4) tarafından yapılmasıdır. Ayrıca, temizleme görevlerinin süresi, taşıma ve gözlemlene görevlerine göre oldukça uzun olduğuna için, temizleme görevlerini yapan robotlar uzun süre aynı görevi yapmakla meşgul olmakta ve anons edilen diğer

görevleri yapma şansını elde edememektedirler. Benzer şekilde, gözlemlene2 görevi de sadece (GR₃) tarafından yapıldığı ve bu görevi yapmak için gerekli olan süre taşıma görevleri ve gözlemlene1 görevi için gerekli olan süreden daha fazla olduğu için tamamlanan görüntüleme2 görevi yüzdesi de düşüktür. Sonuç olarak, bir görev tipi için tamamlanan görevlerin yüzdesi, görevi yapabilecek yeteneğe sahip robot sayısı ve görevi yapmak için gerekli olan süre ile yakından ilişkilidir.



Şekil 6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi

Bu noktada, müzayede sonlandırma algoritmalarının da tamamlanan görevlerin yüzdesine önemli etkilerinin olduğu açıktır. GEYTSAR müzayede sonlandırma yaklaşımı, görevler için en yüksek teklif veren robotlara görevleri atamaktadır. Bu durumda, robotlar yüksek hassasiyetli, yüksek öncelikli ve görev tamamlama süresi gibi özelliklere sahip görevler ile bu özelliklere sahip olmayan görevleri aynı seviyede görmektedir. Dolayısıyla, GEYTSAR müzayede sonlandırma yöntemi kullanıldığında Temizleme1, Taşıma1 ve Gözlemlene1 gibi özellik taşımayan görevler için diğer müzayede sonlandırma algoritmalarına göre daha yüksek tamamlanma yüzdeleri elde edilmektedir. Ancak, yüksek özellikli görevler için GEYTSAR diğer müzayede sonlandırma yöntemlerine göre daha düşük tamamlanma yüzdesi sağlamaktadır.

Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımında, müzayedenin sonlandırılması için markette bulunan tüm robotların memnun olacağı bir noktada, bir başka deyişle, denge noktasında olunması gerekmektedir. Bunu sağlamak için, robotlar arasında süren görüşmeler uzamakta ve tamamlanan görevlerin yüzdesi önemli ölçüde düşmektedir. Diğer yandan, yapılacak görevin süresi, görevi yapmaya hak kazanmak için yapılan görüşmelerin süresinden çok daha kısa ise, tamamlanan görevlerin yüzdesi dramatik olarak azalmaktadır. Bu çalışmada, taşıma ve gözlemlene görevlerinin süresi, görevleri yapmak için gerekli olan görüşme süresinden kısa oldukları için, tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı diğer müzayede sonlandırma yaklaşımlarına göre oldukça düşük görev tamamlama yüzdelerine sahiptir. Bununla birlikte, tekrarlamalı yaklaşım, robot takımının kârını enbüyüklemeye çalışmaktadır. Dolayısıyla, yüksek özellikli görevlerin tamamlanma yüzdesine bakıldığında, diğer yaklaşımlarla arasında oluşan fark azalmaktadır.

REYTSAG müzayede sonlandırma yaklaşımı, robotlara en yüksek kârı elde edecekleri görevleri atamayı amaçlamaktadır. Yüksek özelliklere sahip görevler daha yüksek fiyatlara sahip oldukları için, bu yaklaşım yüksek hassasiyet, yüksek öncelik ve görev tamamlama süresine sahip görevlere daha çok ilgi göstermektedir. Dolayısıyla, REYTSAG müzayede sonlandırma yöntemi kullanıldığında Temizleme2, Taşıma2 ve Gözlemlene2 gibi yüksek özellikli görevler için diğer müzayede sonlandırma algoritmalarına göre daha yüksek tamamlanma yüzdeleri elde edilmektedir. Bununla birlikte, düşük özellikli görevler için REYTSAG diğer müzayede sonlandırma yöntemlerine göre daha düşük tamamlanma yüzdesi sağlamaktadır.

Macar Algoritması, robot takımının kârını enbüyüklemeye çalışarak en iyi atamayı yapmaktadır. Macar Algoritması ve REYTSAG ile elde edilen sonuçlar birbirine çok benzerdir. Ancak, Temizleme2 ve Gözlemlene2 görevleri dışındaki tüm görevler için Macar Algoritması REYTSAG yaklaşımından biraz daha yüksek görev tamamlama yüzdesine sahiptir. Bu durum, Macar Algoritmasının robot-görev arasında tam eşleşme yapması ile açıklanmaktadır. Çizelge 6.1'de görevlerin özelliklerine göre tamamlanan görevlerin yüzdeleri detaylı bir şekilde verilmektedir.

Çizelge 6.1 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri

Görevler		Algoritmalar			
		GEYTSAR	Tekrarlamalı	REYTSAG	Macar Algoritması
Temizleme1	Öncelik1	40	31	20	30
	Öncelik2	40	42	37	39
	Öncelik3	65	73	55	48
	GTS	0	0	0	0
	Toplam	45	46	37	40
Temizleme2	Öncelik1	32	15	25	32
	Öncelik2	17	23	28	22
	Öncelik3	20	32	42	35
	GTS	6	3	1	5
	Toplam	21	23	30	27
Taşıma1	Öncelik1	67	27	52	72
	Öncelik2	82	52	86	79
	Öncelik3	83	40	82	77
	GTS	62	36	69	72
	Toplam	79	45	78	78
Taşıma2	Öncelik1	85	67	92	100
	Öncelik2	76	65	94	94
	Öncelik3	87	82	92	92
	GTS	71	60	90	90
	Toplam	80	69	93	95
Görüntüleme1	Öncelik1	98	62	95	88
	Öncelik2	97	84	95	96
	Öncelik3	98	93	95	98
	GTS	94	86	96	97
	Toplam	97	82	95	96
Görüntüleme2	Öncelik1	57	45	55	42
	Öncelik2	62	52	76	65
	Öncelik3	65	60	62	57
	GTS	62	44	70	64
	Toplam	62	52	69	59

Çizelgedeki Öncelik1, Öncelik2 ve Öncelik3 sırasıyla düşük, normal ve yüksek öncelik seviyesine sahip görevleri, GTS, Görev Tamamlama Süresine sahip görevleri göstermektedir.

6.1.2 Haberleşme yükü

Haberleşme çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda önemli bir etkidir. Robotlar arasındaki haberleşme ve bilgi alış-verişinin artması sistemin daha iyi koordine olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, artan haberleşme sıklığı ve yoğunluğu, haberleşme yükünü arttırmaktadır. Bu bölümde, kullanılan müzayede sonlandırma yaklaşımları haberleşme yükü göz önüne alınarak incelenecektir.

Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yönteminde, market dengeye ulaşınca kadar sürekli olarak üreticiler yeni fiyatlarla görevleri anons etmekte ve tüketiciler ise yeni fiyatlara göre aynı görevler için yeni teklif yollamaktadır. Dolayısıyla, gönderilen mesaj sayısı görevlerin tekrar anons edilme sayısı ile orantılı olarak artmaktadır. Diğer taraftan, GEYTSAR, REYTSAG ve Macar algoritmaları görevleri tek seferde anons edip, gelen teklifleri değerlendirip, görevi yapmaya hak kazanan robotları belirlemektedirler. Bu yüzden, bu yaklaşımlarda kullanılan mesaj sayısı, tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımında kullanılan mesaj sayısına göre önemli ölçüde azalmaktadır. Müzayede sonlandırma yaklaşımlarında kullanılan mesaj sayısı Çizelge 6.2’de verilmektedir.

Çizelge 6.2 Müzayede Sonlandırma Yaklaşımlarında Kullanılan Mesaj Sayısı

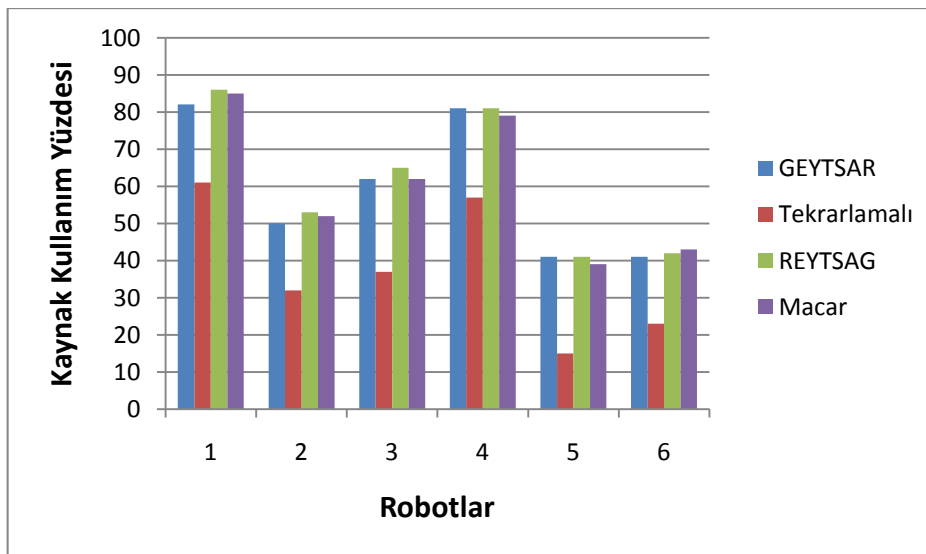
Algoritma	Toplam Mesaj Sayısı
Tekrarlamalı	619
GEYTSAR	370
REYTSAG	368
Macar Algoritması	362

6.1.3 Kaynak kullanımı

Çok robotlu sistemlerin koordinasyonunda kaynakların, bir başka deyişle robotların verimli kullanılması önemli ölçütlerden biridir. Kaynakların verimli kullanılması için, robotların tüketiciler tarafından markete sunulan görevlere mümkün olduğunca uzun bir süre servis sağlamaları gerekmektedir. Robotlar görev yapma dışında kalan zamanlarını, üreticilerden gelecek görev anonslarını bekleyerek ve görevler için görüşmeler yaparak geçirmektedirler. Dolayısıyla, robotların kaynak kullanım yüzdesi robotun görevleri yapmak için harcadığı zamanın markette olduğu süreye oranı olarak hesaplanmaktadır (Denklem 6.1).

$$\text{Kaynak kullanım yüzdesi} = \frac{\text{Robotun toplam görev yapma süresi}}{\text{Robotun markette bulunma süresi}} \times 100 \quad (6.1)$$

Bu çalışmada, robot takımında bulunan GR₁ ve GR₄ temizleme görevi yaptıkları ve temizleme görevlerinin yapılma süresinin diğer görevlerin yapılması için gerekli olan sürelerden çok daha uzun olduğu için bu robotların kaynak kullanım yüzdeleri diğer robotlara göre daha yüksek olmaktadır. Robotların kaynak kullanım yüzdeleri Şekil 6.2’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Müzayede Sonlandırma Algoritmaları için Kaynak Kullanım Yüzdeleri

Müzayede sonlandırma yaklaşımları da kaynak kullanım yüzdelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımında, görevler için yapılan müzayedelerin uzun olmasından kaynak kullanımı oldukça olumsuz etkilenmektedir. Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı kullanıldığında, robot takımındaki tüm robotların kaynak kullanımı, diğer yaklaşımlardaki robotların kaynak kullanımlarının neredeyse %30 kadar azalmaktadır. Bununla birlikte, GEYTSAR, REYTSAG ve Macar algoritmalarında yapılan müzayedeler yaklaşık olarak aynı sürelerde sonlandırılmaktadır. Dolayısıyla, bu yaklaşımlarda kaynak kullanım yüzdeleri birbirlerine oldukça yakındır. Bu yaklaşımlar arasındaki fark ise, robotların görevleri tamamlayıp gelecek yeni görev anonslarını beklemeleri arasındaki süreler ile açıklanabilmektedir.

Robotların tamamladıkları görevlerin yüzdesi ve haberleşme yükleri göz önüne alındığında, RETYSAG ve Macar Algoritmasının GEYTSAR ve Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımlarına göre daha iyi oldukları söylenebilmektedir. Bununla birlikte, robotların kaynak kullanım yüzdeleri göz önüne alındığında, Macar Algoritması kullanılarak atanan görevlerin robotlar tarafından daha kısa sürede tamamlandığı ve robotların yeni görev anonsları için daha uzun süre bekledikleri görülmektedir. Bu durum görev anons sıklığı ile ilişkili olmakta ve Macar Algoritmasının bu üç temel ölçüt göz önüne alındığında diğer müzayede sonlandırma yaklaşımlarına göre daha iyi olduğunu göstermektedir.

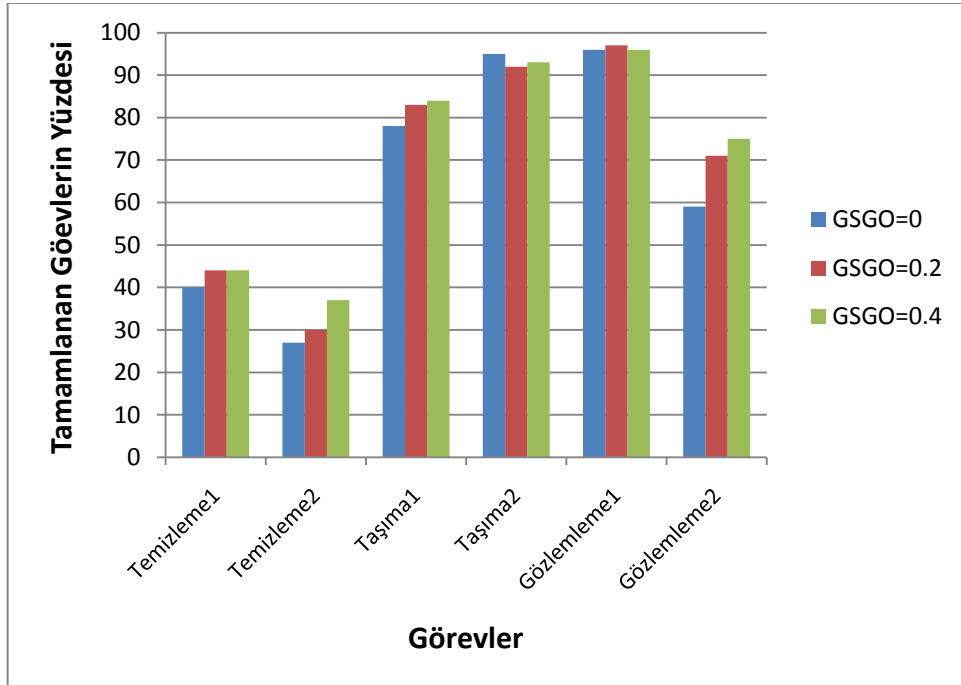
6.2 Keşfederek Öğrenme

Keşfederek öğrenme kavramı, robotların kendilerine atanan görevleri tekrar tekrar yapması sonucunda bu görevler ile ilgili deneyimlerinin artması ve görevleri yapma sürelerinin azalması olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, öğrenme süresinin azalması ile kazanılan süre deneyim zamanı olarak adlandırılmaktadır. Görevlerin yapılma sürelerinin hesaplanmasında, ilk olarak, robotun bu görevi daha önce hiç yapmadığı varsayılarak bir süre hesaplanmakta ve daha sonra bu süreden deneyim zamanı çıkarılmaktadır.

Görevlerin öğrenme zamanları iki önemli etkene bağlıdır: 1) Görevin karakterine 2) Görevi yapanın öğrenme yeteneğine. Bu çalışmada, farklı özellik ve yapıma sürelerine sahip üç tip görev kullanılmaktadır. Bununla birlikte, robotların hepsi aynı GSGO değerine sahip olmaktadır. GSGO değerinin 0, 0.2 ve 0.4 olduğu durumların sistem üzerindeki etkileri, tamamlanan görevlerin yüzdesi, haberleşme yükü ve kaynak kullanımı ölçütleri göz önüne alınarak incelenecektir.

6.2.1 Tamamlanan görevlerin yüzdesi

Bu çalışmada, önerilen yaklaşımda GSGO değerinin 0, 0.2 ve 0.4 olduğu durumlar üç saati aşkın bir süre test edilmiştir. Her durum için testler 10 kere tekrarlanmıştır. Farklı GSGO değerleri için elde edilen tamamlanan görevlerin yüzdesi Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Şekildeki Temizleme1 ve Temizleme2 görevleri sırasıyla yüksek ve düşük hassasiyete sahip temizleme görevlerini göstermektedir. Taşıma ve gözlemlene görevleri de aynı notasyon kullanılarak gösterilmektedir.



Şekil 6.3 Farklı GSGO Değerleri için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi

GSGO değerinin sıfır olduğu durumda, robotlar öğrenme yeteneğine sahip değillerdir. Dolayısıyla, görevler için deneyim zamanı sürekli sıfır olacak ve robotlar her görevin yapılması esnasında görevi öğrenmek için tekrar zaman harcayacaklardır. GSGO değerinin 0.2 olduğu durumda, robotların öğrenme yetenekleri sınırlı olmaktadır. Robotların bir görevi tamamen öğrendikleri durumda, deneyim zamanları, görevin yapılma süresinin %20'si kadar olmaktadır. GSGO değerinin 0.4 olduğu durumda, robotlar yüksek öğrenme yeteneğine sahiptirler. Görevlerin tekrarlanması sonucunda, robotların kazanacakları deneyim zamanı GSGO değerinin 0.2 olduğu duruma göre iki kat fazla olmaktadır.

GSGO değerinin artması ile birlikte, robotlar kendilerine atanan görevleri daha kısa sürede tamamlamakta ve gelecek yeni görev anonslarını beklemektedirler. Robotlar kendi kârını ençoklamaya çalıştıkları için, gelen yeni anonslarda yüksek kârlı görevleri seçeceklerdir. Örneğin, GR₁ hem Temizleme1 hem de Temizleme2 görevini yapabilmektedir. Dolayısıyla, gelen görev anonsunda bu iki görevin de yer alması durumunda, GR₁ Temizleme2 görevini seçecektir. GSGO değerinin 0.4 olduğu durumda, tamamlanan Temizleme1 görevlerinin yüzdesinin GSGO değerinin 0.2 olduğu durumla aynı olup, tamamlanan Temizleme2 görevlerinin yüzdesinin artmasının sebebi bu şekilde açıklanmaktadır. Benzer şekilde GR₃, hem Gözlemeleme1 hem de Gözlemeleme2 görevini yapabilmektedir. GSGO değerinin artması ile birlikte, tamamlanan Gözlemeleme2 görevlerinin yüzdesi önemli ölçüde artarken, tamamlanan Gözlemeleme1 görevlerinin yüzdesi hemen hemen aynı kalmaktadır. Taşıma2 görevi içinde benzer bir açıklama yapılabilir. Çizelge 6.3'te GSGO değerinin 0, 0.2 ve 0.4 olduğu durumlar için görevlerin özelliklerine göre tamamlanan görevlerin yüzdeleri detaylı bir şekilde verilmektedir. Çizelgedeki Öncelik1, Öncelik2 ve Öncelik3 sırasıyla düşük, normal ve yüksek öncelik seviyesine sahip görevleri, GTS, Görev Tamamlama Süresine sahip görevleri göstermektedir.

Çizelge 6.3 Farklı GSGO Değerleri İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri

Görevler		GSGO Değerleri		
		GSGO=0	GSGO=0.2	TÜGİLO=0.4
Temizleme1	Öncelik1	30	38	36
	Öncelik2	39	40	43
	Öncelik3	48	61	55
	GTS	0	5	15
	Toplam	40	44	44
Temizleme2	Öncelik1	32	32	42
	Öncelik2	22	26	36
	Öncelik3	35	37	32
	GTS	5	10	16
	Toplam	27	30	37
Taşıma1	Öncelik1	72	72	76
	Öncelik2	79	88	86
	Öncelik3	77	80	86
	GTS	72	84	83
	Toplam	78	83	84
Taşıma2	Öncelik1	100	85	92
	Öncelik2	94	93	95
	Öncelik3	92	95	87
	GTS	90	90	93
	Toplam	95	92	93
Görüntüleme1	Öncelik1	88	97	97
	Öncelik2	96	96	95
	Öncelik3	98	98	97
	GTS	97	98	96
	Toplam	96	97	96
Görüntüleme2	Öncelik1	42	62	62
	Öncelik2	65	70	75
	Öncelik3	57	82	85
	GTS	64	74	80
	Toplam	59	71	75

6.2.2 Haberleşme yükü

Keşfederek öğrenme ile elde edilen görev süreleri, robotların, görevler için hesapladıkları maliyetlerin içinde yer almaktadır. Dolayısıyla, keşfederek öğrenme, market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımında robotlar arası bilgi paylaşma sıklığını ya da miktarını etkilememekte ve haberleşme üzerinde direk bir etkisi bulunmamaktadır. Bununla birlikte, GSGO değerinin artmasıyla birlikte robotların tamamladıkları görev sayısı ve robotlara gönderilen *atama* mesajlarının sayısı da artmaktadır. Aynı zamanda, robotlar görevleri kısa sürede tamamlayıp, yeni görev anonsları bekledikleri için *anons* mesajlarının sayısı da azalmaktadır. GSGO değerinin artmasıyla birlikte önerilen yaklaşımda kullanılan mesaj sayısı bu iki mesaj türünün sayısına bağlı olarak artmaktadır. Çizelge 6.4'te GSGO değerinin 0, 0.2 ve 0.4 olduğu durumlar için kullanılan mesaj sayısı gösterilmektedir.

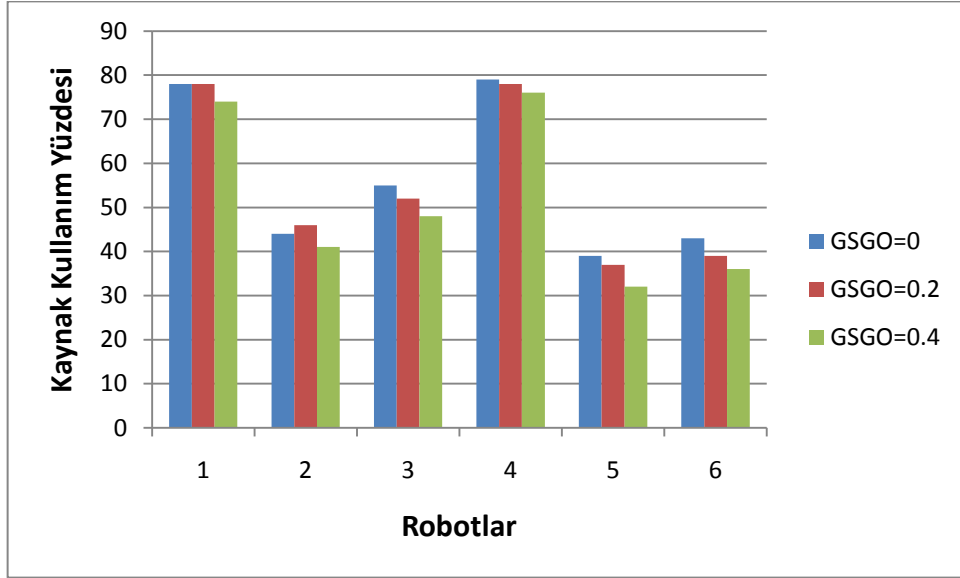
Çizelge 6.4 Farklı GSGO Değerleri için Kullanılan Mesaj Sayısı

GSGO Değeri	Toplam Mesaj Sayısı
GSGO=0	362
GSGO=0.2	377
GSGO=0.4	384

6.2.3 Kaynak kullanımı

Kaynak kullanımı yüzdesi robotun görevleri yapmak için harcadığı zamanın markette olduğu sürece oranı ile hesaplanmaktadır (Denklem 6.1). Keşfederek öğrenme yaklaşımı, görevlerin yapılma süresini azaltmaktadır. Dolayısıyla, robotlar kendilerine verilen görevleri kısa sürede tamamlamakta ve gelecek yeni görev anonslarını beklemektedirler. GSGO değerinin artmasıyla birlikte, görevlerin tamamlanma süreleri kısaltmakta ve görev anonsu bekleme süreleri de artmaktadır. Bu durumda robotların kaynak kullanım yüzdeleri düşmektedir. Bununla birlikte, GSGO değerinin artması ile tamamlanan görevlerin yüzdesi artmakta ve daha az kaynakla daha çok görev yapılmaktadır. Sonuç olarak, görevlerin çok daha sık anons edildiği bir yapıda,

keşfederek öğrenme yaklaşımının daha verimli olacağı açıkça görülmektedir. GSGO değerinin 0, 0.2 ve 0.4 olduğu durumlar için robotların kaynak kullanım yüzdeleri Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4 Farklı GSGO Değerleri için Kaynak Kullanım Yüzdeleri

6.3 Akıllı Görev Tekrar Anons Sistemi (AGTAS)

Önerilen çalışmada, AGTAS, daha önceden kaynak bulunamadığı için yapılamayan görevleri tekrar markete dâhil etmek amacıyla market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımına eklenmiştir. AGTAS, kara tahta, veri tabanı ve kontrolör olmak üzere üç temel modülden oluşmaktadır. Üretici erkin tarafından herhangi bir robota atanamayan görevler, kara tahtaya yazılmak üzere AGTAS'a gönderilmekte ve belirlenen bir parametreye göre sıralanmaktadır. Tüketici erkin ise, geleneksel market tabanlı yaklaşımlardan farklı olarak, belirli bir süre boyunca üretici erkinlerden gelecek görev anonslarını beklemekte, bu süre sonunda herhangi bir görev anonsu ulaşmaz ise, AGTAS'tan yapmak üzere görev istemektedir. Bu noktada, kullanıcının karar vermesi gereken önemli parametreler bulunmaktadır:

- 1) Kara tahtada bulunan görevler fiyat, öncelik, görevi yapmak için gerekli olan kaynaklar, görevID gibi parametrelerden hangisine göre sıralanacaktır?
- 2) Kara tahtada bulunan görevler ne kadar süre burada yazılı kalacaklardır?
- 3) Tüketiciler üreticilerden gelecek anonslar için ne kadar bekleyeceklerdir?
- 4) Üreticiler ne kadar sıklıkla görev anonsu yapacaklardır?

Bu çalışmada, kara tahtada bulunan görevler önceliklerine göre sıralanmıştır. Görevlerin kara tahtada kalma sürelerini belirleyen görev geçerlilik süreleri yüksek, normal ve düşük öncelikli görevler için sırasıyla 30 dakika, 60 dakika ve 90 dakika olarak belirlenmiştir. Bu sürelerin belirlenmesi esnasında, önceliğe sahip olan görevlerin, kısa bir süre içinde robotlara atması gerektiği, aksi takdirde yapılmalarının bir anlam ifade etmeyeceği düşünülmüştür. Dolayısıyla, yüksek önceliğe sahip olan görevler tahtada kısa süreler yer alırken, düşük önceliğe sahip görevler daha fazla tahta üzerinde yazılı kalmaktadırlar. Tüketicilerin üreticilerden gelecek görev anonslarını Bekleme Süreleri (BS) 1, 1,5 ve 2 dakika olarak belirlenmiştir. Son olarak, üreticilerin ne kadar sıklıkla görevleri anons edeceklerini belirleyen Görev Anons Süresi (GAS) 6 dakika olarak seçilmiştir. Dolayısıyla robotlar 6-12 dakika arasında rassal olarak belirlenen bir sürenin sonunda ürettikleri görevleri anons etmektedirler. Tüketici erkinlerin, üretici erkinlerden gelecek görevlere ne kadar ilgi göstereceğini belirleyen ve Tüketici Görev İlgi Oranı (TÜGİLO) olarak adlandırılan bir parametre tanımlanmıştır (Denklem 6.2).

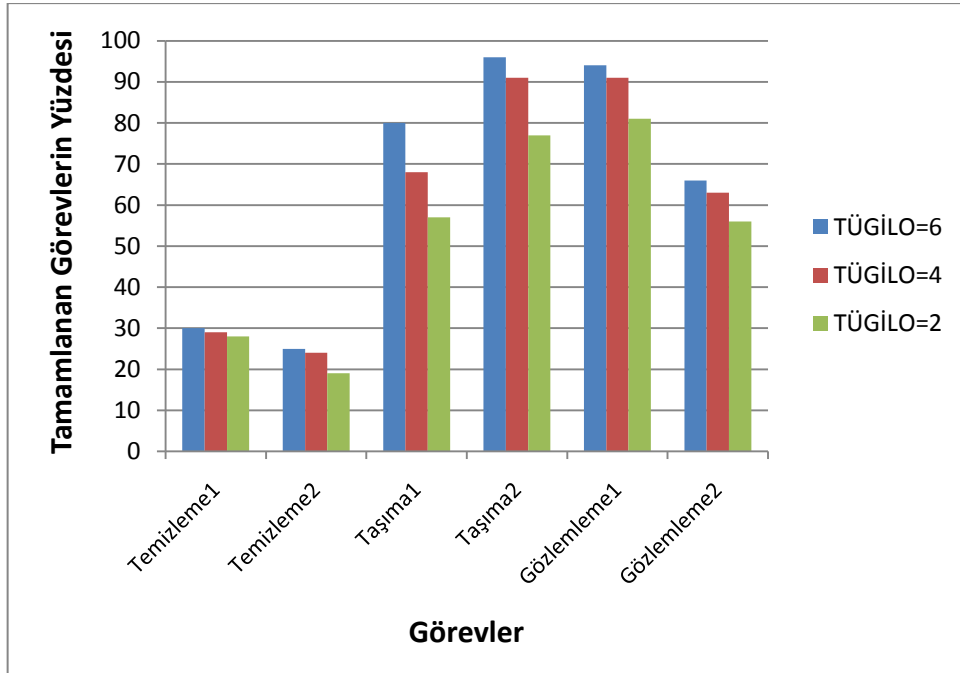
$$TÜGİLO = \frac{GAS}{BS} \quad (6.2)$$

TÜGİLO'nun göreceli olarak yüksek olduğu durumlarda, tüketici erkin üretici erkinlerden gelecek olan görev anonslarını beklemek için hiç zaman harcamadan hemen AGTAS'tan görev istemektedir. Diğer taraftan, TÜGİLO'nun göreceli olarak düşük olduğu durumlarda, tüketici erkin uzun bir süre boyunca üretici erkinlerden gelecek olan görev anonslarını beklemekte ve AGTAS'tan görev istememektedir. Bu çalışmada TÜGİLO değerinin 6, 4 ve 2 olduğu durumların sistem üzerindeki etkileri, tamamlanan

görevlerin yüzdesi, haberleşme yükü ve kaynak kullanımı ölçütleri göz önüne alınarak incelenecektir.

6.3.1 Tamamlanan görevlerin yüzdesi

Bu çalışmada, önerilen yaklaşımda TÜGİLO değerinin 6, 4 ve 2 olduğu durumlar üç saati aşkın bir süre test edilmiştir. Her algoritma için testler 10 kere tekrarlanmıştır. Farklı TÜGİLO değerleri için elde edilen tamamlanan görevlerin yüzdeleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Şekildeki Temizleme1 ve Temizleme2 görevleri sırasıyla yüksek ve düşük hassasiyete sahip temizleme görevlerini göstermektedir. Taşıma ve gözlemlene görevleri de aynı notasyon kullanılarak gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Farklı TÜGİLO Değerleri için Tamamlanan Görevlerin Yüzdesi

TÜGİLO değerinin altı olduğu durumlarda, tüketici erkin yaptığı görevi tamamladıktan sonra 60 saniye boyunca üretici erkinlerden gelecek olan görev anonslarını beklemektedir. Benzer şekilde TÜGİLO değerinin dört ve iki olduğu durumlarda tüketici erkin yaptığı görevi tamamladıktan sonra sırasıyla 90 ve 120 saniye boyunca beklemektedir. Bu süre zarfında, eğer üreticilerden herhangi bir görev anonsu duyulmaz ise, tüketici robot AGTAS'tan görev istemektedir. Dolayısıyla, TÜGİLO değeri arttıkça robotlar çok daha fazla görev yapma şansı elde etmekte ve tamamlanan görevlerin yüzdesi de artmaktadır.

Kaynakların yeterli olmadığı temizleme görevleri ve Gözleme2 görevi için, TÜGİLO değerinin tamamlanan görevlerin yüzdesine etkisi, diğer görevlere oranla daha az olmaktadır. Ancak, bu görevlerde, AGTAS kullanılmasıyla birlikte yüksek öncelik ve yüksek hassasiyet ve görev tamamlama süresi gibi özelliklere sahip görevlerin tamamlanma yüzdeleri artarken düşük özellikli görevlerin tamamlanma yüzdeleri azalmaktadır. Kaynakların yeterli olduğu görevler için ise, AGTAS kullanılması hem tamamlanan görevlerin yüzdesini hem de özellikli görevlerin yüzdesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Çizelge 6.5'te TÜGİLO değerinin 6, 4 ve 2 olduğu durumlar için görevlerin özelliklerine göre tamamlanan görevlerin yüzdeleri detaylı bir şekilde verilmektedir. Çizelgedeki Öncelik1, Öncelik2 ve Öncelik3 sırasıyla düşük, normal ve yüksek öncelik seviyesine sahip görevleri, GTS, Görev Tamamlama Süresine sahip görevleri göstermektedir.

Çizelge 6.5 Farklı TÜGİLO Değerleri İçin Görevlerin Özelliklerine Göre Tamamlanma Yüzdeleri

Görevler		Algoritmalar		
		TÜGİLO=6	TÜGİLO=4	TÜGİLO=2
Temizleme1	Öncelik1	18	23	19
	Öncelik2	22	20	23
	Öncelik3	64	62	51
	GTS	0	0	0
	Toplam	30	29	28
Temizleme2	Öncelik1	18	15	19
	Öncelik2	17	18	16
	Öncelik3	53	50	27
	GTS	0	4	0
	Toplam	25	24	19
Taşıma1	Öncelik1	85	70	66
	Öncelik2	72	62	56
	Öncelik3	100	84	48
	GTS	87	79	62
	Toplam	80	68	57
Taşıma2	Öncelik1	84	78	63
	Öncelik2	100	92	76
	Öncelik3	100	100	94
	GTS	100	97	90
	Toplam	96	91	77
Görüntüleme1	Öncelik1	84	81	77
	Öncelik2	95	91	78
	Öncelik3	100	100	94
	GTS	100	98	87
	Toplam	94	91	81
Görüntüleme2	Öncelik1	59	62	47
	Öncelik2	58	56	50
	Öncelik3	100	84	83
	GTS	77	82	53
	Toplam	66	63	56

6.3.2 Haberleşme yükü

AGTAS mesajlar tarafından yönetilen bir sistemdir. Üreticiler, herhangi bir robota atayamadığı görevleri “*görev(görevİsmi,görevParametreleri,fiyat)*” mesajı ile AGTAS’a göndermektedirler. Bununla birlikte, tüketiciler “*istek(robotID)*” mesajı ile AGTAS’tan görev talep etmektedirler. Ayrıca, tüketiciler görevleri tamamladıktan sonra AGTAS’a “*güncelleme(robotID,robotParametreleri)*” mesajını göndererek sistemdeki verilerini güncellemektedirler. TÜGİLO değeri arttıkça, tüketiciler üreticilerin anons ettikleri görevleri beklememekte ve bu görevlerin çoğu *görev* mesajı ile AGTAS’a aktarılmaktadır. Ayrıca, TÜGİLO değerinin artmasıyla beraber tüketicilerin gönderdikleri *istek* mesajları da artmaktadır. Son olarak, yüksek TÜGİLO değerleri, toplamda yapılan görevlerin sayısını arttırdığı için, tüketicilerin gönderdikleri *güncelleme* mesajı sayısı da artacaktır. Diğer taraftan, TÜGİLO değerinin azalması ile birlikte tüketiciler, üreticilerden gelecek görevlere daha çok ilgi göstermekte ve kullanılan *görev* ve *istek* mesajları sayısı azalmaktadır. Bu durumda, tamamlanan görevlerin sayısı azalacağı için gönderilen *güncelleme* mesajı sayısı da azalacaktır. Çizelge 6.6’da TÜGİLO değerinin 6, 4 ve 2 olduğu durumlar için kullanılan mesaj sayısı gösterilmektedir.

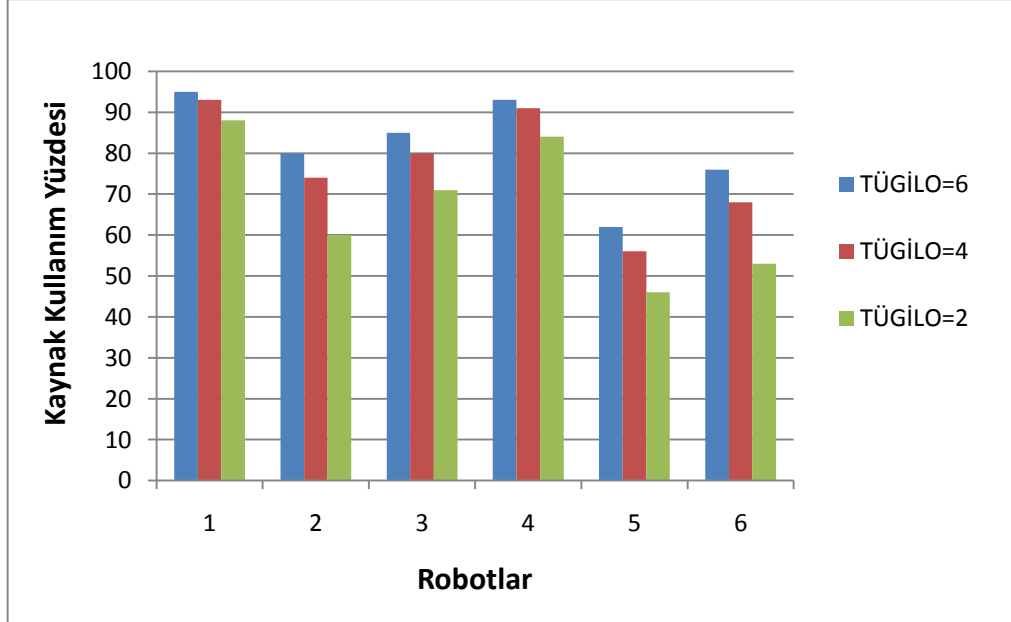
Çizelge 6.6 Farklı TÜGİLO Değerleri için Kullanılan Mesaj Sayısı

TÜGİLO Değeri	Toplam Mesaj Sayısı
6	513
4	472
2	411

6.3.3 Kaynak kullanımı

Kaynak kullanımı yüzdesi robotun görevleri yapmak için harcadığı zamanın markette olduğu sürece oranı ile hesaplanmaktadır (Denklem 6.1). AGTAS yaklaşımında, TÜGİLO değerinin artması ile birlikte, robotların görev anonsları için bekledikleri süre önemli ölçüde azalmakta ve robotların kaynak kullanım yüzdeleri artmaktadır.

TÜGİLO değerinin 6, 4 ve 2 olduğu durumlar için robotların kaynak kullanım yüzdeleri Şekil 6.6'da gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Farklı TÜGİLO Değerleri için Kaynak Kullanım Yüzdesi

BÖLÜM 7

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok robotlu sistemlerde görev paylaşırma problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için market tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Görevlerin paylaşırılması esnasında, market tabanlı yaklaşımların temel mekanizmalarından biri olan müzayedeler kullanılmıştır. Müzayedeler süresince üretici ve tüketiciler fiyat ve maliyet kavramlarını kullanarak marketteki pozisyonlarını belirlemektedirler. Bu konumların doğru olarak belirlenmesi, görev paylaşırma yaklaşımının verimliliğini arttırmaktadır. Bir görevin fiyat ve maliyetinin belirlenmesinde P3-DX robot platformunun güç modeli kullanılmıştır. Böylece, robotların kullandıkları her kaynak için harcadıkları enerji fiyat ve maliyete yansıtılarak, robotların market içindeki konumları gerçekçi bir yaklaşımla belirlenmektedir.

Bu çalışmada, REYTSAG ve GEYTSAR adı verilen iki sezgisel müzayede sonlandırma yaklaşımı önerilmiştir. Bununla birlikte, geçmiş çalışmalarda yer alan Tekrarlamalı müzayede sonlandırma yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, görevlerin robotlara paylaşırılması bir atama problemi olarak kabul edilebilmektedir. Görevlerin robotlara en iyi şekilde atanmasını sağlamak amacıyla Macar Algoritması kullanılmıştır. Müzayede yöntemlerinin verimliliğini göstermek için yapılan testler sonucunda, REYTSAG müzayede yönteminin özellikli görevlerin yapılmasının önemli olduğu uygulamalarda, Macar Algoritmasının ise tamamlanan toplam görev sayısının önemli olduğu uygulamalarda kullanılmasının uygun olacağı gösterilmiştir.

Keşfederek öğrenme olarak adlandırılan ve robotların kendilerine atanan görevleri tekrar tekrar yapması sonucunda bu görevler ile ilgili deneyimlerinin artması ve görevleri yapma sürelerinin azalması üzerine kurulan yaklaşım market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımına eklenmiştir. Bu yöntemin verimliliğinin yapılacak görevlerin süre ve niteliğine, ayrıca, görevi yapanın öğrenme yeteneğine önemli ölçüde bağlı olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla, bu yöntemin uzun süreli ve sıkça anons edilen

görevler için, yüksek öğrenme kapasitesine sahip robotlar ile uygulandığında robot takımının verimliliğini önemli ölçüde arttıracakı gösterilmiştir.

AGTAS, daha önceden kaynak bulunamadığı için yapılamayan görevleri tekrar markete dâhil etmek amacıyla market tabanlı görev paylaşırma yaklaşımına eklenmiştir. AGTAS, kara tahta, veri tabanı ve kontrolör olmak üzere üç temel modülden oluşmaktadır. Üretici erkin tarafından herhangi bir robota atanamayan görevler, kara tahtaya yazılmaktadır. Tüketici erkin ise, geleneksel market tabanlı yaklaşımlardan farklı olarak, belirli bir süre boyunca üretici erkinlerden gelecek görev anonslarını beklemekte, bu süre sonunda herhangi bir görev anonsu ulaşmaz ise, AGTAS'tan yapmak üzere görev istemektedir. AGTAS, tamamlanan görevlerin sayısını arttırmakta ve robotların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, AGTAS haberleşme yükünü de arttırmaktadır. Dolayısıyla, bu sistemin haberleşmenin uygun olduğu ortamlarda rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

İlerideki çalışmalarda, önerilen yaklaşımın benzetim ortamında ve gerçek robotlar üzerinde gerçekleşmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Asama, H., Ozaki, K., Itakura, H., Matsumoto, A., Ishida, Y., and Endo, I., 1991, Collision avoidance among multiple mobile robots based on rules and communication, Proceedings of IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems, Osaka, Japan, pp. 1215-1220.
- AlHudhud, G. and Ayeshe, A., 2008, Real Time Movement Coordination Technique Based on Flock-ing Behaviour for Multiple Mobile Robots System, Proceedings Swarm Intelligence Algorithms and Applications Symposium. Aberdeen, Scotland, pp. 31-37.
- Berhault, M., Huang, H., Keskinocak, P., Koenig, S., Elmaghraby, W., Griffin, P., Kleywegt, A., 2003, Robot Exploration with Combinatorial Auctions, Proceeding. of International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol.2 ,pp.1957-1962.
- Biswal, B. B. and Choudhury, B. B., 2007, Coopera-tive Task Planning of Multi-Robot Systems, Proceedings of the 24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction,Kochi, Kerala, India, pp: 211-216.
- Botelho, S. C. and Alami, R., 1999, M+ : a scheme for multi-robot cooperation through negotiated task allocation and achievement, Proceedings of International Conference on Robotics and Automation, Detroit, Michigan, pp. 1234- 1239.
- CANON, Inc., 2010, Official web site of the CANON CV-C4 PTZ camera, <http://www.usa.canon.com/consumer/controller?act=ModelInfoAct&tabact=ModelTechSpecsTabAct&fcateoryid=262&modelid=7402>.
- Chaimowicz, L., Sugar, T., Kumar, V. and Campos, M. 2001, An architecture for tightly coupled multi-robot cooperation, Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, pp. 2992-2997.
- Cheng, Z. P., Sheng, H. Y., Gen, X. M., 2007, Extended Contract Net Protokol for Multi-Robot Dynamic Task Allocation, vol. 6(5), pp. 733-738.
- Corkill, D. D., 1991, Blackboard Systems, AI Expert, vol.6(9), pp.40-47.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dahl, T. S., Mataric M. J. and Sukhatme G. S., 2006, A machine learning method for improving task allocation in distributed multi-robot transportation, In *Understanding Complex Systems: Science Meets Technology*, pp307-337.
- Dias, M. B. and Stentz, A., 2000, A Free Market Architecture for Distributed Control of a Multirobot System, 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-6), pp. 115-122.
- Dias, M. B. and Stentz, A., 2001, A Market Approach to Multirobot Coordination, Technical Report CMU-RI-TR-01-26, Carnegie Mellon University.
- Dias, M. B. and Stentz, A., 2002a, Enhanced Negotiation and Opportunistic Optimization for Market-Based Multirobot Coordination, Technical Report CMU-RI-TR-02-18, Carnegie Mellon University.
- Dias, M. B. and Stentz, A., 2002b, Opportunistic Optimization for Market-Based Multirobot Control, Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, EPFL, Switzerland, pp. 2714 - 2720.
- Dias, M. B. and Stentz, A., 2003, TraderBots: A Market-Based Approach for Resource, Role, and Task Allocation in Multirobot Coordination, Technical Report CMU-RI-TR-03-19, Carnegie Mellon University.
- Dias, M. B., Goldberg, D. and Stentz A., 2003, Market-Based Multirobot Coordination For Complex Space Applications, The 7th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (http://www.ri.cmu.edu/person.html?type=publications&person_id=536).
- Dias, M. B., 2004, TraderBots: A New Paradigm for Robust and Efficient Multirobot Coordination in Dynamic Environments, Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University.
- Dias, M. B., Zlot, R. M., Zinck, M. B., Gonzalez, J. P. and Stentz A., 2004, A Versatile Implementation of the TraderBots Approach for Multirobot Coordination (http://www.ri.cmu.edu/person.html?type=publications&person_id=536).

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Dias, M. B., Zlot, R., Kalra, N. and Stentz, A., 2005, Market-Based Multirobot Coordination: A Survey and Analysis, Technical Report CMU-RI-TR-05-13, Carnegie Mellon University.
- Dudek, G., Jenkin, M., Milios, E. and Wilkes, D., 1996, A Taxonomy for Multiagent Robotics, *Autonomous Robots*, vol. 3, pp. 375-397.
- Dutta, I., Bogobowicz, A. D. and Gu, J. J., 2004, Collective Robotics- A Survey of Control and Communication Techniques, *Proceedings of Conference on Intelligent Mechatronics and Automation*, Chengdu, China, pp. 505- 510.
- Gerkey, B. P. and Mataric M. J., 2000, Murdoch: Publish/Subscribe Task Allocation For Heterogeneous Agents, In *Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous Agents*, Barcelona, Spain, pp.203-204.
- Gerkey, B. P., and Mataric, M. J., 2002a, Sold! Auction methods for multi-robot coordination, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 18(5), pp. 758–768.
- Gerkey, B. P., and Mataric, M. J., 2002b, A market-based formulation of sensor-actuator network coordination, *Technical Report SS-02-04*, AAI.
- Gerkey, B. P. and Mataric, M., 2004, A formal analysis and taxonomy of task allocation in multi-robot systems, *Journal of Robotics Research*, vol. 23(9), pp. 939-954.
- Guo, Y., and Parker, L. E., 2002, A distributed and optimal motion planning approach for multiple mobile robots, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Washington, DC, pp. 2612-2619.
- Goldberg, D. and Mataric, M. J., 2000, Robust Behaviour-Based Control for Distributed Multi-Robot Collection Tasks, *Technical Report IRIS-00-387*, USC Institute.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Goldberg, D., Cicerello V., Dias, M. B., Simmons, R., Smith, S. and Stentz, A., 2003, Market-Based Multi-Robot Planning in a Distributed Layered Architecture, Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata: Proceedings from the International Workshop on Multi-Robot Systems, pp. 27-38.
- Iocchi, L. and Nardi, D., 2003, Distributed Coordination in Heterogeneous Multi-Robot Systems, Autonomous Robots, vol. 15, pp. 155-168.
- Jones, E. G., Dias, M. B. and Stentz, A., 2006a, Learning- enhanced Market-based Task Allocation for Disaster Response, Technical Report CMU-RI-TR-06-48, Carnegie Mellon University.
- Jones, E. G., Browning, B., Dias, M. B., Argall, B., Veloso, M. M. and Stentz, A., 2006b, Dynamically Formed Heterogeneous Robot Teams Performing Tightly-Coordinated Tasks, International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, USA, pp. 570 - 575.
- Kalra, N., Zlot, R., Dias, M. B. and Stentz, A., 2005a, Market-Based Multirobot Coordination: A Comprehensive Survey and Analysis, Technical Report CMU-RI-TR-05-16, Carnegie Mellon University.
- Kalra, N., Ferguson, D. and Stentz, A., 2005b, Hoplites: A Market-Based Framework for Planned Tight Coordination in Multirobot Teams, Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp. 1170 - 1177.
- Kloder, S., and Hutchinson, S., 2006, Path planning for permutation-invariant multirobot formations, IEEE Transactions on Robotics, vol. 22(4), pp. 650–665.
- Koenig, S., Tovey, C., Lagoudakis, M., Markakis, V., Kempe, D., Keskinocak, P., Kleywegt, A., Meyerson, A. and Jain, S., 2006, The Power of Sequential Single-Item Auctions for Agent Coordination, Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), pp.1625-1629.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Köse, H., Tatlıdede, U., Meriçli, C., Kaplan, K. and Akın H. L., 2004, Q-Learning based Market-Driven Multi-Agent Collaboration in Robot Soccer, Proceedings, Turkish Symposium On Artificial Intelligence and Neural Networks, Izmir, Turkey, pp. 219-228.
- Kube, C. R., and Zhang, H., 1993, Collective robotics:From social insects to robots, *Adaptive Behavior*, vol. 2(2), pp. 189–219.
- Kuhn,H. W., 1955, The Hungarian Method for the Assignment Problem, *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 2, pp. 83-97.
- Lemaire, T., Alami, R. and Lacroix, S., 2004, A Distributed Task Allocation Scheme in Multi-UAV Context, *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans, LA, pp. 3622-3627.
- Lerman, K. and Gastyan, A., 2001, A general methodology for mathematical analysis of multi-agent systems, Technical Report ISI-TR-529, USC Information Sciences.
- Mataric, M. J., 1995, Issues and Approaches in the Design of Collective Autonomous Agents, *Robotics and Autonomous Systems*, vol.16, pp. 321–331.
- Mataric, M.J., Sukhatme, G. S. and Østergaard, E. H., 2003, Multi-Robot Task Allocation in Uncertain Environments, *Autonomous Robots*, vol.14, pp. 255-263.
- Mei, Y., Yung-Hsiang, Y., Charlie, H.Y. and George, L.C.S., 2006, Deployment of mobile robots with energy and timing constraints, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 22(3), pp. 507- 522.
- Mills-Tettey, G. A., Stentz, A. and Dias,M. B., 2007, The Dynamic Hungarian Algorithm for the Assignment Problem with Changing Costs, Technical Report, CMU-RI-TR-07-27, Carnegie Mellon University, 2007.
- Mobile Robots, Inc, 2010, Installation and Operations manual, <http://robots.mobilerobots.com/wiki/Manuals>.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Munkres, J., 1957, Algorithms for the assignment and transportation problems, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, vol. 5(1), pp. 32-38.
- Murphy, R. R., 2000, Marsupial robots for urban search and rescue, IEEE Intelligent Systems, vol. 15(2), pp. 14–19.
- Nanjanath, M. and Gini, M., 2010, Repeated auctions for robust task execution by a robot team, Robotics and Autonomous Systems, Doi:10.1016/j.robot.2010.03.011. (baskıda).
- Open Agent Architecture (OAA), 2010, Developer's Guide, v.2.3.2.
- Ostergaad, E. H., Mataric, M. J., and Sukhatme, G. S., 2001, Distributed Multi-Robot Task Allocation for Emergency Handling, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Maui, Hawaii, USA, pp. 821-826.
- Özkan, M., 2007, Farklı özelliklere sahip gezgin robot grubunun dağıtık kontrolü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- 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(1), pp. 65–77.
- Parker, L.E., 1995, L-ALLIANCE: A Mechanism for Adaptive Action Selection in Heterogeneous Multi-Robot Teams, Technical Report, ORNL/TM-13000.
- Parker, L.E., 1997, L-ALLIANCE: task-oriented multi-robot learning in behavior-based systems, Advanced Robotics, Special Issue on Selected Papers from IROS'96, Vol. 11(4), pp. 305-322.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Parker, L.E., 1998, ALLIANCE: an architecture for fault tolerant multi-robot cooperation, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 14(2), pp. 220-240.
- Parker, L.E., 2001, Evaluating success in autonomous multi-robot teams: experiences from ALLIANCE architecture implementations, Journal of Theoretical and Experimental Artificial Intelligence, Vol. 13, pp. 95-98.
- Parker, L. E., and Tang, F., 2006, Building multi-robot coalitions through automated task solution synthesis, Proceedings of the IEEE, special issue on Multi-Robot Systems, vol. 94(7), pp. 1289–1305.
- Parker, L. E., 2008, Distributed Intelligence: Overview of the Field and its Application in Multi-Robot Systems, Journal of Physical Agents, special issue on multi-robot systems, vol. 2(2), pp. 5-14.
- Pirjanian, P., 1998, Multiple objective action selection in behavior-based control Proceedings of the 6th Symposium for Intelligent Robotic Systems, Edinburgh, Scotland, pp. 83-92.
- Ritter, F. E. and Schooler, L. J., 2001, The learning curve, In International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences, Oxford, UK: Pergamon, pp. 8602- 8605.
- Sariel, S. and Balch, T., 2005, Real Time Auction Based Allocation of Tasks for Multi-Robot Exploration Problem in Dynamic Environments, In: Integrating Planning into Scheduling, AAAI Workshop, pp. 27-33.
- Sariel, S. and Balch, T, 2006, A Distributed Multi-Robot Cooperation Framework for Real Time Task Achievement, Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS) 7, vol. 19, pp. 187-196.
- Sariel-Talay, S., Balch, T. and Erdoğan, N., 2008, Naval Mine Countermeasure Missions: A Distributed, Incremental Multirobot Task Selection Scheme , IEEE Robotics & Automation Magazine, Special Issue on Design, Control, and Applications of Real-World Multirobot Systems, vol.15(1), pp. 45-52.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Schneider, J., Apfelbaum, D., Bagnell, D. and Simmons, R., 2005, Learning Opportunity Costs in Multi-Robot Market Based Planners, Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp. 1151-1156.
- SICK, Inc., 2010, Official web site of the SICK LMS 200 laser rangefinder, <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Gus&At=Fa&Cult=English&FamilyID=344&Category=Produktfinder&Selections=34243>.
- Sipahioğlu, A., Kirlik, G., Parlaktuna, O. and Yazıcı, A., 2010, Energy constrained multi-robot sensor-based coverage path planning using capacitated arc routing approach, Robotics and Autonomous Systems, vol. 58(2010), pp. 529-538.
- Smith, R. G., 1980, The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, IEEE Transactions on Computer, vol. 29(12), pp. 1104-1113.
- Sotzing, C. C., Evans J. and Lane, D. M., 2007, A Multi-Agent Architecture to Increase Coordination Efficiency in Multi-AUV Operations, Proceedings of IEEE Oceans Europe.
- Sotzing, C. C. and Lane, D. M., 2008, Improving the Coordination Efficiency of Multiple AUV Operations Using Prediction of Intent, Proceedings of the 3rd SEAS DTC Technical Conference, Edinburg.
- Stentz, A. and Dias, M. B., 1999, A Free Market Architecture for Coordinating Multiple Robots, Technical Report CMU-RI-TR-99-42, Carnegie Mellon University.
- Stentz, A., Dias M. B., Zlot R. M., and Kalra N., 2004, Market-Based Approaches for Coordination of Multi-Robot Teams at Different Granularities of Interaction, Proceedings of the ANS 10th International Conference on Robotics and Remote Systems for Hazardous Environments.
- Stone, P. and Veloso, M., 1999, Task decomposition, dynamic role assignment, and low-bandwidth communication for real-time strategic teamwork, Artificial Intelligence, Vol. 110(2), pp. 241-273.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Stone, P. and Veloso, M., 2000, Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective, *Autonomous Robots*, vol.8, pp.345-383.
- Stroupe, A., Okon, A., Robinson, M., Huntsberger, T., Aghazarian, H., and Baumgartner, E., 2006, Sustainable cooperative robotic technologies for human and robotic outpost infrastructure construction and maintenance, *Autonomous Robots*, vol. 20(2), pp. 113–123.
- Tang, F. and Parker, L. E., 2007, A Complete Methodology for Generating Multi-Robot Task Solutions using ASyMTRE-D and Market-Based Task Allocation, *Proceedings International Conference on Robotics and Automation*, Roma, Italy, pp. 3351-3358.
- Thayer, S. M., Dias, M. B., Nabbe, B., Digney, B., Hebert, M. and Stentz, A., 2000, Distributed Robotic Mapping Extreme Environments, *Proceedings of SPIE: Mobile Robots XV and Telemanipulator and Telepresence Technologies VII* (http://www.ri.cmu.edu/person.html?type=publications&person_id=536).
- Tovey, C., Lagoudakis, M., Jain, S. and Koenig, S., 2005, The Generation of Bidding Rules for Auction-Based Robot Coordination, *Proceedings of the Third International Multi-Robot Systems Workshop*, Washington, DC, pp. 3-14.
- Vig, L., and Adams, J. A., 2006, Multi-robot coalition formation, *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 22(4), pp. 637–649.
- Vig, L. and Adams, J. A., 2006, Market-based Multi-Robot Coalition Formation, *Proceedings of the 8th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems*, Minneapolis, MN, pp. 227-236.
- Viguria, A., Maza, I. and Ollere, A., 2007, SET: An algorithm for distributed multirobot task allocation with dynamic negotiation based on task subsets, *Proceedings International Conference on Robotics and Automation*, Roma, Italy, pp. 3339-3344.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- Viguria, A., Maza, I. and Ollere, A., 2008, S+T: An algorithm for distributed multirobot task allocation based on services for improving robot cooperation, Proceedings International Conference on Robotics and Automation, Pasadena, CA, USA, pp. 3163-3168.
- Yuta, S., and Premvuti, S., 1992, Coordinating autonomous and centralized decision making to achieve cooperative behaviors between multiple mobile robots, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Raleigh, NC, pp. 1566–1574.
- Wang, J., 1991, Fully distributed traffic control strategies formany-agv systems, Proceedings of the IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Osaka, Japan, pp. 1199–1204.
- Werger, B.B. and Mataric, M.J., 2000, Broadcast of local eligibility for multi-target observation, Proceedings of DARS 4, pp. 347-356.
- Wolsey,L. A., 1998, Integer Programming, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, pp.264.
- Zlot, R., Stentz, A., Dias, M. B. and Thayer, S., 2002, Multi-Robot Exploration Controlled by a Market Economy, Proceedings of International Conference on Robotics and Automation, Washington, DC, pp. 3016-3023.
- Zlot, R. and Stentz, A., 2003, Market-based Multirobot Coordination Using Task Abstraction, The 4th International Conference on Field and Service Robotics (http://www.ri.cmu.edu/publication_view.html?pub_id=4537&menu_code=0307).
- Zlot, R. and Stentz, A., 2005, Complex Task Allocation for Multiple Robots, Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp. 1515-1522.
- Zlot, R. and Stentz, A., 2006, Market-based Multirobot Coordination for Complex Tasks, International Journal of Robotics Research, Special Issue on the 4th International Conference on Field and Service Robotics, vol. 25(1), pp. 73-101.