

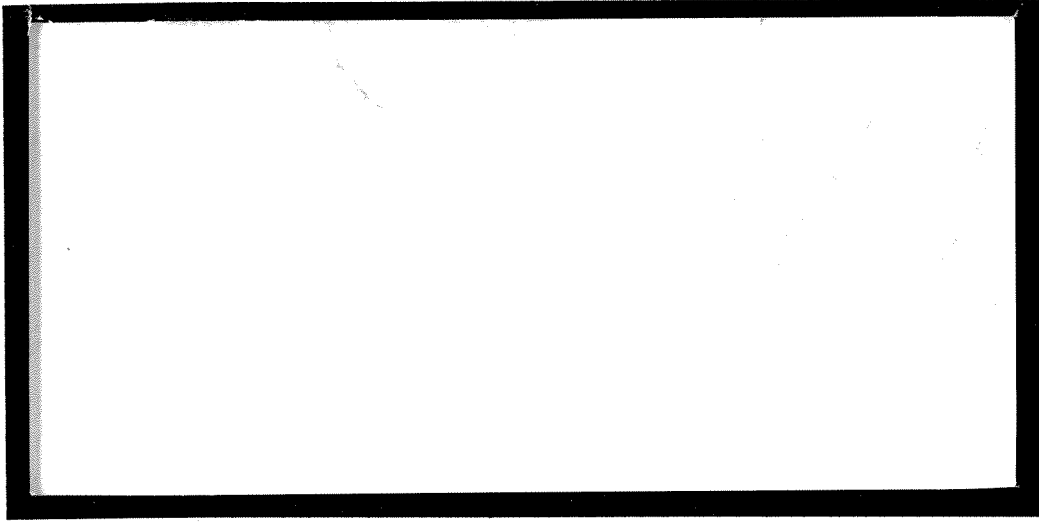
1997-162

DUP



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY



**Makina, Kimyasal Teknolojiler, Malzeme ve İmalat Sistemleri  
Araştırma Grubu**

**Mechanical Engineering, Chemical Technologies, Material  
Sciences and Manufacturing Systems Research Grant  
Committee**

HÜCRESEL ROBOTLARIN HAREKETLERİNİN BİLGİ AKIŞ  
AĞI İLE KOORDİNASYON VE ÇOK PARMAKLI ROBOT  
ELİNİN HÜCRESEL ROBOTLAR AĞI OLARAK  
İNCELENMESİ

PROJE NO: MODİSA - 1

Doç. Dr. Aydan ERKMEN  
Binbaşı Dr. Sedat NAZLIBİLEK  
Haluk AYDIN

Mayis 1996  
ANKARA

## *İÇİNDEKİLER*

### Sayfa

İçindekiler	
Şekiller Listesi	
Çizelgeler Listesi	
Önsöz	1
Abstract	2
Öz	3
Giriş	4
Bölüm I. Belirsizlik Altında Akıllı Denetim	10
1.1. Akıllı Denetim	11
1.2. Akıllı Denetimin Problemlerinin Temel Yapısı	11
1.3. Akıllı Denetim Özellikleri	12
1.4. Nöro Denetim	14
1.4.1. Gözetimli Denetim (Supervised Control)	16
1.4.2. Direkt Ters Denetim (Direct Inverse Control)	16
1.4.3. Sinirsel Adaptif Denetim	17
1.4.4. Zaman Ekseninde Geri Yayılma (ZEGY)	17
1.4.5. Adaptif Eleştirili Denetim (Adaptive Critics)	17
1.5. Bulanık Denetim	18
1.5.1. Bulanık Koşul Tanımları ve Bulanık Denetim Kuralları	19
1.5.2. Bulanıklaştırma Operatörü	20
1.5.3. Cümle Bağlama Operatörü	20
1.5.4. Birleştirme Operatörü	21
1.5.5. Keskinleştirme Operatörü	21
1.5.6. Bulanık Mantık Denetiminin Tasarım Parametreleri	21
1.6. Akıllı Denetimde Öğrenme	22
Bölüm II. Bulanık Hücresel Öğrenme Dinamiği	23
2.1. Hücresel Dönüşümler	23
2.1.1. Basit Hücresel Dönüşümler	23
2.1.2. Genelleştirilmiş Hücresel Dönüşüm	24
2.2. Öğrenme Dinamiğinin Performans Analizleri	25
2.2.1. Öğrenme Çekim Alanları	25
2.2.2. Öğrenmedeki Güvenirlilik Ölçümü	27
2.2.2.1. Öngörülme Kaybı	27
2.2.2.2. Öğretme Vektörünün Performans Değerleri	27
2.2.2.2.1. Hücresel Uzay Sınırlı Kararlılığına Göre Bölünmesi	27
2.2.2.2.2. Performans Ölçeklerinin Geliştirilmesi	29
2.3. Bulanık Hücresel Dönüşüm	31

Bölüm III. Bulanık Hücresel Dönüşüm Kullanılarak Bulanık Denetleçlerin İnce Ayarının Yapılması	35
3.1. BHD ile Bulanık Denetleç Ayarlanması	36
3.1.1 Bulanık Hücresel Dönüşüm Uzayı	36
3.1.1.1. Hücresel Dönüşüm Uzayı	36
3.1.1.2. Hücresel Durum Uzayında Bulanık Bağlantılar	36
3.1.1.3. İmge Hücrenin Uyarılma (Promise Matching) ile Bulunması	38
3.1.1.4. Bulanık Hücresel Dönüşüm ile Hücreden Hücreye Geçiş	39
3.1.2. Puanlama Sistemi	39
3.1.3. İyileştirme Stratejisi	41
3.1.4. Kompansatör	42
3.2. Örnek	42
3.3. Sonuç	43
Bölüm IV. Robot El Biçimlendirmesinin Duyusal Devrimli Denetimi	46
4.1. Nörodenetimli Fraktal İrdeleme Ağı	47
4.2. Sens-Perceptor : İmge Tabanlı Mantıksal Duyucular (Logical Sensor)	48
4.3. İlk Kanı Değeri Atama	52
4.3.1. Düz Kenar Uygulama	52
4.3.2. Eğri Kenar Uyarlaması	54
4.4. Primitif Oluşumu	54
4.5. Cranfield Benchmark'a Uygulanış	55
Bölüm V. Bulanık Hücresel Dönüşümün Robot Elin Kavrama Denetiminde Kullanılması	59
5.1. Bulanık Dinamik Programlama	60
5.2. Lider Parmak Dinamiği	61
5.3. Lider Parmakla İzlenecek Yörünge	64
5.4. Test Sonuç İrdeleme	65
Bölüm VI. Kavrama Denetimi Sağlamak Amacı ile Anthrobot III Eline Kapalı Döngü Denetim Tasarımı ve Gerçekleşmesi	67
6.1. Bu Uzatma Dönem Çalışmasına Neden Gereksinim Duyulduğu	67
6.2. Proje Ek Süre Aşamaları	67
6.2.1. Pozisyon Geri Besleme	67
6.2.2. Kuvvet Geri Besleme	68
6.2.3. Yazılım (Software)	68



	<u>Sayfa</u>
6.3. Eldeki Teçhizatın Tanıtımı : Anthrobot III	
5 Parmaklı Robot El	69
6.3.1. Genel Tanıtım	69
6.3.2. Teknik Şartname	69
6.3.2.1. Robot El için Serbesti Derecesi	69
6.3.2.2. Bilek için	70
6.3.3. Mekanik Tanıtım	70
6.3.4. Parçalar	71
6.3.4.1. Servomotor Paketleri	71
6.3.5. Kapalı Döngü Arabirim Kartı	71
6.3.6. PCL 1800	72
6.4. Uzatma Süresinde Gerçekleştirilenler	72
6.4.1. Çıkış Kartlar	72
6.4.2. Giriş Kartı	73
Sonuç	90
Referanslar	92
Ekler	98

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	ZEGY Modele Dayalı Mimari	15
Şekil 1.2.	Bulanık Mantık Denetim	18
Şekil 2.1.	Koverjans Haritaları	26
Şekil 2.2.	Hücresele Uzakdaki Havuz Alanı Azalma Ölçütü; Öngörülme Desteği bp	28
Şekil 2.3.	Bulanık Hücreler	31
Şekil 2.4.	Bulanık Hücreden Bulanık Hücreye Dönüşüm	32
Şekil 2.5.	B İmgesinin C Hücrelerine Üyelikleri	34
Şekil 3.1.	Hücresele Uzakda Bulanık Dönüşüm	37
Şekil 3.2.	B Bulanık Küme ile Verdiği Bulanık Kümelerle Uyarlama	38
Şekil 3.3.	D Bulanık Kümesinin Üyelik Değerleri	38
Şekil 3.4.	Hedef Bölgenin 10-adım Çekim Alanı	44
Şekil 3.5.	Öngörülebilirlik Haritası	44
Şekil 3.6.	Atık Hücrenin 10-adım Çekim Alanında Puan Haritası	44
Şekil 3.7.	Atık Hücrenin 10-adım Çekim Alanı	44
Şekil 3.8.	0.3, 3'den Başlayan Yörünge Örneği	45
Şekil 3.9.	3 Boyutlu Öngörülebilirlik Haritası	45
Şekil 3.10.	İyileştirilmiş Yörünge	45
Şekil 3.11.	İyileştirilmiş Hücreler	45
Şekil 4.1.	Duyusal Devinimli Robot El Biçimlendirme Denetim Mimarisi	46
Şekil 4.2.	“Cranfield Benchmark” Montaj Test Yatağı	47
Şekil 4.3.	Öznelik Çıkarım ve Kamı Değeri Atama Hiyerarşisi	49
Şekil 4.4.	İmge Proses Akışı	49
Şekil 4.5.	a) Gürültü Örneği İmge b) Komşuluk Ortalaması Uygulanmış İmgesi	50
Şekil 4.6.	Ortam Bölütleme	50
Şekil 4.7.	Düz ve Eğri Kenar Uyarlama	51
Şekil 4.8.	Tüm Ortama Uygulanmış Kenar Uyarlama	52
Şekil 4.9.	Kenar Uygulamada Hesaplanan Kamı Değerleri için Parametreler	53
Şekil 5.1.	Süreç Akış İçinde BDP	60
Şekil 5.2.	Anthrobot III ve Eklem Koordinatları	62
Şekil 5.3.	Baş Parmak Parametreleri	63
Şekil 5.4.	Karanlıkta Bardak ve Işık Noktasının Dairesel Yörüngesi	64

## *TABLULAR LİSTESİ*

	<i><u>Sayfa</u></i>
Tablo 1.1. ANN Tasarımları ile Beyin İşlevleri Karşılaştırılması	15
Tablo 2.1. bp Eğrileri Arasındaki Lyapunov Eksponentleri	28
Tablo 2.2. Şekil 2.1'e ait Global Performans Ölçekleri (2 çekim hücresi; 2 itici hücre)	30
Tablo 4.1. Şekil Duyucularının Çıktıları	56
Tablo 4.2. Nörodenetimli FIN'in çıktıları	57
Tablo 4.3. Granfield Mekanizması için Tutuş Biçimi Belirleme	57
Tablo 4.4. Vida için FIN Karar Çıktısı	58
Tablo 4.5. "Conveks C" Çerçevesi için FIN Karar Çıktısı	58
Tablo 5.1. Işık Yörüngesindeki 12 Nokta	65

## ÖNSÖZ

MODİSA - 1 nolu ve “Hücreyel Robotların Hareketlerinin Bilgi Akış Ağı ile Koordinasyonu ve çok Parmaklı Robot Elinin Hücreyel Robotlar Ağı ile İncelenmesi” adlı 2 yıllık proje çalışmamız TÜBİTAK - MİSAG tarafından MODİSA ünitesi erevesi içinde desteklenmiştir. Projenin amacı yapılaşmamış ortamlarda işlev görecek Robot Elin Bulanık Optimal Hücreyel denetimini gerçekleştirmektir. Projeye tanınan bir yıllık ek süre içerisinde çalışmalarımız robot el Hardware’ine yönelmiş ve kavrama denetimi için gerekli olan Kapalı Döngü Kuvvet ve konum denetiminin Hardware tasarımını ve Software programlarını gerçekleştirmiştir.

## ABSTRACT

Considering the problem of grasping using multifingered robot hand in its dynamics and control integrity requires the analysis and control of a high dimensional, nonlinear complex system with time varying parameters and incorporating uncertainty. Such complex control system operating in unstructured environments will naturally involve the handling and fusion of information with different types of uncertainties. Decentralized control rises as an alternative to complicated global control since it involve dynamics at a lower dimension locally, thus generating easier analysis. There, global uncertainty becomes fragmented into local lower dimensional uncertainty at each of the smallest control units. Consequently, the complex global problem of grasping with a robot hand is transformed into smaller control units communicating between each other while uncertainty is propagated.

The aims of this project is to develop such a decentralized control model and to apply it to a grasping problem.

The completed phases of this project are:

- \* Modelling uncertainty
- \* Generating the cellular control space
- \* Developing a cellular control scheme
- \* Applying it to a robot hand control problem.

Within the frame work of this project three methodologies were developed and tested in a Robot environment :

- \* Fuzzy Cell to Cell Mapping  
and its application to turning a Fuzzy Controller.
- \* Fuzzy Dynamic Programming  
and its application to grasping with a Robot Hand.
- \* Fractal Intelligent Network  
and its applications to sensorimotor control of a robot hand.

Keywords : Fuzzy Cellular Control, Intelligent Robot Control Systems, Inference Networks, Multifingered Robot Hand, Cellular Control Dynamics.

## ÖZ

Çok parmaklı el ile kavrama problemini, dinamiği ve denetimi olarak bir bütünlük içerisinde ele alınması, çok boyutlu, doğrusal olmayan, değişken parametrelili ve belirsizlik taşıyan kompleks bir sistemin analiz ve kontrolü ile uğraşmak demektir. Bu tür karmaşık sistemlerin yapılaşmamış ortamlardaki işlevleri için gereken denetimin karmaşıklığı ve değişik türde belirsizlik içerdiği açıktır. Dağıtık kontrol az boyutlu dinamik gerektireceğinden, analizi daha basittir; ve global belirsizlik, en ufak denetim birimine indirildiğinden lokal boyutları aza inecek ve lokal olarak hata oranı azalacaktır. Global ve kompleks olan Robot el denetim problemi, böylelikle, ufak denetim birimlerinin birbirleri ile haberleşmesine ve belirsizlik yayılımının modellenmesine ve incelemesine dönüşmüştür. Projemiz böyle bir denetim modelinin oluşturulması ve robot ele uygulanmasını amaçlamıştır. Proje kapsamındaki gerçekleşen aşamalar şöyle olmuştur:

- \* Belirsizlik modelinin geliştirilmesi
- \* Hücresel Denetim uzayının oluşturulması
- \* Hücresel Denetim yönteminin geliştirilmesi
- \* Robot el kavrama denetimine uygulanması.

Proje kapsamında üç yöntem geliştirilmiş ve denenmiştir. Bunlar:

- \* Bulanık hücresel dönüşüm  
ve Bulanık Denetimlerin ince ayarının yapılmasında kullanımı.
- \* Bulanık Dinamik Programlama ve Robot el kavrama denetiminde kullanışı.
- \* Bilgi Akış Ağı ve duyuculu devinimli denetime uygulanışı.

Anahtar Kelimeler : Bulanık Hücresel Denetim, Akıllı Robot Denetim Sistemleri, Bilgi Akış Ağları, Çok Parmaklı Robot El, Hücresel Denetim Dinamiği.

## GİRİŞ

“Hücresel Robotların Hareketlerinin Bilgi Akış Ağı ile Koordinasyonu ve Çok Parmaklı Robot Elinin Hücresel Robotları Ağı Olarak İncelenmesi” adlı MODİSA - 1 nolu projemizde amaçlanan paralel ve ardışık işleyen altsistemlerden oluşan robot elinin yapılaşmamış ortamlarda akıllı denetimidir. Yapılaşmamış ortamların genel karakteristiği bu tür ortamlardan alınan verilerin eksik, belirsiz ve çelişkili olmalarıdır. Doğal olarakta, bu ortamlarda işlev gören sistemlerin denetim kararları, belirsizlik değişkenlik ve çelişki başgösteren verilerin işlenmesi ile elde edilir.

Denetimden beklenen ise, şartlar ne kadar belirsiz olursa olsun, denetim kararlarının güvenilir olmalarıdır. Buda ancak, yapılaşmamış ortamlarda, denetimin, yapılan hatalardan öğrenebilir olması ile gerçekleşebilir. Öğrenebilme ve irdeleyebilme, akıllı denetimin temel özellikleridir.

Akıllı denetimin genel amacı, düzensiz değişken ortamlarda işleyen sistemlerdeki esnekliği, ve dinamizm açısından güvenilirliği artırmaktır.

Düzensiz ortamdan elde edilen eksik, belirsiz ve çelişkili bilgi altında, akıllı denetim, sistemi amaca uygun olarak yönlendirir. Ayrıca denetim ünitesinin öğrenmesi bu tür belirsizliklerin denetimindeki etkilerini azaltmak için bir yöntemdir.

Öğrenebilen akıllı denetimlerde yaygın olarak kullanılan yöntemler, noktasal durum uzayında vektör değerleri kullanan yaklaşımlardır. Nörodenetim ve bulanık denetim başlıca noktasal değerli akıllı denetim yaklaşımlarıdır.

Bunun yanısıra, gerçek uygulamalardaki akıllı sistemlerin gerek durum uzayında, gerek algılama uzayında, ve gerekse irdeleme dinamiğindeki belirsizlikleri, noktasal değerleri noktanın etrafındaki bir hücresel alana yayarlar. Bunun sonucu olarak, hücresel değerler için denetim yöntemlerinin geliştirilmesi yeni araştırma alanı olarak belirmiştir.

Sayısal denetim, Optimal denetim ve akıllı denetimdeki öğrenme dinamiği hücreden hücreye dönüşüm yöntemlerinin en yeni uygulama alanlarıdır. (Sonuç raporu Bölüm 1 ve 2).

İyi yapılaşmamış değişken ortamlarda işlevi olan sistemler, başlıca üç özelliği olan, akıllı denetim gerektirir:

1. -Öngörülebilir bir biçimde, dış etkenlere bağlı değişimlere adaptasyon- Buradaki önemli husus eksik duyuşal veri altında sistem davranışının ön görülebilirliğini (sistem predictability) devamlı sağlamaktır. Bundan dolayı denetim algoritmaları esnek ve güvenli (robust) olmalıdırlar.
2. -Dış etkenler olmadığında sistem davranışını kararlı bir biçimde tutmak- Bu özellik, parametre değişimi altındaki sistem dinamiğinin doğrusal olmayan analizinde gerekli olan “öngörülebilir” örüntülerinin (predictability patterns) veya kriterlerinin saptanmasını ve geliştirilmesini gerektirir.
3. -Çok çözünürlüklü irdelemeyi ve öğrenmeyi destekleyebilir bir yapıda olmak- Duyuşal veri ve uzman bilgi genellikle değişik spesifisitede elde edilirler (multispecificity). Parametrik değişkenlerin aldığı değerlerin değişik aralıklarda olmaları bu özelliğe bir örnek teşkil eder. Duyuşal veri ve uzman bilgi modellenmesinde değişik taneleşme (multi granularity) uygulanır: değişik sayıda durum değişkeni oluşturmak modelin taneleşme özelliğini saptar.

Akıllı denetim, sistemin amaca yönelik ve ön bilgiler doğrultusundaki denetimini gerçekleştirmek için üç ana modeli içermesi gerekir.

1. Bilgi gösterimi = irdeleme/öğrenme durum uzayının belirlenmesi ve belirsizliğin modellenmesi ile oluşur.
2. Bilgi süreçleri = irdeleme modellerinin geliştirilmesini gerektirir.
3. Ön bilgi oluşumu = Öğrenme modellerini gerekli kılar.

Proje Sonuç Raporunda sunduğumuz çalışmalarımızda, bilgi gösterimindeki belirsizlik bir hücreye yayılma olarak ele alınır ve hücrelerin komşuluk belirsizliğide raporun bölüm 2'sinde sunulan bulanık hücre yapısı ile modellenir. Bilgi süreçlerinde ise geliştirdiğimiz bulanık hücresel dönüşümünü ve bu yöntemden türettiğimiz bulanık dinamik programlama tekniğini kullandık. Böylece oluşturduğumuz “belirsizlik altında akıllı denetim” yöntemimizin akıllı denetim özelliklerinden çok çözünürlülük, bulanık hücre yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Burada çok tanelilik (multigranularity) Bulanık küme sayısı ile, çok spesifisite özelliği ise (multispecificity) bulanık kümelerin kesikli hale getirilmelerindeki değişken örnekleme adımları ile elde edilmiştir.

Bulanık denetleçlerdeki uygun çözünürlülük ince ayarlarının yapılması ile bulunur. Biz proje çalışmamızda geliştirdiğimiz yöntemlerden Bulanık Hücresel Dönüşümü böyle bir ince ayarın yapılmasında kullandık (Sonuç Raporu Bölüm 3).



Yapılaşmamış ortamlarda çok parmaklı robot eller kullanılarak yapılan maharetli tutuşlar, değişik belirsizlik ölçütleri gerektirirler ve çok seviyeli hassasiyet ile karakterize edilebilirler. Bu tür kavramalar için, değişik belirsizlik seviyeleri olan, çok görevli (multitasking), birbirine geçebilen (variable structure) doğrusal olmayan denetim sistemlerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

Proje amacına yönelik, biz, Robot elin algılayabildiği kadar tanımlanan cisme göre ve bilindiği kadar tanımlanan işe yönelik akıllı biçimlenme denetimine eğildik (Sonuç Raporu Bölüm 4).

Bu problemin çözümü için geliştirdiğimiz akıllı mimari, dağıtık (decentralized) yapıda olup 3 modülden oluşmaktadır.

- (1) SENS-PERCEPTOR (SP) olarak adlandırdığımız
- (2) Nörodenetleç (NC)
- (3) Fraktal İrdeleme Ağı (FIN)

Projemizde gerçekleştirilen bu üç modüllü mimari, algılama ve çalışma ortamı modelini bilgi işleme ile entegre etmektedir. Bu yapı ise referans [47,48] de tariflenen ve Institute of Standards and Technology (NIST) tarafından gerçekleştirilen NASREM kavramı ile uyumludur.

Bu mimarimiz fazladan değişik duyuçulardan alınan eksik imge verilerini işleyerek algılamaya dönüştürecek bir yaklaşım sunmaktadır ve bu algılamayı duyuşal devinimli denetime entegre etmektedir. Mimarimiz Bölüm 4.1'de anlatılmaktadır. Bu entegrasyonda ve algılamada, geliştirdiğimiz fraktal tabanlı yaklaşık irdeleme tekniği kullanılmaktadır ve fraktal bulanık ölçütlere dayandırılmıştır. Proje çalışmalarımızda, El biçimlendirme oluşturulduktan sonra, Robot elin kavrama denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu denetimde geliştirdiğimiz ikinci yöntem olan bulanık dinamik programlama kullanılmış ve Anthrobot III robot elinin, belirsizliği yüksek karanlık bir ortamda bir kupayı kavramasında denenmiştir (Sonuç Raporu Bölüm 5).

Ancak Anthrobot III robot elinin kapalı döngü denetim alt yapısı olmadığından ancak ileri beslemeli denetim yapılabilmektedir. Bundan dolayı Proje'ye bir ek süre istenmiş ve bize tanınan bir yıllık bir ek süre de robot elinin kapalı döngü pozisyon ve kuvvet denetimi için gerekli "Hardware" alt yapı tasarlanmış, imal edilmiş ve ele monte edilmiştir (Sonuç Raporu Bölüm 6).

Özetleyecek olursak, Proje önerisinde belirtilen amaca uygun olarak, Proje kapsamı içerisinde Robot el biçimlenme ve kavrama denetim yöntemleri geliştirilmiş, performans testleri yapılmış, ve Robot el ileri yönlü

denetimlerinde denenmişlerdir. alışmalarımızdaki zgünlük projeden üretilen çok sayıda bildiri ve tezlerden görölmektedir.

HÜCRESEL ROBOTLARIN HAREKETLERİNİN BİLGİ AKIŞ  
AĞI İLE KOORDİNASYON VE ÇOK PARMAKLI ROBOT  
ELİNİN HÜCRESEL ROBOTLAR AĞI OLARAK  
İNCELENMESİ

## BÖLÜM I

### BELİRSİZLİK ALTINDA AKILLI DENETİM

Akıllı denetimin genel amacı, düzensiz değişken ortamlarda işleyen sistemlerdeki esnekliği, ve dinamizm açısından güvenilirliği artırmaktır.

Düzensiz ortamdan elde edilen eksik, belirsiz ve çelişkili bilgi altında, akıllı denetim, sistemi amaca uygun olarak yönlendirir. Ayrıca denetim ünitesinin öğrenmesi, bu tür belirsizliklerin denetimdeki etkilerini azaltmak için bir yöntemdir.

Öğrenebilen akıllı denetimlerde yaygın olarak kullanılan yöntemler noktasal durum uzayında vektör değerleri kullanırlar [1,2,3,4,5,6,7]. Nörodenetim [8] ve bulanık denetim [9] başlıca noktasal değerli akıllı denetim yaklaşımlarıdır.

Bunun yanısıra, gerçek uygulamalarda, akıllı sistemlerin gerek durum uzayında, gerek algılama uzayında, ve gerekse irdeleme dinamiğindeki belirsizlikleri, noktasal değerleri noktanın etrafındaki bir hücresel alana yayarlar. Bunun sonucu olarak hücresel değerler için denetim yöntemlerinin geliştirilmesi yeni araştırma alanı olarak belirmiştir.

Sayısal denetim, Optimal denetim ve Akıllı denetimdeki öğrenme dinamiği, hücreden hücreye dönüşüm yöntemlerinin doğal ve değerli uygulama alanlarıdır.

Sonsuz sözcük uzunluğu olan ideal sayısal denetimler noktasal dönüşümlerle modellenir. Sonlu sözcük uzunluğu olan, sayısal kompensatör içeren, sayısal denetim sistemleri hücreden hücreye dönüşümle modellenmek zorundadır. Burada orjinal modelin kuantizasyonundan elde edilen çözünürlük, orijinal uzaydaki noktasal değerleri hücresel değerlere genişletir. Bu kuantizasyondan oluşan kaotik davranışlar [9,10] çalışmalarda incelenmiştir. Sayısal denetimin yanısıra Hsu [11] hücreden hücreye dönüşümleri optimal denetim problemlerinde kullanmıştır. Hsu'nun yönteminde hücresel durum uzayı oluşturulmuş ve kesikli maliyet fonksiyonları ve denetimleri uygulanmıştır. Hsu'nun bu yaklaşımında optimal denetim stratejilerini belirlemek için basit hücresel dönüşüm (Simple Cell Mapping) kullanılmış olup, genelleştirilmiş hücresel dönüşüm (Generalized Cell Mapping) ise birbirine bağlı ve çekişen stratejileri ayırtmada uygulanmıştır. Çalışmalarımızda [12,13,14,15,16] ise biz, hücresel dönüşümleri, akıllı denetimin öğrenme dinamiğini değerlendirmede kullanmakla birlikte, özgün bir yaklaşım olan bulanık hücresel denetim yöntemini geliştirerek ele aldık.

## ***1.1. AKILLI DENETİM***

Denetim yöntemleri, yeni bilgi ile (girdi ve durum değerleri olabilir) sistemin şimdiki zaman çıktısını karşılaştırır ve öngörülen sistem davranışı doğrultusunda, programlar aracı ile, parametre seçimini gerçekleştirir. Bu parametre seçimi;

- a) Optimum denetim veya geribesleme denetimde olduğu gibi önceden belirlenmiş, kesin ve değişmeyen koşullara bağlı olarak yapılır veya
- b) Adaptif denetimde olduğu gibi seçimin dayandığı koşullar deterministik veya olasıl değişimler gösterir ve parametre seçimi, doğrusal veya stokastik yaklaşık metodlarla (approximation method) yapılır. Eğer parametre seçimini yönlendiren koşullar kötü belirlenmiş, eksik ve çelişkili bilgi taşıyan yapıda iseler, denetim mekanizması akıllı denetim gerektirir.

Sayısal Denetimde, Optimal Denetimde ve Öğrenebilen Akıllı Denetimlerde uygulanan yöntemler noktasal vektör değerleri kullanırlar. Sonuç raporunun bölüm 1.4 ve 1.5 'te sunulan akıllı denetim yöntemleri, ki bunlar nörodenetim ve bulanık denetimdir, değişkenlerin uzaydaki noktasal değerlerine bağlıdır. Halbuki gerek durum uzayında, gerek algılama uzayında ve gerekse irdeleme dinamiğinde, belirsizlikler noktasal değerleri, noktanın etrafında bir hücrenel alana yayarlar. Bundan dolayı hücrenel değerler için denetim yöntemleri geliştirmek yeni araştırma alanı olarak belirlenmiştir.

Sonuç Raporunun Bölüm 2'sinde geliştirdiğimiz bulanık hücrenel denetim tanıtılmaktadır.

## ***1.2. AKILLI DENETİM PROBLEMLERİNİN TEMEL YAPISI***

Akıllı denetim yöntemleri, düzensiz, belirsiz ve değişken ortamlarda çalışması gereken doğrusal olamayan dinamik sistemlerde gereklidir. Bu tür sistemlere örnek olarak kendi kendine yönlenen otonom araçlarını, esnek imalat sistemlerini, deniz altı veya uzay robotları ile insan kol, bacak otomatik protezlerini belirtebiliriz.

- Akıllı denetim gerektiren problemler genelinde karmaşıktırlar. Bu tür sistemlerin birbirleri ile girift iletişimleri vardır ve bu probleme getirilen çözümler çeşitli uzman bilgi tabanlarının ve değişik algoritma ve yöntemlerinin tümleştirilmesini gerektirir.
- Akıllı denetim için açıkça belirtilmiş denetim kararları gereklidir. Sistemlerin denetimleri, tüm yapılması gerekenler arasından en iyisinin ve en uygununun seçilmesi ile gerçekleşir.

- Akıllı denetim gerektiren sistemler çoğu zaman kötü yapılanma özelliği gösterirler. Burada amaçlar iyi tanımlanmamışlardır. Ayrıca ilk durumu amaca götüren karar yolu belli bir örüntüye dayalı değildir.
- Akıllı denetim altındaki sistemler çoğu kez gerçek zaman denetim problemleri içerirler. Bu sistemlerin denetim davranışları, bir amaca yönelik olarak devamlı izlenmeleri gerekir.
- Bu tür denetim sistemlerinin dayalı bulunduğu problemlerin özellikleri eksik bilgi taşımalarıdır. Sistem modellerinde yüksek derecede belirsizlikler bulunabilir veya çalışma koşulları çok değişkendir. Bunun yanı sıra, girdi sinyallerinden kaynaklanan çelişkili ve güvenilemeyecek bilgiler altında denetim sisteminin verimle çalışması beklenir.

Bu saydığımız sistem özelliklerine yapay zeka teknikleri veya uzman sistem yaklaşımları cevap veremezler. Bu tür yöntemler genellikle tek bir problem alanına uygun "heuristic" bilgiler kullanırlar ve çoğu, yalnızca danışman olarak çalışırlar. Böylece bu yaklaşımlar akıllı sistemlerin gerçek zaman denetimlerinde kullanılmağa uygun değildir.

### ***1.3. AKILLI DENETİMİN ÖZELLİKLERİ***

Problem çözümünün her aşamasında, akıllı sistem, bir sonraki yapacağı işlem hakkında karar vermek zorundadır. Yapılan her işlemde, çözüm elemanları oluşturulup veya değiştirileceğinden, akıllı sistemin genel amaca doğru denetimli yönlendirilmesi için karar mekanizması gerekir. En iyi kararı alabilmek için ise akıllı sistem açıkça veya dolaylı olarak uygulanması gereken metodu veya stratejileri saptar. Bu karar mekanizması Hayes-Roth [1] tarafından bir denetim problemi olarak ele alınmış ve problem çözümünde sistemin kendi "cognitive" davranışı kullanılmıştır. Yazarların bu çalışmasında da görebileceğimiz gibi, akıllı sistemler çeşitli denetim davranış türleri içerirler. Bundan dolayı akıllı sistem seçimi ve tasarımı için bu türlerin yapılarının bilinmesi gereklidir.

#### **Akıllı Sistem Davranışları**

\* Açık şekilde Denetim kararı almak :

Akıllı denetim sisteminin ilk davranış amacı yapacağı işlemleri tanımlamak (seçmek) ve ne zaman hangi işlemin uygulanacağını belirlemektir. Bu tarzda belirlemeler genelinde olası işlemler arasından bir önceki işlemin sonucuna göre yapılır. Böylelikle akıllı denetim için bir irdeleme yönteminin oluşturulması zorunludur.

\* İstenileni, Yapılabilene uyarlamak :

Bir akıllı sistemin önbilgiye dayanan denetimi, istenilen işlemler zincirinden ve uygulama hakkındaki bilgiden, yapabilecek işlemleri saptar. Bunun sonucunda, akıllı denetim, istenilenle, yapabilecekleri uyarlama görevini üstlenir. Buradaki zorluk istenilenle yapabileceklerin ayrı kutuplar oluşturulmasından ve çelişkili olabilmelerinden kaynaklanır.

\* Denetimdeki ön bilgilerin detaylarının çözünürlüğe göre değiştirmek :

Akıllı sistem, denetim ölçeklerini belirleyen birimlerin boyutlarını problem çözümüne göre belirler. Bazen denetim mekanizması işlemleri belirler, bazı durumlarda ise, işlem sınıfları saptar. Akıllı sistemlerde, değişkenler çözünürlüğünü bir denetim parametresi olarak gözetmek gerekir.

\* En uygun denetim kuralını saptamak :

Çözülmesi gereken problemde hangi işlem özellikleri yararlı ise, akıllı sistem, denetim kurallarını bu işleme göre oluşturur.

\* Dinamik olarak denetim kurallarını değiştirmek :

Ortam, problemin çözümü sırasında değişebilir. Değişen ortam parametrelerine göre, akıllı denetim, aynı amaca götürecek kuralları ortam şartlarına uydurur. Bu değişkenlik devamlı ise, aralıklı zaman denetim uyarlaması, bir uyarlama dinamiğine dönüşür. Ayrıca değişkenlik arttığı zaman, denetim yetersiz kalabilir. Böylece, dinamik denetimde, artan değişkenliğinin, denetime tehlikeli olma derecesi de bir hareket eşiği olarak modellenmelidir.

\* Stratejik işlem zincirlerini dinamik olarak planlamak :

Bazı şartlarda tek tek bağımsız işlemlere karar vermektense bir işlem zinciri oluşturmak denetim yönünden daha önemli olabilir. Akıllı denetim, bu zinciri saptayabilir olmasının yanısıra, dinamik olarak tek tek her işlemi de saptayabilmelidir. Bu özellik akıllı denetimlerin değişik ölçeklerde (çözünürlüklerde) çalışabilir şekilde tasarınlanmaları gerektiğini belirler.

\* Ortamda ve denetim içinde işlemlerin entegrasyonunu sağlamak :

Akıllı sistemler hareket ortamında, bir probleme çözüm gerektirmek için ortam hareketleri yaparlar. Ayrıca denetim uzayındaki çözümler için denetim kararları alırlar. Bu iki uzavda varılan işlemler birbirine bağımlı

ve tümleşik olmalıdırlar. Bunun için sistem, yapılabilecek ortam hareketlerini, olası denetim işlemleri ile irdeleyip, çalışmasını sağlar.

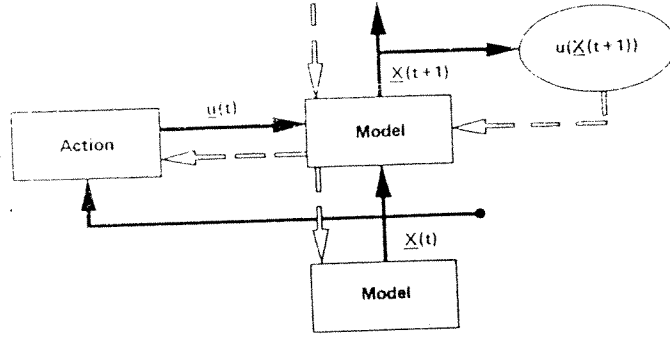
Tüm bu yapıların ortak özelliği, akıllı denetimin dinamik öğrenme ve irdeleme esaslarına dayanmasıdır. Öğrenme ve irdeleme dinamiğinin devamlı veya zaman aralığında devamlı olan başlıca akıllı denetim sınıfları, Nörodenetim ve Bulanık denetim sınıflarıdır.

#### **1.4. NÖRO DENETİM**

Bu bölümde yapay sinir ağlarına dayanan beş ayrı önemli denetim tasarım yöntemlerini inceliyeceğiz. Ayrıca, her yöntem için başlıca yapıtlar referans olarak sunulmuştur. İncelenecek nörodenetim sınıfları şunlardır.

- i) Gözetimli denetim sistemlerinde (supervised control), yapay sinir ağları, bir insan düşünce yapısına, veya, prototip bir işlemin nasıl yapılacağını bilen bir bilgisayar programına benzemeyi öğrenir.
- ii) Direkt ters denetimde (direct inverse control) yapay sinir ağları sistemin çıkışından girdisine doğru ters dönüşümleri öğrenir. Örneğin, bir robot sisteminde yapay sinir ağlarının öğreneceği ters dönüşümler, robot kolun kısaç kartesyen koordinattaki (x,y,z) konumundan eyleyicilere (actuators) (bunlar genellikle açısız ( $Q_1, Q_2, Q_3 \dots$ ) konumlarıdır), kadar olan ters dönüşümlerdir. Burada yapay sinir ağları robot kolunun istenilen bir kartesyen yörüngeyi izlemesinin, veya istenilen bir hedef noktaya ulaşmasının denetiminde kullanılırlar.
- iii) Nöro adaptif denetimde ise, yapay sinir ağları klasik adaptif denetim yöntemlerindeki doğrusal dönüşümlerin yerini almaktadırlar. Klasik adaptif denetim tasarımlarında, kendini ayarlayan Regulator (Self-tuning Regulator, STR) ve Modele bağlı adaptif denetim (Model Reference Adaptive Control MRAC) yöntemleri kullanılır. Bu tasarımlarda, ters denetimde olduğu gibi, belirli bir hedefe ulaşmak amaçlanır.
- iv) Zaman ekseninde geri yayılım (ZEGY) (Backpropagation Through Time, BTT) metodunda, kullanıcı, hem, maksimum hale getirilecek bir yarar fonksiyonunu (utility function) veya bir performans değerini tanımlar, hem de dış ortamın bir modelin saptar. Geri yayılım gelecek zamandaki toplam yararın, şimdiki zaman işlemlerinin çıktısı olacak şekilde ayarlanmasında kullanılır. ZEGY örüntü tanıma problemlerinde kullanıldığı gibi gerçek örüntülerin model örüntülere göre uyarlanma denetiminde kullanılır.





Şekil 1.1 : ZEGY Modele Dayalı Mimari.

- v) Adaptive Eleştiri yöntemlerinde ise (adaptive critic methods) kullanıcı maksimum hale getirilecek bir fonksiyon veya değer tanımlar. Bu uzun süreli bir optimizasyon problemidir ve sistemin yaptığı gelişmeyi değerlendiren eleştiri ağı (critic network) diye tanımlanan, ek bir yapay sinir ağının uyarlanması ile çözülür. Bir başka deyişle, eleştiri ağının çıktısı, bir bakıma başlangıçtaki yarar fonksiyonunun tüm gelecek zamanlarda toplamını gösterir ve türevleri ile bir ikinci yarar fonksiyonun görevini yapar. İşlem yapan sistem bu ikinci yarar fonksiyonunu yakın gelecekteki zaman birimlerinde maksimum hale getirmeye çalışılır.

	Motor Becerileri	-Gürültü	Zaman Optimizasyonu	Gerçek zamanda öğrenme
Gözetimli denetim	x	x		x
Ters denetim	(x)	x		x
Nöro adaptif denetim	?	?		?
ZEGY	x		x	
Adaptif Eleştirili 2 Ağılı Maksima	x	x	x	x

Tablo 1.1 : ANN Tasarımları ile Beyin İşlevleri Karşılaştırılması

Tablo 1.1 de bu 5 metod insan beyninin 4 yeteneği ile karşılaştırılmıştır. Bu metodlar, prensip olarak differansiyel denklemlerden oluşan herhangi bir ağ yapısında kullanılabilirler. Böylece sırf sinir ağlarına özgü değildir.

### *1.4.1. Gözetimli Denetim (Supervised Control)*

Tanım olarak, gözetimli öğrenme, uzun süreli planlama gerektirmez. Bu tür denetimin, istenilen işlemin nasıl yapılacağını bilen birisinin (gözetmen) varlığı altında çalıştığından bazı araştırmacılara göre kopyacılık özelliği taşır ve bundan dolayı değeri azdır. Widrow [2] çalışmalarında bu tür denetimin yararlarına temas etmiştir. Bu tür denetim, bir uzmanın, sisteme, denetimli ilgili bilgi aktarması için bir araçtır.

Gözetimli denetim aslında sinirsel uzman sistemi (neural expert system) gibidir ve uzmanların ne yaptıklarının kural tabanı şeklinde anlatımına değil de, gerçekten ne yaptıklarına (dinamik gözetime) dayalıdır.

Bunun yanı sıra, eğer gözetmen işlemi yavaş yapıyorsa, gözetimli denetim gözetmene benzemeyi öğrenip, işlemi daha hızlı yapar. Bu tür denetim, ilk olarak bir sarkaç dengeleme (pole balancer) probleminde kullanılmıştır.

Jorgenson [3] çalışmasında havacılıkta kullanılan bir gözetimli denetim örneği vermiştir. Kawato'nun çalışmaları [4] ise robotlardaki gözetimli denetim kullanımı üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Gözetimli denetim ünitesi sistem hareket çıktılarını ve duyargaç sinyallerinden oluşan girdileri hafızada tutar ve bu bilgilerden, hareketlerin duyargaç verilerine göre nasıl değişikliklerini öğrenir.

Gözetimli denetim ünitesinin tasarımında, CMAC [5], klasik geri yayılım [6] veya Atkeson'ın benzetişimli bellek (associative memory) [17] yöntemleri gibi gözetimli yöntemlerden biri seçilir. İkinci aşamada kullanıcı, gözetmene, girdileri ve istenilen çıktılar çizelgesini verir ve sinir ağı, bunun öğrenme algoritmasına girdi olarak alıp, öğrenir.

### *1.4.2. Direkt Ters Denetim (Direct Inverse Control)*

Direkt ters denetim gözetimli öğrenmeye dayalıdır. Burada da herhangi bir gözetimli öğrenme metodu kullanılır. Örnek alacak olursak bu tür denetimde hedefler, eyleyici sinyalleri ve girdiler de robot kolun veya bir başka sistemin koordinatları olabilir. Girdi ve hedeflerden oluşan ön bilgi, değişik girdiler için sistemi çalıştırıp hedef değerlerini kaydetmeyle elde edilir. Kuperstein'in çalışmasında biyolojiden esinlenerek geliştirilmiş ve duyargaç girdilerinde kullanılan ön işlemciler bulunur. Konum hatalarının derecesi yüzde 3-5 olarak saptanmıştır. Miller [7] bu tür denetimlere yeni eklemeler getirmiştir ve geçmiş uzay koordinatlarını da ağa fazladan girdi olarak vermiştir. Bununla, konum hatalarının gerçek ticari amaca, uygun boyutlara düşürüldüğünü göstermiştir.

Kawato ve Jordan yörünge planlamasında direkt ters denetim kullanılmasıyla ortaya çıkan problemleri incelemişlerdir [3]. Direkt ters denetimin, uzay

koordinatları ve eyleyici sinyalleri arasında bire bir bağıntı olduğunda ortaya çıkan kısıtlamalarını da belirtmişlerdir.

#### ***1.4.3. Sinirsel Adaptif Denetim***

Tablo 1’de bu denetim türüne ait yerlere soru işaretinin konmuş olması bu konunun yeni olmasına bağlıdır. Klasik adaptif denetim ve performansı, birçok araştırmacı [18] tarafından incelenmiş olmasının yanı sıra, Narendra [8] adaptif denetim konusunda başta gelen bilim adamlarındandır ve halen nöro denetim üzerinde çalışmaktadır [19]; ayrıca adaptif denetim ve nöro denetim arasında bağlantı kurmaktadır.

#### ***1.4.4. Zaman Ekseninde Geri Yayılma (ZEGY)***

Bu yöntem zamana göre optimizasyon problemlerini çözmede kullanılır [20]. Bu metodun avantajları şöyle sıralanır.

- 1) Kullanıcı maksimum veya minimum hale getirecek herhangi bir yarar fonksiyonunu, veya performans değerini seçebilir.
- 2) Metod şimdiki işlemlerin gelecek yararlar için etkisini ele alır. Zaman ekseninde geri yayılma (ZEGY) temelde değişimler kalkülüsü’ne (calculus of variations) eşdeğerdir. Tek ana değişiklik, ZEGY’de yarar fonksiyonunun türevlerinin bulunmasıdır.

Değişimler kalkülüsünde olduğu gibi, ZEGY’nin iki dezavantajı vardır : 1) Prensip olarak gürültüden arınmış ve kesin tanımlanmış bir dış ortam gereklidir. 2) ZEGY yönteminde, türev hesaplamaları içeren ve süre olarak gerçek zamanda öğrenme ile bağdaşmayan işlemler gereklidir.

Yine, zaman ekseninde geri yayılma metodu ile gerçek zamana yakın zamanda öğrenme yapılabilir. Bunun içinde, önbilgileri taşıyan “tecrübe” yi tecrübeler zincirine bölmek gerektiği gibi her zincirin halkası denendikten sonra ağırlıkların ayarlanmaları zorunludur. Kawato [4], bu yönteme yeni bir ardışık yapı uyarlamıştır. Bu yaklaşımda, ilk süreç, güçlü ve yeni bir şekilde ortamın bir modeline uyarlama işlemi içerirken, ikinci süreç ise zaman ekseninde geri yayılmayı kullanıyor. Jordan [4] ZEGY ile denetimi uygulayarak ters denetim yapmaktadır. İki araştırmacıda ustalıkla yarar fonksiyonları oluşturmağa özen göstermişlerdir. Werbos [21] zaman ekseninde geri yayılma yöntemini Enerji Bakanlığının resmi planlamalarında bulunan doğal gaz endüstrisinin karlarını attırmada kullanmıştır.

#### ***1.4.5. Adaptif Eleştirili Denetim (Adaptive Critics)***

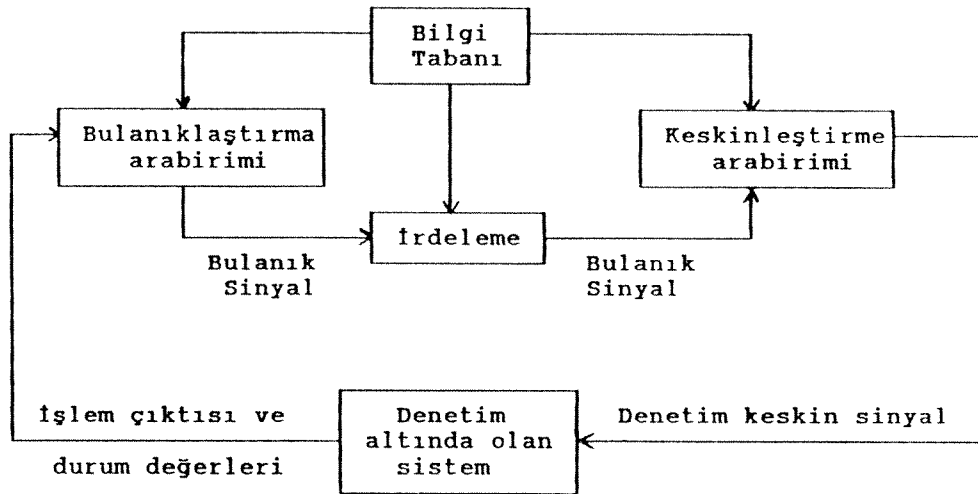
Zaman ekseninde geri yayılma gibi, bu denetim yönteminde bir yarar fonksiyonunu veya zamanla güçlenme değerini maksimum hale getirir. Adaptif Eleştirili Denetim ZEGY’den daha fazla gürültü içerir çünkü gelecek zaman

yarar değerlerini, şimdiki zaman işlemlerinin etkilerini gösteren eleştiri ağı yapısı içerir. Bunun yanısıra bu metod dinamik programlamaya uygun bir yaklaşımdır. Bilindiği üzere, dinamik programlama gürültüyü ve ortamın stokastik modellerini içeren kesin bir metottur. Kawato'nun geri beslenmiş hatayı öğrenen metodu, bir çeşit eleştiri yaklaşım sayılabilir. Burada, önceden programlanmış geribeslemeli bir denetim ünitesi adaptif olmayan bir eleştiri ünitesi gibi hareket etmektedir. Basit gerçek deneylere başarı araştırmacı vardır. Bunlardan en önemlisi Mayhew'dür.

Nörodenetim gibi, öğrenebilen ve adaptif sınıflama yapabilen bir başka akıllı denetim sınıfı ise bulanık denetimli (fuzzy control) sistemler sınıfıdır.

### 1.5 BULANIK DENETİM [22]

Şekil 1.2'de bulanık mantık denetiminin (BMD) temel mimarisini görebiliriz.



Şekil 1.2. Bulanık Mantık Denetim

Bu yapı dört ana üniteye dayalıdır.

- \* Bulanıklaştırma arabirimi
- \* Bilgi tabanı
- \* Bulanık mantıkla irdeleme
- \* Keskinleştirme arabirimi

a) Bulanıklaştırma arabirimi

- i) girdilerin değerlerini ölçer
- ii) ölçek dönüşümü yapar ve giren değerlerin değer aralıklarını bulanık küme evrenine transfer eder.
- iii) bulanıklaştırma için, girdi verilerini bulanık kümeleri tanımlayan uygun linguistik değerlere çevirir.

- b) Bilgi tabanı, uygulama alanı ve denetim amaçları hakkındaki ön bilgileri içerir ve bir veri tabanı ile linguistik bulanık denetim kural tabanından oluşur.
- i) Veri tabanı, linguistik denetim kurallarını ve denetim ünitesindeki bulanık veri kullanımını tanımlamak için gereken bilgiyi verir.
- ii) Kural tabanı ise, linguistik denetim kurallar kümesi ile, denetim amaçlarını ve uzmanların belirledikleri denetim stratejilerini belirtir.
- c) İrdeleme süreci, bulanık mantık denetim ünitesinin çekirdeğini oluşturur. Bu süreç, insan karar verme mekanizmasını bulanık bir yapı ile benzetebilme özelliği taşır. Ayrıca, BMD, bulanık mantığın irdeleme kurallarını ve bulanık değiniyi (implication) kullanarak bulanık denetim işlevlerini yerine getirir.
- d) Keskinleştirme arabiriminin yaptığı işlemler şöyledir
- i) Çıktı değişkenlerinin değerlerini uygun evren değerlerine dönüştüren ölçek dönüşümü yapmak.
- ii) İrdeleme sonucu elde edilen bulanık denetim işlemlerini bulanık olmayan (keskin olan) denetim işlemleri halinde getirmek.

### ***1.5.1. Bulanık Koşul Tanımları ve Bulanık Denetim Kuralları***

Bulanık mantık denetiminde, (Fuzzy Logic Controller) uzman bilgiye dayanan ve linguistik olarak tariflenmiş kurallar kümesi ile belirtilen bir bulanık sistem dinamiği vardır.

Uzman bilgi genellikle şu yapıdadır :

Eğer (Şartlar kümesi sağlanırsa) o zaman (Bir sonuçlar kümesi ver)  
(IF) (THEN)

Kuralın ön şartları ve sonuçları linguistik anlamda bulanık yapıda oldukları için, bu kurallar bulanık koşul tanımları olarak adlandırılırlar.

Bu raporumuzda belirttiğimiz bulanık denetim kuralı, ön şartlarını uygulama alanından alan ve sonuçları da denetim altındaki sisteme uygulanacak denetim işlemleri olan, bir bulanık koşul tanımlar. Esas olarak, bulanık denetim kuralları denetim stratejilerini ve uygulama hakkındaki ön bilgileri ifade etmede uygun bir yöntem oluşturur. Denetim kurallarının ön şartı birden fazla olabildiği gibi verdiği sonuçlarda birden fazla olabilir. Bu tür sistem çok girdili - çok çıktılı (MIMO : Multiple Input, Multiple Output) bulanık sistemdir. Örneğin iki girdili bir çıktılı (MISO : Multiple input Single Output) bulanık sistemlerdeki, bulanık denetim kuralları aşağıda gibidir.

$k_1$  : eğer  $x A_1$  ise ve,  $y B_1$  ise,  
o zaman  $z, C_1$  dir.

$k_2$  : eğer  $x A_2$  ise, ve  $y B_2$  ise,  
o zaman  $z, C_2$  dir

.

$k_n$  : eğer,  $x A_n$  ise ve  $y B_n$  ise  
o zaman  $z, C_n$  dir.

Burada  $x$  ve  $y$  işlem durum değişkenlerini ve  $z$  ise denetim değişkenini ifade ederler.  $A_i, B_i, C_i$  ( $i= 1...n$ ) ise  $x, y,$  ve  $z$  linguistik değişkenlerinin  $u, v, w$  evrelerinden aldıkları linguistik değerlerdir.

“Eğer,  $x A_i$  ise, ve  $y B_i$  ise, o zaman  $z, C_i$  dir” gibi bir bulanık denetim kuralı bulanık değini (bulanık ilgi fonksiyonu) ile ifade edilir ve aşağıda gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned}\mu_{R_i} &= \mu (A_i \text{ ve } B_i \rightarrow C_i) (u, v, w) \\ &= [\mu_{A_i}(u) \text{ ve } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w)\end{aligned}$$

burada  $A_i$  ve  $B_i, A_i \times B_i$  bulanık kümedir ve  $(u \times v)$  birleşik evrende bulunur.

$R_i = (A_i \text{ ve } B_i) \rightarrow C_i$  ( $u \times v \times w$ ) evreninde bir bulanık ilgi (implication)'dir.

$\rightarrow$  sembolü bulanık ilgi (implication) fonksiyonunu gösterir.

### 1.5.2. Bulanıklaştırma Operatörü

Bulanıklaştırma operatörü keskin veriyi bulanık kümelere dönüştürür. Sembolik olarak  $x =$  “bulanık” ( $x_0$ ) diye gösterilebilir. Burada  $x_0$  bulanık küme ve “bulanık” ise bulanıklaştırma operatörüdür.  $x_0$  ise keskin girdi değeridir.

### 1.5.3. Cümle Bağlama Operatörü

Bulanık mantık denetim ünitesi bulanık denetim kurallar kümesinden oluşur. Bu küme bulanık değiniyle ve irdelemenin yıldız altı birleştirme kuralına bağlıdır. Bulanık denetim kuralları cümle bağlantıları “ ve “ (and) ve “ birde” (also) ile birleştirilmişlerdir. Her bulanık denetim kuralı bir bulanık ilgi ile gösterilmiş olduğundan, bulanık sistemin genel davranışı bu bulanık ilgilere dayalıdır. Bir başka deyişle, bir bulanık sistem, kural kümesinde bulanık ilgi fonksiyonlarının birleştirilmesinden elde edilen tek bir bulanık ilgi ile gösterilir. Bu birleştirme cümle bağlantısı “birde” ile yapılır. Sembolik olarak

$$R = \text{birde} (R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n)$$

burada “birde” sözcüğü bir cümle bağlantısıdır.

#### **1.5.4. Birleştirme Operatörleri**

$x$ ,  $y$  ve bulanık ilgi fonksiyonu  $R$  (fuzzy relation)’den, irdeleme sonrası,  $Z$  sonucunu elde etmek için irdelemenin yıldızaltı (substar) birleşme kuralı uygulanır. Birleştirmenin gösterimi şöyledir :

$$Z = y \circ (x \circ R)$$

Burada “ $\circ$ ” yıldız altı (substar) birleşmedir (composition rule).

#### **1.5.5. Keskinleştirme Operatörü**

Buraya kadar sözü geçen irdeleme sürecinin çıktısı bir bulanık kümedir ve denetim davranışının olabirirlik dağılımını (possibility distribution) tanımlar. Aslında denetimde (on line control) keskin denetim davranışı istenir. Bundan dolayı, bulanık denetim algoritması ile elde edilen bulanık denetim işlemlerinin (çıkıtı) keskinleştirilmeleri gerekir. Böylece aşağıdaki fonksiyonu tanımlamak gerekir.

$$Z_i = \text{“Keskin”} (Z)$$

Burada  $Z_i$  keskin denetim çıktısı olup “Keskin” sembolü bir keskinleştirme operatörünü gösterir.

#### **1.5.6. Bulanık Mantık Denetimin Tasarım Parametreleri**

Bulanık mantık denetimindeki başlıca tasarım parametrelerini şöyle sıralayabiliriz.

- 1) Bulanıklaştırma stratejileri ve bir bulanıklaştırma operatörün tanımı
- 2) Veri tabanı :
  - a) Evrelerin kesikli hali ve normalizasyonu
  - b) Girdi ve çıkıtı uzaylarının bulanık bir biçimde bölünmeleri
  - c) Tamamlılık
  - d) Başlıca bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun seçimi
- 3) Kural tabanı
  - a) Bulanık denetim kurallarının süreç durum değişkenlerinin (çıkıtı) seçimi
  - b) Bulanık denetim kurallarının kaynağının saptanması ve kuralların oluşumu
  - c) Bulanık denetim kurallarının tutarlılığı, iletişim ve tamamlılığı
- 4) Karar verme
  - a) Bulanık “değini”nin (implication) tanımı

- b) “Ve” cümle bağlantısının tanımı
- c) “Birde” cümle bağlantısının tanımı
- d) Birleştirme operatörünün tanımı
- e) İrdeleme mekanizmasının oluşumu

5) Keskinleştirme stratejileri ve keskinleştirme operatörünün tanımı

## 1.6. AKILLI DENETİMLERDE ÖĞRENME

İyi yapılaşmamış değişken ortamlarda işlevi olan sistemler, başlıca üç özelliği olan, akıllı denetim gerektirir:

1. -Öngörülebilir bir biçimde, dış etkenlere bağlı değişimlere adaptasyon- Buradaki önemli husus eksik duyuşal veri altında sistem davranışının ön görülebilirliğini (sistem predictability) devamlı sağlamaktır. Bundan dolayı denetim algoritmaları esnek ve güvenli (robust) olmalıdır.
2. -Dış etkenler olmadığında sistem davranışı kararlı bir biçimde tutmak- Bu özellik, parametre değişimi altındaki sistem dinamiğinin doğrusal olmayan analizinde gerekli olan “öngörülebilir” örüntülerinin (predictability patterns) veya kriterlerinin saptanmasını ve geliştirilmesini gerektirir.
3. -Çok rezolüsyonlu irdelemeyi ve öğrenmeyi destekleyebilir bir yapıda olmak- Duyuşal veri ve uzman bilgi genellikle değişik spesifisitede elde edilirler (multispecificity). Parametrik değişkenlerin aldığı değerlerin değişik aralıklarda olmaları bu özelliğe bir örnek teşkil eder. Duyuşal veri ve uzman bilgi modellenmesinde değişik taneleşme (multi granularity) uygulanır: değişik sayıda durum değişkeni oluşturmak modelin taneleşme özelliğini saptar.

Akıllı denetim, sistemin amaca yönelik ve ön bilgiler doğrultusundaki denetimini gerçekleştirdiği için üç ana modeli içermesi gerekir.

1. Bilgi gösterimi = irdeleme/öğrenme durum uzayının belirlenmesi ve belirsizliğin modellenmesi ile oluşur.
2. Bilgi süreçleri = irdeleme modellerinin geliştirilmesi gerektirir.
3. Ön bilgi oluşumu = Öğrenme modelleri gerektirir.

Bu proje sonuç raporunda sunduğumuz çalışmalarımızda, bilgi gösterimindeki belirsizlik bir hücreye yayılma olarak ele alınır ve hücrelerin komşuluk belirsizliğinde bulanık hücre yapısı ile modellenir. Günümüzde akıllı sistemlerdeki öğrenme üç ana koldan gelişmektedir :

- Kendi kendini organize eden sistemlere ağırlık veren ve sistem teorisine dayalı yöntemler
- Sembolik gösterim kullanan endüktif öğrenme yöntemleri
- Uzman sistemlerdeki statik bilginin otomatik oluşumu.



## BÖLÜM II

### BULANIK HÜCRESEL ÖĞRENME DİNAMİĞİ

Biz bu çalışmamızda sistem teorisine dayalı ve böylece öğrenme dinamiği içeren bir yaklaşım geliştirdik, analiz ettik ve gezgin robot üzerine yerleştirilen ters sarkaç'ın denetimine uyguladık Bölüm 2.1. bilgi gösteriminin temeli olan Hücreden hücreye dönüşümlerin kısa bir özetini vermektedir. Öğrenme dinamiğinin öngörülebilirlik analizi için geliştirdiğimiz fraktal ölçütler bölüm 2.2.'de sunulmuştur. 2.3 de hücreden hücreye dönüşümü bulanıklaştıran yaklaşımımız incelenmiştir.

#### 2.1. HÜCRESEL DÖNÜŞÜMLER

##### 2.1.1. Basit Hücresel Dönüşüm (Simple Cell Mapping)

Hücreden hücreye dönüşüm (cell to cell mapping) doğrusal olmayan sistemlerin genel davranışlarını saptamada etkili ve kullanışlı bir yöntemdir. Genel davranışı belirlemek için, bu yöntem, durum uzayında, asemptotik olarak kararlı olan denge durumlarını ve periyodik hareketlerinin çekim havuzlarını (basin of attraction) bulur. Hücreden hücreye dönüşüm, denetim durum uzayındaki hücreleri durum kümesi olarak ele alır. Burada her hücre bir durum kimliği taşır. Hücreden hücreye dönüşüm yöntemleri ikiye ayrılır: 1) Genelleştirilmiş Hücreden Hücreye dönüşüm (Generalized Cell Mapping). Burada, her hücre birçok olası hücreye dönüşür. 2)Basit Hücre dönüşümünde ise (Simple Cell Mapping) her  $Z(n)$  hücresinin bir  $Z(n+1)$  imgesi vardır.

$$Z(n+1) = C Z(n)$$

$C$  dönüşümü hücreden hücreye dönüşümdür ve noktasal kesikli dönüşümlerin  $X(n+1) = G(X(n))$  hücreleştirilmeleri ile bulunur [23]. Bu hücreleştirme, durum uzayını, kenarı  $h_i$  olan hücrelere bölmekle gerçekleştirilir. Böylece  $Z_i$  hücresinde bulunan her  $x_i$  noktası şöyle tanımlanır.

$$(Z_i - 1/2) h_i \leq x_i \leq (Z_i + 1/2) h_j$$

Hücrenin orta noktasını

$$x_{id}(n) = h_j Z_j$$

olarak tanımlarsak, hücreleştirme aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$Z_i(n+1) = C_j(Z(n) = \text{int} [(1/h_j) G_i(X_{id}(n)) + 1/2]$$

buradaki “int”, sonucu en büyük tam sayıya tamamlama işlemini göstermektedir. Sonuç olarak, basit hücresele dönüşümle yeni hücre bulmak demek onun yeni orta noktasına ulaşp etrafında kenarı  $h_i$  olan bir hücre oluşturmak demektir.

### 2.1.2. Genelleştirilmiş Hücresele Dönüşüm (Generalized Cell Mapping) [23]

Genelleştirilmiş hücresele dönüşüm kullanan denetimlerde, tek bir hücrenin birçok imgesi olabilir, bundan dolayı, her imge tüm olasılıkların bir parçasını taşır. Bu hücrelerin taşıdığı olasılık değerleri hücreden hücreye dönüşümden bulunur :

$$Z(n+1) = PZ(n)$$

P burada olasılık yer değiştirme (probability transition) matrisidir. Yer değiştirme olasılığı,  $P_{ij}$  sistemin  $n$ 'inci zamandaki hücre “ $j$ ” den  $(n+1)$ 'inci zamandaki hücre “ $i$ ” ye geçmedeki şartlı olasılığı ile bulunur.

$$P_{ij} = W [ Z(n+1) = i \mid Z(n) = j ] \quad i, j \in S$$

Hücre 0'dan başladığında hücre evrimi

$$Z(n) = P^n Z(0) \text{ olarak tanımlanır.}$$

Genelleştirilmiş hücresele dönüşümde, P matrisi bir sistemin tüm dinamik özelliklerini içerir ve  $Z(n+1) = PZ(n)$  dönüşümü, sonlu, kesikli, durağan Markov zinciri olduğundan, P bir stokastik matristir. Böylece,

$$P_{ij} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^k P_{ij} = 1$$

ayrıca

$$Z_i(n) \geq 0 \quad \text{ve} \quad \sum_{i=1}^k Z_i(n) = 1$$

Genel hücreden hücreye dönüşümün en önemli dezavantajları bir hücrenin içindeki her noktayı, ne kadar hücre ortasına yakın veya uzak olursa olsun, aynı değerde görmesidir. Halbuki hücre ortasına yakın noktalara hücre kenarındaki noktalardan daha çok ağırlık verilmesi gerekir. Çünkü en az belirsizlik bu noktalarda bulunur. Bu hususun yanı sıra, hücre kenarına yakın noktalar komşu hücreye de bir olasılık değeri ile ait olabilirler. Sonuç olarak, hücreden hücreye olası dönüşümlerde noktaların hücre içindeki dağılımları göze alınmalıdır. Bulanık hücresele dönüşüm bu incelemeler sonucu geliştirilmiştir. (Bölüm 2.3).

## 2.2. ÖĞRENME DİNAMIĞININ PERFORMANS ANALİZLERİ

### 2.2.1. Öğrenme Çekim Alanları

Deterministik veya stokastik öğrenme (supervised learning) de girdi/çıkı (I/O) çiftleri bir öğrenme dinamiği ile bağlıdır. Bu davranış bir öğrenme hücresel durum uzayında {başlangıç hücresi/çekim hücre} çiftine ve yörüngelerine karşılık gelir. Öğrenme dinamiğinin durum uzayındaki enerji seviyesi ile oluşturduğu yörünge örüntüleri, vadiler ve tepeler oluşturur. Bu vadilerin birleştiği enerji düğüm noktaları genellikle çekim hücresidir (attractor cell) ve bir girdiye karşılık öğretilecek çıktıdır. Çekim hücresine yönelen yörüngeler kümesi o hücrenin “çekim alanını” (basin of attraction) belirler. Belirsizlik, durum uzayında, gürültülü örüntüler, bulanık yörünge ve çekim hücreler kümesi yaratırlar. Bu özelliği Bölüm 2.2.2.’de değineceğiz. Belirsizliğin bir başka etkisi ise kesişimli ve erozyona tabi çekim alanları yaratmasıdır. Öğrenebilen bir sistemde, öğrenmenin amacı,

1. Gürültü etkisi altında dahi durum uzayında öğrenebilen özünüteye ait “vadi” de kalmak,
2. Doğrusal olmayan dinamiği ile sistemin, öğrenebilen özünütelelerdeki minimum enerji konumuna kendiliğinden gelmesi. Bu amaç, istenilen, çekim noktalarına konverjans olduğunu yansıtmaktadır.

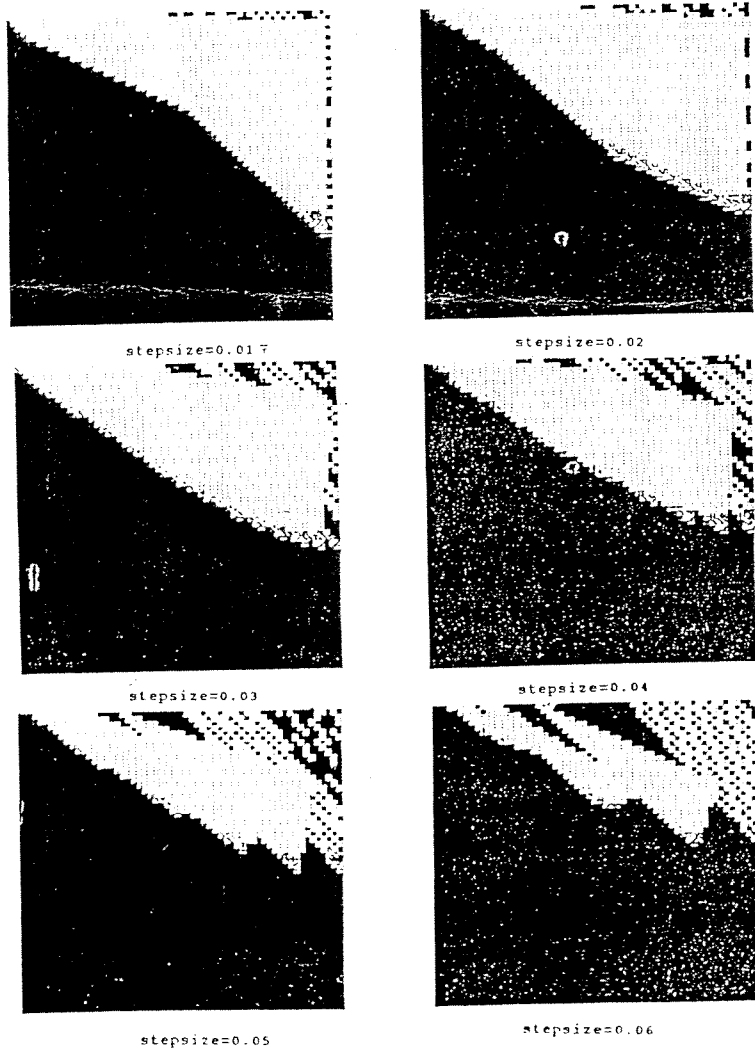
Proje çalışmalarımızda öğrenmenin bu amaçları gözetilerek, , durum uzayındaki öğrenme dinamiğini, belirsiz çekim ve itme noktalarının belirlediği bir potansiyel alanda doğrusal olmayan bir sistemin genel davranışı olarak ele aldık. Bu yaklaşımda vadilerin ve çekim havuzlarının derinlik dereceleri öğrenme performansının artması ile doğru orantılıdır. Yalnızca, bu modele öğrenme performansı ölçütleri getirmek gerekir ve çalışmalarımızın ilk dönemi bu yönde gelişmiştir [12,13,14]. Çekim havuzlarını belirlemek için basit hücreden hücreye dönüşüm algoritmasını (SCMA) düzlemsel robot kolundaki öğrenmeye uyguladık. Uygulamamızda, durum uzayı, 2 boyutlu 3600 hücreden ve birde, çalışma alanı dışındaki hücreleri bir hücrede topladığımız atık hücrelerinden oluşmaktadır. Öğrenme dinamiğinin, öğretilecek girdi/çıkı çiftlerine göre ortaya koyduğu değişik Konverjanslar, Grup Numaraları (GR), Peryodik Numaraları (PR) ve Adım Numaralarına (ST) göre grafiksel örüntü kodlaması ile renklendirilmişlerdir.

Grup Numarası (GR) : Peryodik davranışın ait olduğu Konverjans hücrelerine verilen koddur.

Periyodik Numarası (PR) : Konverjans hücreleri içindeki periyoddur. Sabit tek hücre, periyod-1 Konverjans hücrelidir.

Adım Numarası (ST) : Bir z hücresinin kaç adımda bir Konverjans hücre kümesine vardığını belirtir.

Örüntü kodlaması ile renklendirilmiş Konverjans haritalarımızda, her hücre ait olduğu çekim hücresinin (Konverjans hücresinin) grup numarasının özel örüntüsü ile renklendirilmiştir. Aynı örüntüdeki tüm hücreler kümesi, örüntüye ait Konverjans hücresinin çekim alanını belirler. Şekil 2.1, değişik hücre boyutu  $h_i = 1,2,3,5$  hücre boyutu için ve basit hücre dönüşümünün değişik iterasyon adımları için Konverjans haritalarını sunmaktadır. Değişik hücre boyutu değişen belirsizlik ölçütünü modellemektedir. Bu haritalardan da görüleceği üzere, yüksek çözünürlük, hücre boyutu, belirsizliğin azaldığını simgeleyerek küçüldüğünde çekim alanındaki düzensizlikler daha ince yapıya ulaşır fraktal özellikleri artmaktadır. İterasyon adımları azaldıkça çekim alanları erozyona uğramaktadırlar. Çekim havuzunun erimesi ve fraktal örüntüler öğrenme sürecindeki çekim (attractor) noktasının verimliliğini ölçmede önemli özelliklerdir.



Şekil 2.1. Koverjans Haritaları.

## 2.2.2. Öğrenmedeki Güvenirlilik Ölçümü

### 2.2.2.1. Öngörülme Kaybı

Öngörülme kaybını ölçebilmek için, hücreyel uzaydaki havuz alanı azalmasına öngörülme desteği  $b_p$  ölçütünü getirdik. Bu öngörülme destek ölçütü,  $b_p$ 'yi, hücreyel yörüngelerde, atık hücreye düşmeyen hücre sayısı ile belirledik.  $b_p$  eğrileri arasındaki fark ve onun değışimleri bilgi kaybı ortaya koymaktadır. Bu bilgi kaybı öngörülebilme kaybıdır ve biz bu kaybı Lyapunov eksponentleri kullanarak, aşağıda verilen denkleme göre ölçdük.

$$L = \frac{1}{adimsayısı(N) - adimsayısı(0)} \log \sum_{i=1}^N \frac{d(adimsayısı(k))}{d(adimsayısı(k-i))}$$

Burada  $d(adimsayısı(k))$ , adım sayısı  $k$  da  $b_p$  eğrileri arasındaki uzaklıktır. Negatif Lyapunov Eksponentler, adım sayısı (N)-adım sayısı (0) aralğında, iki eğrinin birbirine hızla yaklaşmasını tanımlar. Pozitif Lyapunov Eksponentler ise eğrilerin birbirinden hızla uzaklaştıklarını ve böylelikle bilgi kaybının arttığını gösterir (Şekil 2.2, Tablo 2.1).

### 2.2.2.2. Öğretme Vektörünün Performans Değerleri

Çekim Havuzlarının sistem parametre değeri değıştiğinde erimleri denetimi zorlaşmaktadır. Dolayısı ile öğrenme denetimi için, çekim havuzlarının erimesine, öğretme vektörünün performansına dayalı olan bir ölçüt getirdik. Öğrenme, öğretme vektörüne bağlı olarak denge hücreleri ve onların çekim havuzları olarak gösterilir.

#### 2.2.2.2.1. Hücreyel Uzayın Sınırlı Kararlılığa göre Bölünmesi

##### \* Orbital Konverjans Çekirdeği

Orbital Konverjans çekirdeği, çekici hücre  $z$  ye minimum iterasyon sınırı ( $n_0$ ) da erişen tüm  $z_i$  hücreler kümesi olarak tanımlanır. Bu tanımdaki orbital sözcüğü,  $z$  çekim hücresinin genellikle periyodik olan hücrelerden oluşmasına bağlıdır.

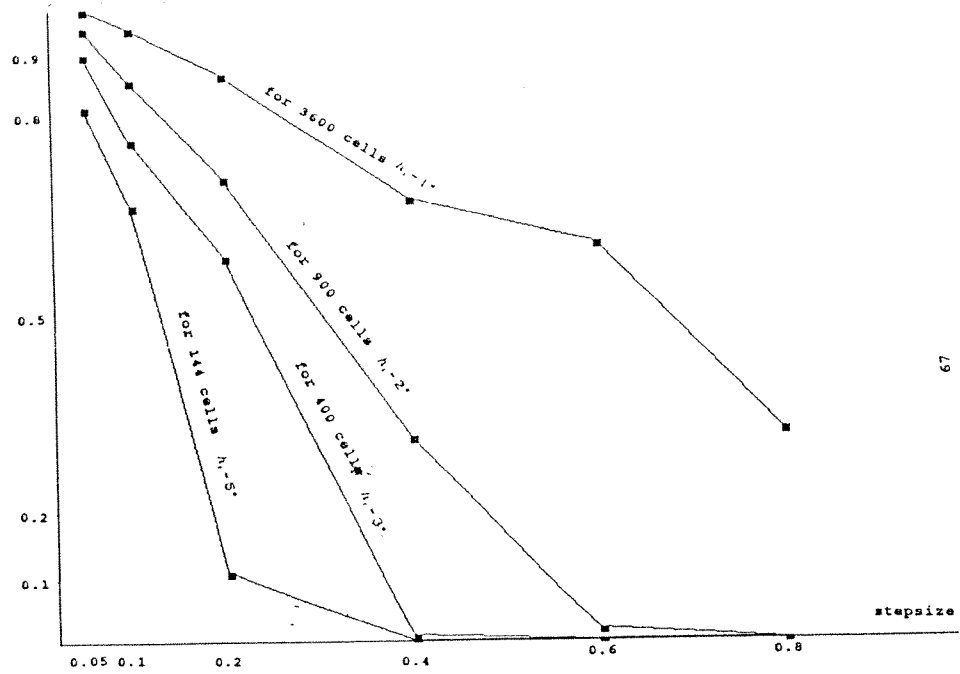
Orbital Konverjans :

$$= \{ \bigcup_i Z_i \mid \forall Z_i(n) \wedge \forall \epsilon > 0 \exists \delta > 0 : \| Z_i \| < \delta \Rightarrow \| n - n_0 \| < \epsilon \}$$

$n$  = iterasyon

$n_0$  = iterasyon sınırı

Çekirdek kümenin eleman sayısını,  $COC = \text{Cardinality} (U_I z_i(n)) = (U_I Z_i(n))^{\#} = i$  olarak gösterelim.



Şekil 2.2. Hüresel Uzaydaki Havuz Alanı Azalma Ölçütü: Öngörülme desteği  $b_p$ .

Tablo 2.1.  $b_p$  Eğrileri Arasındaki Lyapunov Eksponentleri.

	$h_i = 1$	$h_i = 2$	$h_i = 3$	$h_i = 5$
$h_i = 1$	-	(1.45, 0.75)	(0.85, 0.75)	(0.40, 0.75)
$h_i = 2$	(1.45, 0.75)	-	-0.98, 0.55)	-1.87, 0.55)
$h_i = 3$	(0.85, 0.75)	-0.98, 0.55)	-	-2.40, 0.35)
$h_i = 5$	-1.87, 0.55)	-1.87, 0.55)	-2.40, 0.35)	-

Yaptığımız bu tanıma göre orbital Konverjans çekirdeği belli bir çözünürlükteki çekim havuzunu belirler.  $COC(z)$  ise, bu havuzdaki Grup numarası  $Gr(z)$  olan hücre sayısı olarak alanını verir.

\* Diverjans Çekirdeği

Bu çekirdek, bir çekim hüresine maksimum iterasyon sayısından fazla iterasyonla varan veya hiç bir çekim hüresine gitmeyen hücrelerin kümesinden oluşur. Bu hücreler, belirlenen  $n_0$  iterasyon sınırı içinde, kararlı olmayanlardır. CD ise bu çekirdeğin içindeki hücre sayısıdır.

### 2.2.2.2.2. Performans Ölçeklerinin Geliştirilmesi (Tablo 2.2)

#### \* Global Öngörülebilirlik Kaybı (GPL)

Bu kaybı aşağıdaki denklem ile belirledik :

$$\text{GPL} = \left( \frac{\text{Diveranj. çekirdeği. alanı}}{\text{Hücre sel. uzaysal. alanı}} \right)$$
$$= 1 - b_p$$

Bu kayıp ölçeği Konverjans azaldığında veya, uzaydaki işlem karmaşıklığını belirleyen hücre sayısı azaldığında artar. Bu ölçüm, öğrenme hızını arttırmak için çözünürlüğü azaltmanın, bir başka deyişle, hücre sayısını azaltmanın kararlılığa etkisini gösterir.

#### \* Lokal Öngörülebilirlik Kaybı (LPL)

LPL, bir çekim hücre sinin kendi orbital Konverjans çekirdeğindeki en yakın hücreye olan uzaklığıdır. En yakın hücreye olan bu uzaklık ölçümünü, en kısa geometrik yoldan giderken geçilen hücre sayısı olarak belirledik.

#### \* Yönlü Öngörülebilirlik Kaybı (DPL)

DPL, bir çekim hücre sinden, kendi orbital Konverjans çekirdeğindeki bir başka hücreye belirli bir yol üzerinden uzaklığını ölçer.

LPL ve DPL ölçümlerini geliştirirken, hücre sel uzayın belirli bir yöndeki küme dolgunluğunu (set compactness) kullandık [12, 13]. Çalışmalarımızdan edindiğimiz sonuçlara göre bir çekim havuzundaki küme dolgunluğu kaybı, bu bölgedeki her işlemde kendi alt kümesine dönüşen alanların fraktal olarak erimesine bağlıdır. Halbuki kendi alt kümesine dönüşen bölgeler (trapping regions), akıllı sistemlerin öğrenmedeki öngörülebilirliklerini belirleyen önemli faktörlerdir.

Attractors entropy = 2.0  
Repellers entropy = 3.0

$h_1=1$   
# of cells=3600

stepsize	# of converging cells	converging cell dimension	# of diverging cells	predictability loss dimension	bp	GPL	efficiency
0.05	3478	1.98	122	1.27	0.97	0.03	28.51
0.1	3362	1.98	238	1.33	0.93	0.07	14/13
0.2	3102	1.96	498	1.51	0.86	0.14	6.23
0.4	2468	1.91	1132	1.71	0.69	0.31	2.18
0.6	2150	1.87	1450	1.78	0.60	0.40	1.48
0.8	1150	1.72	2450	1.91	0.32	0.68	0.47

$h_1=2$   
# of cells=900

stepsize	# of converging cells	converging cell dimension	# of diverging cells	predictability loss dimension	bp	GPL	efficiency
0.05	840	1.98	60	1.2	0.93	0.07	14.00
0.1	862	1.99	138	1.45	0.85	0.15	5.52
0.2	634	1.90	266	1.64	0.70	0.30	2.38
0.4	286	1.66	614	1.89	0.32	0.68	0.47
0.6	16	0.81	884	1.99	0.02	0.98	0.02
0.8	0	undefined	900	2	0	1.00	0

$h_1=3$   
# of cells=400

stepsize	# of converging cells	converging cell dimension	# of diverging cells	predictability loss dimension	bp	GPL	efficiency
0.05	358	1.96	42	1.25	0.90	0.10	8.52
0.1	304	1.91	96	1.52	0.76	0.24	3.16
0.2	234	1.82	166	1.71	0.59	0.41	1.41
0.4	6	0.60	394	1.99	0.02	0.98	0.02
0.6	0	undefined	400	2	0	1.00	0

$h_1=5$   
# of cells=144

stepsize	# of converging cells	converging cell dimension	# of diverging cells	predictability loss dimension	bp	GPL	efficiency
0.05	118	1.92	24	1.28	0.82	0.18	4.92
0.1	95	1.83	49	1.57	0.66	0.34	1.94
0.2	16	1.11	128	1.95	0.11	0.89	1.13
0.4	0	undefined	144	2	0.00	1.00	0

Tablo 2.2 Şekil 2.1'e ait Global Performans Ölçekleri (2 çekim hücresi; 2 itici hücre)

\* Verimlilik (E)

Sinyal gürültü oranına benzer bir şekilde tanımlanan verimlilik, Konverjansa tabii olan hücre sayısının, Diverjansa tabii olan hücre sayısına oranıdır.

$$E = \text{COC} / \text{CD}$$

Burada belirtelim ki, önceden belirttiğimiz  $b_p$  de bir verimlilik ölçütüdür.

\* R-Güvenirlilik (RR)

Orta noktası A hücresi olan R çaplı bir D dairesel alan alalım. R-Güvenirliliği aşağıdaki gibi tanımladık.

$$RR = (\text{COC} \cap D^{\#}) / D^{\#}$$



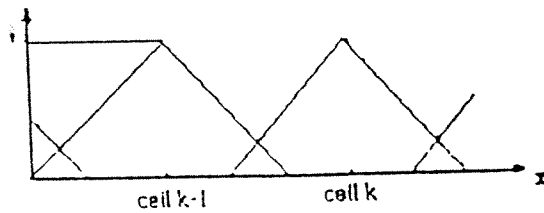
$D^{\#} = D$  içindeki hücre sayısı

Bu  $R$  çapı güvenilirlik ölçütünü fraktal kümelerdeki fraktal yoğunluk kavramına dayanarak geliştirdik [24]. Bu çalışmalarımızdan bir örnekleme için [12,13,14,15] 'i önerebiliriz.

Geliştirdiğimiz bu ölçütleri sonuç raporumuzun Bölüm 3'ünde verdiğimiz bulanık denetleç ayarlaması yönteminde  $r$ -adım çekim havuzlarını belirlerken kullandık. Böylece bulanık denetlecinin ince ayarını denetim uzayının öngörülebilir bölgelerinde yapmış olduk. Belirsizlik altında işleyen denetim mekanizmalarının iyileştirilmeleri ancak öngörülebilir davranışı varsa mümkündür, buda ancak, denetime ait öngörülebilirlik ölçütleri ile saptanmış öngörülebilir bölgeleri ayrıştırılmaları ve işlemlerin bu bölgelerde yürütülmeleri ile gerçekleştirilebilir. Proje çalışmalarımızın bu bölümünde basit hücrel dönüşüm kullandık ancak bilindiği üzere, belirsizlik bulanık küme teorisi ile modellendiğinde, bulanık hücrel dönüşüm yapısının oluşturulması gerekmektedir. Bizde çalışmalarımızın bu aşamasından böyle bir yöntemi geliştirdik [16].

### 2.3. BULANIK HÜCRESEL DÖNÜŞÜM

Yaklaşımımızda [16], basit ve genelleştirilmiş hücrel dönüşümlerinde olduğu gibi, durum uzayı, hücrel durum uzayını oluşturacak şekilde  $n$  hücreye bölünmüştür. Bulanık Hücrel Dönüşümün Bölüm II.1de belirtilen yöntemlerden farklılığı bu uzaydaki her hücrenin bir bulanık küme oluşudur ve komşu bulanık kümeler ile çakışık olmasıdır.



Şekil 2.3. Bulanık Hücreler.

Her bulanık küme P eşit aralığa bölünerek kesikli hale getirilir. Böyle bir A kümesine olan destek (SuppA)

$$\text{SuppA} = x_1, x_2, \dots, x_p \in X$$

olarak tanımlanır. Burada X durum uzayını gösteren bulanık evrendir. Bizim yaklaşımımızda, hüresel dönüşüm R, bulanık hücre A'yı bir olasılık değeri ile hücre B'ye taşır, böylece :

$$R : A \longrightarrow B \text{ ve } B = A \circ R$$

burada;

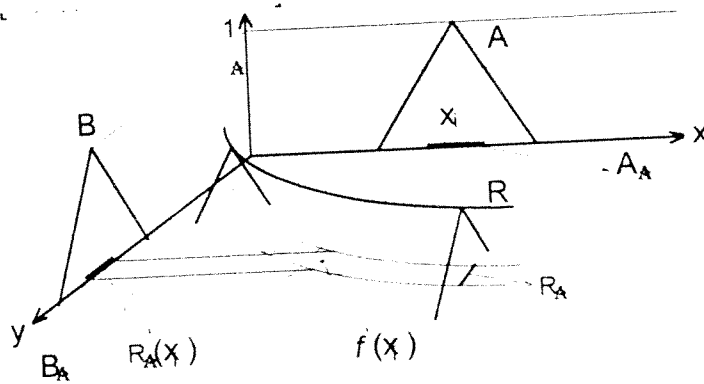
A, B bulanık kümeler

R bulanık ilgi fonksiyonu ve o birleşme sembolüdür.

Eğer R'nin üyelik fonksiyonu ve  $x_i$ 'nin  $y_i$ 'ye dönüşümündeki üyelik değeri verilmişse,

$$\mu_R(x_i, y_i) : X \times Y \longrightarrow [0,1]$$

olarak tanımlanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Bulanık Hücreden Bulanık Hücreye Dönüşüm.

Üyelik fonksiyonlarındaki birleştirme bir min-max işlevi ile elde edilir. Buna göre imgenin üyeliği

$$\mu_B(y_i) = \bigvee_{i=1}^p [\mu_A(x_i) \wedge \mu_R(x_i, y_i)]$$

olarak bulunur.

Burada  $\mu_A$  kaynak hücre üyelik değeridir ve  $V, \wedge$  bulanık toplama ve çarpma işlemlerinin sembolleridir. Eğer B hücresindeki dağılımın tamamı gözlenemeyip bir eşik değeri üstündeki dağılım önemli ise, B'ye bir  $\alpha$  kesiti,  $B_\alpha$ , getirilir :

$$B_\alpha = \{ y \in X \mid \mu_B(y) \geq \alpha \}$$

Böylece eşikli hücreyel dağılım aşağıdaki gibi olur :

$$B_\alpha = \{ y \in X \mid V_R [ \mu_A(x) \wedge \mu_R(x_i, y_i) ] \geq \alpha \}$$

bulanık ilgi fonksiyonunada  $\alpha$  kesit getirilirse aşağıdaki gibi bir eşitlik yazılabilir.

$$R_\alpha(x_i) = \{ y \in X \mid (x_i, y_i) \in R_\alpha \}$$

Eşikli dönüşümlerde imge aşağıdaki gibi bulunur.

$$B_\alpha = \bigcup_{x \in A_\alpha} R_\alpha(A_\alpha)$$

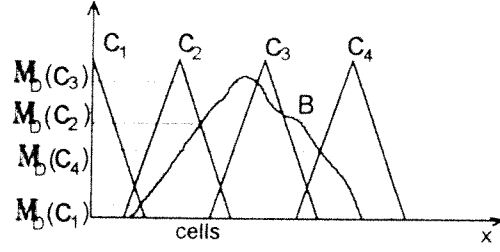
Bu eşitlik bizim bulanık hücreyel dönüşümümüzü tanımlar. Buradaki  $A_\alpha, A$  bulanık kümesinin  $\alpha$  kesiti ve  $R_\alpha$  ise R bulanık ilgi fonksiyonunun  $\alpha$  kesitidir.

Bulanık ilgi fonksiyonu R'yi orijinal dinamik denklemlerden buluruz. Bu denklemlerde  $x_i$  noktasının imgesi  $f(x_i)$  olarak alınır ise R'yi aşağıdaki gibi tanımlarız :

$$R_\alpha(x_i, y) = \{ (x_i, y) \in X^2 \mid f(x_i) - (1 - \alpha) \leq y \leq f(x_i) + (1 - \alpha) \}$$

Dikkat edersek

$\alpha = 1$  noktasal dönüşüm verir ve  
 $\alpha = 0$  ise  $x_i$ 'yi  $(f(x_i) - 1, f(x_i) + 1)$  aralığına dönüştürür.



Şekil 2.5 B İngesinin C Hücrelerine Üyelikleri.

Buraya kadar bir bulanık hücrenin şartlı olarak bir bulanık kümeye dönüşümünü inceledik. Yaklaşımımızda, bir bulanık hücre bir çok olası bulanık hücreye dönüşür. Bundan dolayı, B imgesinin C hücrelerine üyelikleride saptanmalıdır (Şekil 2.5). Bu özelliği bir bulanık durum yer değiştirme Q matrisi tanımlayarak elde edebiliriz.

$$Z(n+1) = Z(n) \circ Q$$

Bu yaklaşımımız için örnek ve sonuç değerlendirmeleri [16] 'de verilmiş ve incelenmiştir. Halen yaklaşımımız bir bulanık denetim çerçevesi içinde Robot sistemlerinde denenmektedir.

### BÖLÜM III

#### BULANIK HÜCRESEL DÖNÜŞÜM KULLANILARAK BULANIK DENETLEÇLERİN İNCE AYARLARININ YAPILMASI

Bulanık denetleçlerin tasarımı zaman alıcı bir süreç olup, ilk aşamada iyi performans elde etmek garanti edilemez. Başlıca sebepleri arasında belirli analitik tasarımların ve analiz yöntemlerinin ender oluşları bulunmaktadır. Göz önünde tutulması gereken bir diğer husus ise, tasarım aşamasının tamamen uzman bilgi ve tecrübelerle dayalı olmasıdır. Böylelikle, bulanık denetleçlerin ilk denemede iyi performans vermeleri beklenemez ve ince ayar gerektirir. Bulanık denetleçler için çevrim içi (on-line) ve çevrim dışı (off-line) ayar metodları geliştirilmiştir [25,26,27,31]. Adaptif bulanık denetleçler çevrim içi ayarlama teknikleri kullanılmaktadır [27,31]. Çevrim dışı birçok ayarlama metodunda bulunmaktadır; bunlardan bazıları girdi uzayının değişimini temel alırken, bazıları da kural tabanının değiştirilmesini ele almışlardır [25,26]. Bu ayarlamaların başarısı genelinde uygulamaya ve tasarımcıya çok bağlı kalmaktadır. Çalışmamızda, denetleç ayarını, bulanık hücresel durum uzayında, geliştirdiğimiz Bulanık Hücresel Dönüşüm (BHD) [16] kullanarak yaptık. Bulanık durum uzayını oluştururken en küçük eleman, bir grup noktayı içeren bir hücre olarak seçilmiş ve bu noktaların bu hücre içerisinde oluşturdukları olabilirlik (Possibilistic) dağılımı ele alınmıştır. BHD kullanılarak yapılan denetleç ayarlamasında 2 modül yardımcı olmaktadır:

- 1) bir puanlama sistemi, sistem performansını zaman optimal paha fonksiyonuna benzer bir biçimde, değerlendirmekte; ve
- 2) bir kampansatör ise denetleç ayarlayıcısı görevini üstlenmektedir.

Bulanık hücresel durum uzayında öngörülebilir bölgeleri (predictable regions) bulmak için puanlama yöntemini kullanılmaktadır. Öngörülebilir bölgeler, belirli zaman adım sayısında, hedef bölgesine ulaşan ve emilen tüm hücreleri içerir. Böylelikle, öngörülebilir bölgeler, denetim uzayındaki denetlenebilir durum hücrelerini belirli bir tolerans limitine göre belirler. Buna göre, daha çok öngörülebilir hücre yaratmak ve sabit bir hücrenin çekim bölgelerini genişletmek denetim davranışını iyileştirir. Bu kavramı metodumuzla gerçekleştirmek için, kayan kipli denetim (sliding mode control [28,29,36]) yaklaşımına benzer bir yöntemle, BHD kullanılarak öngörülemeyen durum hücrelerini, öngörülebilir bölgelere kaydırmaktayız. Yaklaşımımızda, bulanık hücresel durum kısıtlamaları uygulanmaktadır. Öngörülemeyen hücreler için, onları öngörülebilir hale getirecek en iyi denetim uygulamaları taranmaktadır. Bu tarama mekanizması kampansatörle birlikte öyle çalışmaktadır ki, sistem iyileştirilmiş hücrelerin birinde bulunduğu kampansatör ayarlama operasyonuna başlamakta ve sistemin iyileştirilmemiş hücrelere gelmesi halinde görevini orjinal denetlece devretmektedir.

### 3.1. BHD ile BULANIK DENETLEÇ AYARLAMASI

Bu bölüm, BHD'yi tasarım optimizasyon aracı olarak sunmaktadır. Hsu, çalışmasında, benzer optimal denetimi hücresele dönüşümle gerçekleştirmiştir [34]. Burada durum uzayı için bir basit paha fonksiyonu ve bir hedef bölge tanımlanmış ve her sıradan hücre için (regular cells), bu paha fonksiyonunu minimize eden optimal denetim uygulamaları bulunmuştur. Sonunda, durum uzayındaki her sıradan hücrenin girdi olduğu kesikli denetim tablosu oluşturulmuş ve bu denetim tablosu denetleç olarak kullanılmıştır. Diğer araştırmacılar, bu optimal denetim tablosunu kendi denetleçlerini parametre uzayında ayarlama kullanmışlardır [33,36,40]. Çalışmamızda, biz değişik bir yol izleyip, elde var olan bir denetlecin davranışını iyileştirmek için BHD kullandık; bunun yanı sıra elimizdeki denetlece gerektiği zaman denetim uygulamasını düzelteren bir kompensatör ekledik. Bu yaklaşımımız, klasik tekniklerde olduğu gibi denetleç parametrelerini değiştirip, analizi tekrarlamaktan daha cazip bir hale gelmiştir.

#### 3.1.1. Bulanık Hücresele Dönüşüm'ü (BHD) Anımsayalım[16]

##### 3.1.1.Hücresele Dönüşüm Uzayı

İlk işlem basamağı olarak hücresele durum uzayının oluşturulması gereklidir. Bu uzay iki ayrı tip hücre barındırır: 1) Sıradan hücreler; bu hücreler bir yere sonuçta odaklanan (convergent) hücrelerdir; 2) Atık hücre; bu hücre tüm dağılan (divergent) hücreleri kapsar. Herbir sıradan hücre, komşuları ile örtüşen bir bulanık hücre ile gösterilir. Bir de her bulanık küme A, kendi destek kümesi P eşit aralığa bölünerek kesikli hale getirilir. Böylelikle bulanık küme A'nın destek kümesi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\text{Destek } A: \text{supp } A = x_1, x_2, \dots, x_p \in X \quad (3,1)$$

burada X durum uzayını gösteren evren kümesidir.

##### 3.1.1.2.Hücresele Durum Uzayında Bulanık Bağlantılar

R dönüşümünün bulanık küme A'yı bulanık küme B'ye

$$R : A \rightarrow B \quad \text{ve} \quad B=A \circ R \quad (3.2)$$

bağlantıları kullanılarak dönüştürüldüğünü ele alalım. Burada A ve B X'te tanımlanmış bulanık kümeler, R bulanık bağıntı, o "composition" bağlacı ve

$$\begin{aligned} \text{Supp } A &= x_1, x_2, \dots, x_p \quad \forall x_i \in X \\ \text{Supp } B &= y_1, y_2, \dots, y_p \quad \forall y_i \in Y \end{aligned} \quad (3.3)$$

desteklemelerini gösterir.

R nin üyelik fonksiyonu şöyledir:

$$\mu_R(x_i, y_i): X \times Y \rightarrow [0,1] \quad (3.4)$$

İmge kümesi B'nin üyelik fonksiyonu max-min "composition" kuralına göre aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$\mu_B(y_i) = V_{i=1}^p [\mu_A(x_i) \wedge \mu_R(x_i, y_i)] \quad (3.5)$$

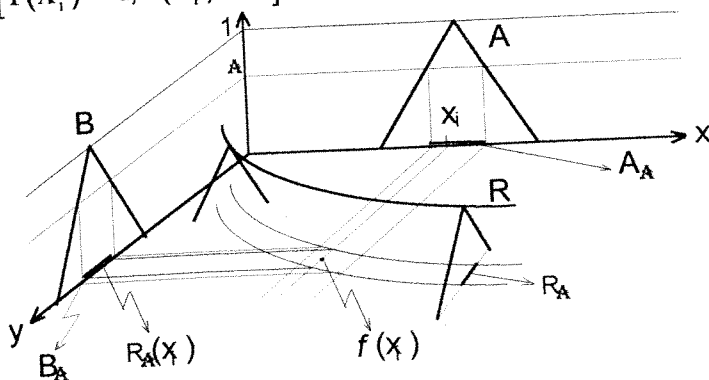
Bulanık bağıntı R orjinal dinamik sistemin denklemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Burada,  $x_i$ 'yi  $f(x_i)$  noktasına dönüştüren noktasal dönüşümü içeren dinamik denklemler kullanılmıştır ve bulanık kümeler bu dönüşüme göre bulunmuştur. (Şekil 3.1). Şekilde de belirtildiği gibi, uygun bir  $\alpha$  değeri olarak, R'nin  $\alpha$ -kesiti

$$R_\alpha(x_i, y_i) = \{(x_i, y_i) \in X \mid f(x_i) - \sigma \leq y \leq f(x_i) + \sigma\} \quad (3.6)$$

olarak belirlenip, İmge kümesi B'nin  $\alpha$  kesiti, bulanık küme A'nın  $\alpha$ -kesiti  $A_\alpha$ 'dan dönüşümle elde edilir (Şekil 3.1):

$$B_\alpha = \bigcup_x R_\alpha(A_\alpha) \quad x \in \alpha \quad (3.7)$$

Eğer buradaki  $\sigma$  değeri sıfıra eşitlenirse, dönüşüm noktasal dönüşüme eş değer olur. Eğer  $\sigma$  değeri sıfırdan başka değer almışsa  $x_i$  noktası  $[f(x_i) - \sigma, f(x_i) + \sigma]$  aralığında bir imgeye dönüşür.

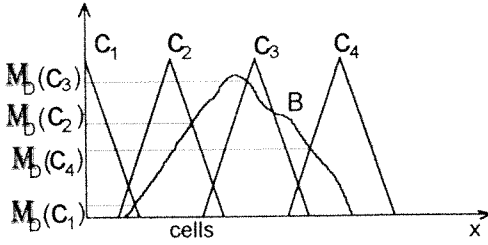


Şekil 3.1 Hücrel Uzayda Bulanık Dönüşüm.

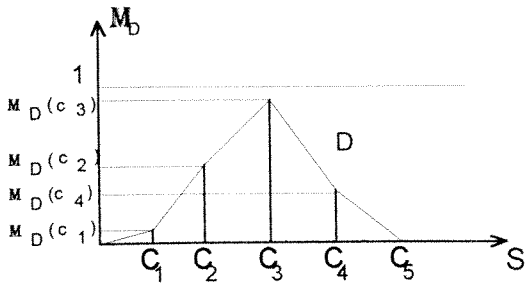
### 3.1.1.3.İmge Hücrenin Uyarılama (Premise Matching) ile Bulunması

Tekrar edecek olursak, sistem dinamiğinin çizdiği hücreseel yörüngelerin bulunduğu durum uzayı, belirli sayıda sıradan hücreye bölünmüş bir uzaydır ve her sıradan hücreye komşu hücrelerinki ile örtüşen bulanık kümeler atanmıştır. Her bulanık hücreye bulanık dönüşüm uygulanmış ve bölüm 3.1.1.2’de de tanımlandığı gibi, aynı evren kümesinde iki imge bulanık kümesi (bulanık küme B) bulunmuştur. Doğal olarak, bu bulanık imge kümesi B’nin durum uzayıdaki ulaştığı bölgede, Hücreseel durum uzayı oluştururken var olan değişik bir çok  $C_j$  hücrelerde bulunmaktadır. Sözü edilen B bulanık kümesinin bu  $C_j$  hücrelerine ne kadar derecede ait olduğu uyarılama (Premiss Matching) yapılarak bulunur (Şekil 3.2). Böylelikle, her imge kümesi için bulunan aitlik dereceleri, durum uzayının başka bir bölgesinde, yeni bir bulanık küme tanımlar (Şekil 3.3). Bu aitlik dereceleri, D bulanık kümesine olan üyelikleri aşağıdaki denkleme dayalı olarak tanımlar:

$$\mu_D(C_j) = \bigvee_{y \in X} [\mu_B(y) \wedge \mu_{C_j}(y)] \quad (3.8)$$



Şekil 3.2 B Bulanık Küme ile Vardığı Bulanık Kümelerle Uyarılama.



Şekil 3.3 D Bulanık Kümesinin Üyelik Değerleri.



### 3.1.1.4. Bulanık Hücresel Dönüşüm ile Hücreden Hücreye Geçiş

$Z(n)$  sistemin  $n$  zamanındaki durumunu "possibilistic" bir dağılımla gösteren küme olduğunu varsayarsak,  $n+1$  zamanındaki  $Z(n+1)$  sistem durumu

$$Z(n+1) = Z(n) \circ Q$$

olarak bulunur. Burada  $Q$  bulanık durum değişme matrisidir ve  $\circ$  ise max-min Kompozisyon operatörü olarak ele alınmıştır.  $Z(n)$   $n$  zamandaki  $1 \times h$  lik bulanık durum vektörüdür.

Eğer  $Z(n)$  ve  $Z(n+1)$  destek hücrelerini aşağıdaki gibi tanımlarsak

$$\text{ve } \begin{aligned} \text{Sup } p(Z(n)) &= c_1, c_2, \dots, c_k \quad \forall c_j \in S \\ \text{Sup } p(Z(n+1)) &= \sigma_1, \dots, \sigma_k \quad \forall \sigma_j \in S \end{aligned} \quad (3.9)$$

$\circ$  zaman

$$\mu_{Z(n+1)}(\sigma_i) = \bigvee_{c_j=1}^k \left[ \mu_{Z(n)}(c_j) \wedge \mu_Q(c_j, \sigma_i) \right]$$

denklemini  $Z(n+1)$  kümesine üyeliği tanımlar.

Bulanık Hücresel Dönüşüm kullanılarak bulanık durum değişken  $Q$  matrisini bulma aşamaları aşağıda verilmiştir.

- İmge kümesini bulmak için Durum Uzayı'ndaki her bulanık hücre için denklem 3.5 uygulanır
- Bu imge kümesine denklem 3.8 kullanılarak uyarlama uygulanır ve bulanık küme  $D$  oluşturulur.
- $i$ 'inci hücre için, bulanık küme  $D$  durum değişken matrisinin  $i$ 'ninci sütununu oluştururuz.

Burada dökümünü verdiğimiz bu aşamalarla  $k \times k$   $Q$  matrisi bulunmuş olur. Matrisin  $ij$ 'inci konumu  $i$ 'inci hücrenin  $j$ 'inci hücreye dönüşümündeki üyeliği belirlemektedir.

### 3.1.2. Puanlama Sistemi

Bulanık Hücresel Dönüşüm (BHD) kullanılarak denetleç ayarlamasını gerçekleştirmek için gerekli elemanlar vardır ve aşağıdaki gibi sıralanır:

- \* analiz sonuçlarını değerlendirecek puanlama sisteminin oluşturulması;
- \* sistem performansını artırıcı stratejinin belirlenmesi;
- \* var olan denetlecin performansını iyileştirmede eşlik eden bir kompensatörün tasarımının yapılması.

İlk aşamada, BHD'nin durum uzayındaki çekim alanları oluşturularak sistem dinamiğinin analizi yapılmaktadır. Bir dinamik sistem için, durum uzayı'ndaki hedef bölgeler, sistemin sonuç olarak varması beklenen yerlerdir. Her hedef bölge ulaşılmak istenilen alanda bulunan hücreleri içerebilir ve bunlar aynı periyodik yörüngenin elemanları olan hücreler olabilirler. Hsu , bu yaklaşımı [11,34] optimal denetleç kapsamında kullanılmak üzere belirlediği paha fonksiyonunda kullanmıştır. Çalışmasında, optimal denetim tarzını bulmak amaçlanarak, bir hücrenin hedef bölgesine ulaşmak için harcadığı zaman adım sayısı ile belirlenen bir paha fonksiyonu minimizasyonu yapılmıştır. Bizde bu fikirden esinlenerek puanlama sistemimizi geliştirdik ve bunun yanı sıra, orijinal katkı olarak ta işleme, bulanık hücrenin bulanık dönüşümü ile oluşan üyelik derecelerini kattık.

Bu hedef bölgesinin, r-adım çekim alanında bulunan hücreleri “öngörülebilir hücreler” olarak adlandırdık. Nedeni, bu hücrelerin kesinlikle, belirli bir zamanda (r-adım) hedef bölgeye ulaşacaklarıdır. Hücresel durum uzayındaki her hücreye “öngörülebilirlik derecesi” atanır. (Sonuç raporu Bölüm 2.2). Tabii ki, hedef bölgesinin r-adım çekim alanında bulunan hücreler en yüksek dereceleri taşırlar. Hedef bölgesine hücresel dönüşümlerle r-adım veya daha az adım sayısı ile ulaşan hücrelere sıfırdan farklı puanlar verilir; bunların dışındaki tüm hücreler ise sıfır puan alırlar.

r-adım çekim alanını ele aldığımızı varsayalım. Her adım için,  $\mu_{k\phi}(i) (i = 1, \dots, n)$ , k'inci dönüşümün i'inci adımında hedef bölge  $\phi$ 'ya ulaşırken aldığı üyelik derecesidir. Bir başka deyişle  $\mu_{k\phi}(i)$  k'inci hücrenin imge hücrelerine olan üyelik değerinin en büyüğüdür ve aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$\mu_{k\phi} = \max\{\mu_D(j)\} \quad j \in \text{supp}D, j \in \phi \quad (3.10)$$

Buradaki D bulanık kümesi, i'inci adımda, k'inci hücrenin tüm imge hücreleridir. Her adım için bir ağırlık W belirleyelim:

$$W = \frac{n - i + 1}{\sum_{j=1}^n j}$$

Doğal olarak ağırlıkların toplamı bir sayıdır. Küçük adım değerleri için, ağırlıklar büyüktür. k kümesine atanacak  $\Psi_k$  puanını şöyle oluşturalım:

$$\Psi_k = \sum_{i=1}^n w_i \mu_{k\phi}(i), k \in S$$

burada S tüm bulanık hücreleri kapsayan kümedir.  $\mu_{k\phi}(i)$  değeri sıfır olmayan her k hücresinin puanında sıfırdan farklıdır. Eğer bir hücre hedef bölgesine n'den fazla adımda ulaşıyor veya hiç ulaşamıyorsa, bu hücreye verilen puan sıfırdır.

### 3.1.3. İyileştirme Stratejisi

Denetleç ayarı, hedefe ulaşan hücre sayısını artırarak ve böylelikle çekim alanları genişletilerek yapılabilir. Bundan dolayı, denetleç ayar problemi öngörülemeyen hücreleri öngörülebilir hale dönüştürme problemine çevrilmiştir. Sistem durumunu öngörülebilir bölgeye puanını yükseltecek bir biçimde yönlendirecek denetim mekanizmasını seçmek, öngörülemeyen hücreyi öngörülebilir yapmaktır. Bu yaklaşım, sistemi hedefe doğru minimal paha ile yönlendiren bir optimal denetim metodu değildir. Yaklaşımımız yalnızca öngörülemeyen hücreyi yakınındaki en yakın öngörülebilir bölgeye çekme stratejisine dayalıdır. Böylelikle, eğer bir hücre öngörülebilir bölgeye ulaşıyor ise bu hücrenin hedef bölgeye uygun bir zaman aralığında başka girişimler yapılmadan ulaşacağı kesindir.

$U_i$ 'yin  $u_{\min} \leq u_i \leq u_{\max}$  olarak sınırlı bir denetim parametresi olduğunu varsayalım.  $U_i$  parametresinin aldığı değerler şöyledir:

$$U_i = u_{\min} + \frac{(u_{\max} - u_{\min})}{p} i \quad (3.11)$$

$$i=0, \dots, p$$

Burada kullanılan  $[u_{\min}, u_{\max}]$  aralığı p eşik uzunluğuna bölünmüştür.  $U_k$  değerinin, en iyi denetim parametresini gösterdiğini düşünelim. Yaklaşımımız aşağıda tanımlanan işlemlerle açıklanabilir.

1. P sayıdaki denetim davranışları belirlenir;
2. Her k kümesi için 3.11 denklemini kullanılarak,  $i=0, \dots, p$ 'ye kadar  $U_i$ 'nin değerleri bulunur;
3. Her k kümesi için imge hücreler bulunur;
4. Denklem (3.9) kullanılarak Z(1) bulunur. Hücredeki her nokta için, denetleçin belirlediği denetim yerine  $U_i$ lar uygulanır. Z(1)'in  $\alpha$  kesiti bulunur.
5. Z(i+1) deki her türlü hücre girdisi j için, puan tablosundan sıfır puanın olup olmadığı gözden geçirilir. Tüm imge hücrelerinin puanlarından maximum puan ele almır. Eğer bu yüksek puan, daha önceki  $U_i$ lar için elde edilen puanlardan daha yüksek ise, en iyi denetim parametresi olan  $U_k$ ,  $U_k = U_i$  olarak değiştirilir.
6. 2'den 5'e kadar olan aşamalar her  $U_i, i=0, \dots, p$  için tekrar edilir. Değişim tablosu ve davranış tablosu oluşturulur. Eğer k'inci hücre bir öngörülebilir

bölgeye ulaşıyorsa ve böylelikle en iyi denetim davranışı  $U_k$  bulunmuşsa, bu hücre değişim tablosuna “değişmiş” olarak yazılır ve  $U_k$  ise davranış tablosuna kayıt edilir.

7. Her sıradan hücre için 2’den 5’e kadar olan tüm aşamalar tekrar edilir.

Bu aşamaların çıktısı “değişim” ve “davranış” tablolarıdır. Eğer bir hücre için daha iyi bir denetim davranışı bulunmuşsa, değişim tablosunda ilgili yere hücre iyileşmiş olarak konular ve bulunan yeni denetim “davranış” tablosuna girilir. Uygulama sonuçları bölüm 3.2’de verilmektedir.

### 3.1.4.Kompansatör

Bir kompansatör sistem durum değişimlerini devamlı monitör eder ve denetim gerektiği zaman üstlenir. Sistem öngörülebilir bölgeye girdiğinde, kompansatör denetimi ayarlanacak denetlece devreder. Bunu yapmak için bölüm 3.1.3’de detaylarını verdiğimiz “değişim” ve “davranış” tablolarını kullanmaktayız. Kompansatör sistemin durum değişimlerini monitör ederken sistemin içinde bulunduğu bir hücre değişim tablosuna iyileşmiş olarak yazılırsa, kompansatör, denetimi üstlenir ve “davranış” tablosunda ilgili yerdeki denetim davranışını uygular. Uygulamadan sonra kompansatör sistem denetimini denetlece devreder.

### 3.2. ÖRNEK

Bu bölümde, Bulanık Hücresel Dönüşüm ters sarkacın denetlecinin ayarlanmasında kullanılmıştır. Ters sarkaç düzeneği karşılaştırma amacı ile kaynakça [32] den olduğu gibi alınmıştır. Çubuğun alt ucu bir araca öyle bağlanmıştır ki aracın ray üzerinde hareket eksenine dik bu düzlemde oynayabilmektedir. Amaç çubuğu dik duruma en yakın bir konumda tutmaktır. Aracın hareket ettiği ray sınırlı değildir. Kullanılan durum değişkenleri çubuğun dikey durumdan açısız sapmasını gösteren  $x_1 = 0$  ve açısal hız  $x_2 = 0$  olarak alınmaktadır. Ters sarkaç düzeneğinin çıkarım denklemleri (difference equations), araç-çubuk dinamik denklemlerinin kesikli hale getirilmeleri ile elde edilmiştir.

İlk aşamada, özellikle kaba tasarlanmış 9 kural içeren bir bulanık denetleç kullanılmıştır. Bu denetleç, düzeneğin  $U$  girdi kuvvetini belirlemektedir. Hücresel Durum Uzayı’ndaki, sıradan hücreleri içeren ilgi alanımız  $x_1 \in [-15,15]$ (rad) ve  $x_2 \in [-10,10]$ (rad/sec) olarak sınırlanmıştır. Bu alan,  $x_1$  ve  $x_2$  eksenlerinde 101 araya bölünmüş ve 101x101 sıradan hücre elde edilmiştir. Her iki ekseninde bulunan aralar için belirlenen adımlama sayısı  $h_1 = 0,0297$  ve  $h_2 = 0,1980$  olarak belirlenmiştir. Böylelikle Hücresel Durum Uzayı

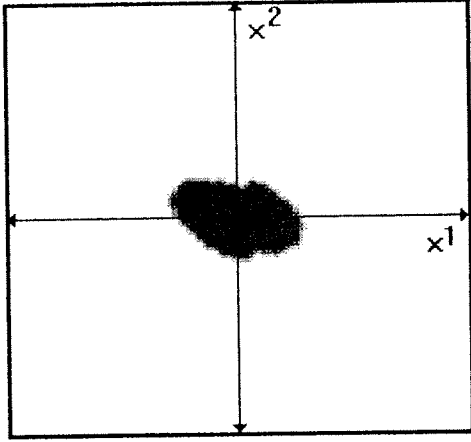
10201 sıradan hücre ve bir atık hücreden oluşmaktadır. Atık hücre ilgi alanı dışındaki tüm hücreleri kapsamaktadır.  $x_i$ deki bulanık kümelerin örtüşme dereceleri %25 olarak alınmıştır.

Her bulanık kümedeki destek kümesi 10 noktaya bölünmüş, böylece kesikli hale getirilmiş her alt uzay  $x_i$  için 1010 dönüştürülecek nokta belirlenmiştir. Uygulamamızdaki bulanık bağıntı  $R$ 'deki  $\sigma$  parametresi her  $x_i$  için  $\sigma_i = 2(h_i/10)$  ve  $\alpha = 0.33$  olarak alınmışlardır. Örneğimizde hedef bölge durum uzayının orijinini paylaşan dört hücre ve çevresindeki, kendilerine dönüşme veya orijine dönüşme eğilimi gösteren 12 başka hücre seçilmiştir. Bu hücreler sistemin öngörülebilirlik haritasının çıkartılmasında kullanılmışlardır. İlk olarak, 10 adım çekim alanı ve ilgili puanları bulunmuştur. Bunun için, her sıradan hücre 10 kez dönüştürülmüş ve her adımda bulunan imge hücrelerinin hedef bölgeye üyelikleri belirlenmiştir (Şekil 3.4). Bölüm 3.2.1'de belirtildiği üzere, puanlar hesaplanmış, öngörülebilirlik haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Atık hücrelerinde çekim alanı bulunmuş (Şekil 3.7) ve ilgili puan haritası çıkarılmıştır (Şekil 3.6). Şekil 3.8 hedefe ulaşan hücre yörüngesinden bir örnek vermektedir.

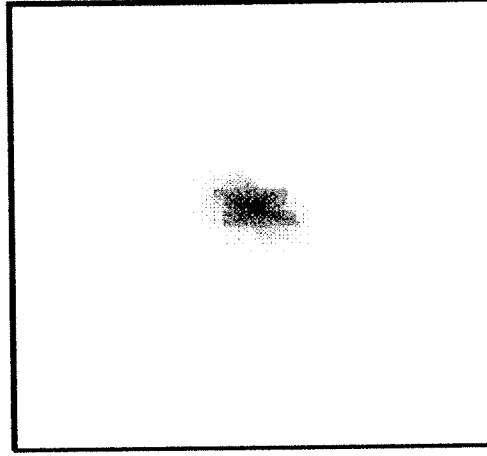
Bu ulaşımı iki kez iyileştirdik. Buna göre, ilk iyileştirmenin sonuçları ikinci iyileştirmede kompensatöre girdi olarak alınmışlardır. İkinci iyileştirmenin sonuçları Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir. Şekil 3.11 iyileştirilmiş hücrelerin haritasını ilk elde edilen çekim alanına göre vermektedir. Şekil 3.10 iyileştirilmiş hücreleri ele alarak devreye giren kompensatörden dolayı değişmiş sistem yörüngesinden bir örnek vermektedir. Şekil 3.9 ise iyileştirilmiş hücrelerin daha sarplıştırılmış 3 boyutlu öngörülebilirlik haritasını vermektedir.

### 3.3. SONUÇ

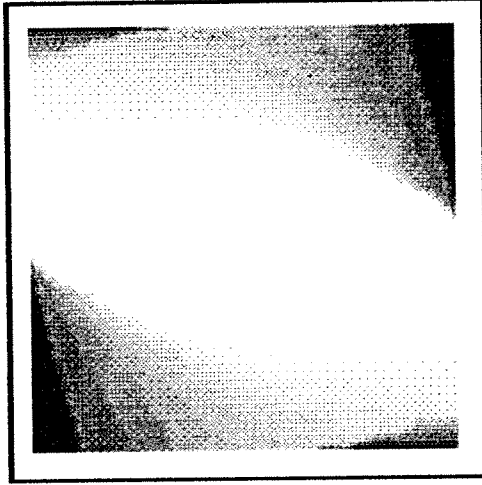
BHD, belirsizliğin possibilistik modellerini içerdiğinden, sonuçların değerlendirilmesi sistem toleranslarına çok bağlıdır. Bizim uygulamamızda, ayarlanacak bulanık denetleç özel olarak verimi düşük olacak şekilde tasarlanmıştır. BHD kullanılarak yapılan denetleç ayarında, hedef bölgenin çekim alanının her iyileştirme için genişlediği görülmüştür. Bu genişleme kullanılan adım sayısına, hedef bölgedeki hücre sayısına ve atanan puanlara bağlı olarak bir yerde durmaktadır. Atık hücrenin ve orijinin çekim alanları değişik adım sayılarına göre bulunmuştur. Öngörülebilirlik haritaları çekim alanlarına ek bilgi olarak possibilistik dağılımlarında göstermektedirler. Uygulamamızda belirsiz dinamik sistemin özel davranışlarını anlayabilmek üzere hücre yörüngeleri de izlenmiştir.



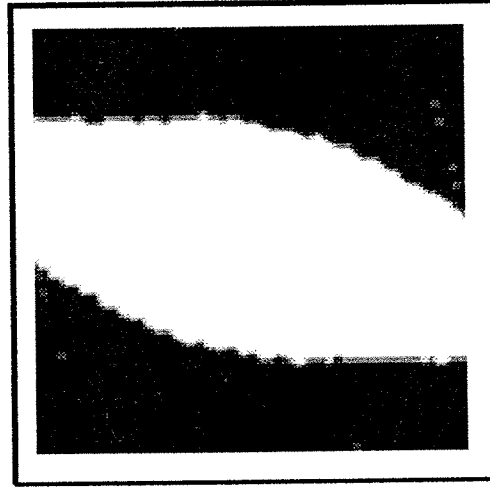
Şekil 3.4 Hedef bölgenin 10 - adım çekim alanı.



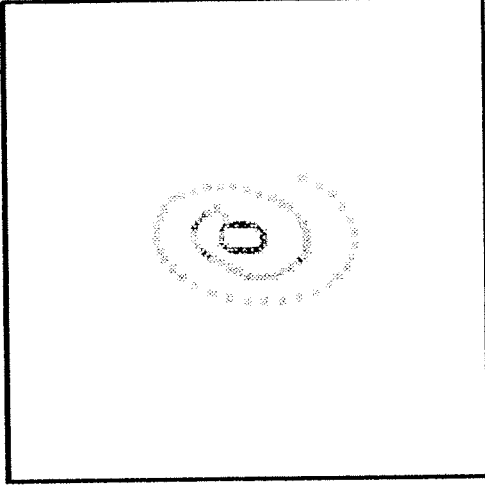
Şekil 3.5 Öngörülebilirlik haritası.



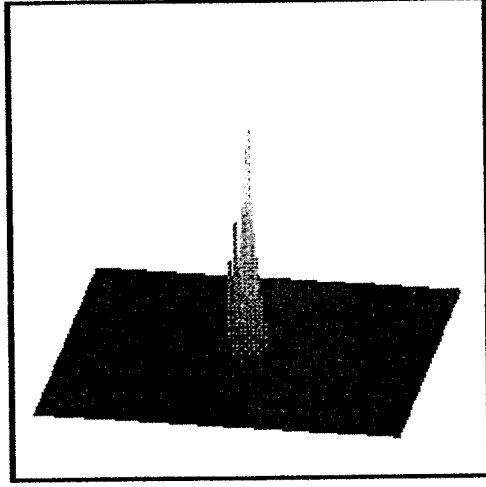
Şekil 3.6 Atık hücrenin 10 - adım çekim alanında puan haritası



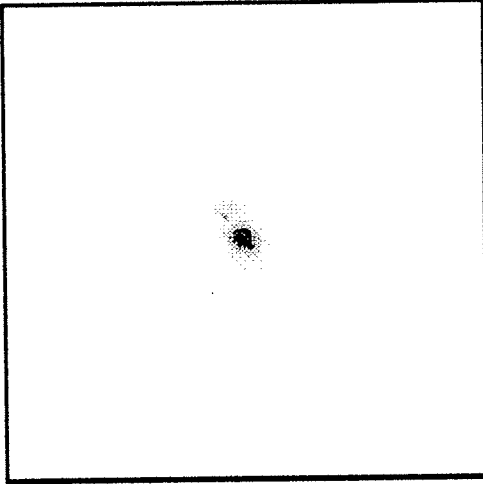
Şekil 3.7 Atık hücrenin 10 - adım çekim alanı.



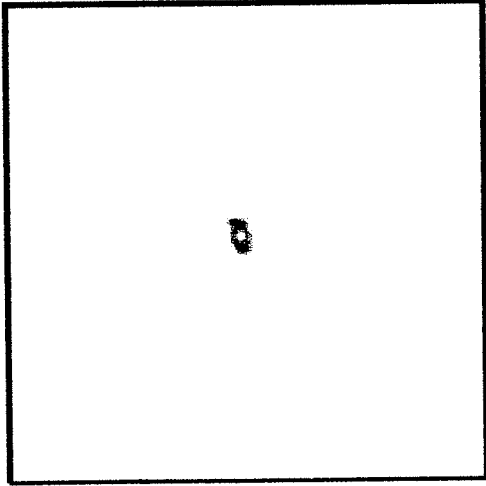
Şekil 3.8 0.3,3 den başlağan yörünge örneği.



Şekil 3.9 3 boyutlu Öngörülebilirlik haritası.



Şekil 3.10 İyileştirilmiş yörünge



Şekil 3.11 İyileştirilmiş hücreler

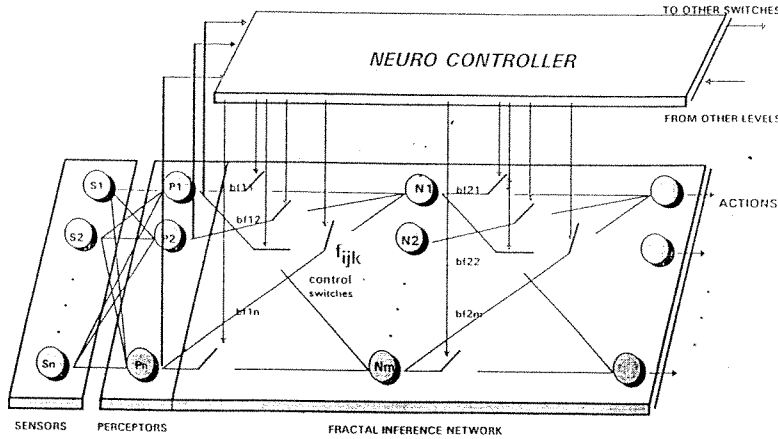
## BÖLÜM IV

### ROBOT EL BİÇİMLENDİRİLMESİNİN DUYUSAL DEVİNİMLİ DENETİMİ

Yapılaşmamış ortamlarda yapılacak kavramalar için özel maksatlı kışkaçlar veya Robot kola takılan aletli son elemanlar geliştirilmiştir. Bunların yanı sıra, yapılaşmamış ortamlarda gerekli maharetli tutuşları yapabilecek akıllı denetim ile kumanda edilen, çok serbesti derecesi olan, çok maksatlı robot eller üretilmiştir. Çok parmaklı robot eller [54] insanın yaptığı işlerde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu tür işler, ya tehlikeli ortamlarda (denizaltında, uzayda, nükleer santrallarda veya kimyasal atık bulunan ortamlarda gibi) insanların yerine robotların yapacağı işler olarak tanımlanmışlardır; yada güçsüz insanlara yardım etmek için tasarlanmış robotların işlemleridir. Robot eller için tanımladığımız çalışma ortamlarının ortak özellikleri yapılaşmamış olmaları ve belirsizlik içermeleridir. Bu ortamlar tutulacak ve birlikte işlem yapılacak cisimlerin ancak bulanık tanımlarının yapılabildiği ortamlardır.

Robot ellerin bir amaca yönelik tutuşlarını kapsayan literatürdeki araştırma geliştirme çalışmaları iki gruba ayrılmaktadır: 1) bu konu ya cisme dokunduktan sonraki aşama olan manipulasyon açısından incelenmiş 2) yada cisme yaklaşma aşamasında bazı tutuşlara karar verme olarak ele alınmışlardır [43]. Biz ise, proje kapsamındaki özgün çalışmalarımızda algılayabilindiği kadar tanımlanan cisme göre ve bilindiği kadar tanımlanan işe yönelik, robot elin akıllı biçimlenme denetimine eğildik. Bu problemin çözümü için geliştirdiğimiz akıllı mimari dağıtık (decentralized) yapıda olup 3 modülden oluşmaktadır (Şekil 4.1):

- (1) SENS-PERCEPTOR (SP) [57];
- (2) Nörodenetleç (NC) [57]
- (3) Fraktal İrdeleme Ağı (FIN) [44,45,49]



Şekil 4.1. Duyusal Devinimli Robot El biçimlendirme denetim mimarisi.





olarak bakmalıyız [44]. Sonuç olarak, Fraktal kanı Fonksiyonları üzerinden düğümlerinde işlenerek akan ağa Fraktal İrdeleme Ağı (FIN) adını verdik. Düğümlerin girdileri düğüm bilgi tabanı ile fraktal iletişimlerinden kaynaklanan fraktal iletkenlik ile doğru orantıda işlenir [45]. Her stokastik ağda olacağı gibi, bu ağ yapısındaki en önemli sorun çok hafif aktivasyonlu düğümlerden saçılan ve belirsizliği yüksek olan bilgilerdir. Bunları bilgi kaçağı olarak tanımlamaktayız. Ağdaki bilgi akışı aktivasyonu yüksek düğümlere kısıtlanmalıdır ve böylelikle ağ üzerinde yüksek aktivasyonlu düğüm havuzcukları oluşturulmalıdır. Bu kısıtlama, bilgi yayılımını güçlendirecek şekilde, birbirleri arasında kuvvetli bağlantıları olan yüksek aktivasyonlu düğümlere bağlı yayılım oluşturacağından, entegrasyonun verimini artıracaktır. Bu verimlilik Nörodenetim NC kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Nörodenetim, yayılım yolundaki, ilgili fiyk anahtarlarını kapatarak yüksek aktivasyonlu düğümleri birbirlerine akıllı bir şekilde bağlanmaktadır, ve yayılımı o yollara yönlendirmektedir (Şekil 4.1) [57]. Sonuç olarak bu tür bir denetleç bilgi “gürültüsü” taşıyan zayıf aktive olmuş düğümlerin bilgi akışındaki etkilerini yok ederek, ağ üzerindeki bilgi kaçaklarını önlemektedir.

#### **4.2. SENS - PERCEPTOR : IMGE TABANLI MANTIKSAL DUYUCULAR (LOGICAL SENSOR)**

Robot El Biçimlenmesinin dağıttık denetimi konusundaki Proje çalışmalarımızın asıl odağı denetim için gerekli, uygun algılamının oluşturulmasıdır. Bu amaçla, SENS PERCEPTOR, MODİSA 1 proje kapsamında oluşturulmuş bir Mantıksal Duyusama (Logical Sensing) Modülüdür ve Sonar, Kamera veya Dokunma duyucularından vasat işlemlerle elde edilen ve belirsizlik içeren imgelerden kanıtsal bilgi (evidential information) üretmektedir.

Bu bilgi fraktal boyutlu kanı fonksiyonları cinsinden tanımlanmış algılamaya birimlerini vermektedir. Bu birimler, FIN üzerinden yayılımları sırasında, düğümler de işlenir.

SENS-PERCEPTOR modülü mantıksal şekil (çevre kenar şekli) algılayıcısı (Logic Shape Sensor) rolünü üstlenmiştir ve fraktal iletkenlik ölçütüne dayalı kanıtsal sınıflama (evidential classifying) yapmaktadır [57]. Bu sınıflama ile, hatalı biçimde bölütlenmiş ve kenar çıkarımı belirsizlik içeren altseviye imgelerden bir üst seviye şekil öznelikleri bulunmaktadır. Literatürde, kenar çıkarımına kanıtsal çözüm getiren PSEIKI algoritması vardır [58]. A.kak ve grubu tarafından gerçekleştirilen bu algoritma gezer robotun yörüngesi üzerindeki basit nesne şekillerini belirlemede kullanılmıştır. Proje kapsamında geliştirdiğimiz yaklaşımımız ise A. Kak ve grubunun yaklaşımı ile aynı matematiksel tabana

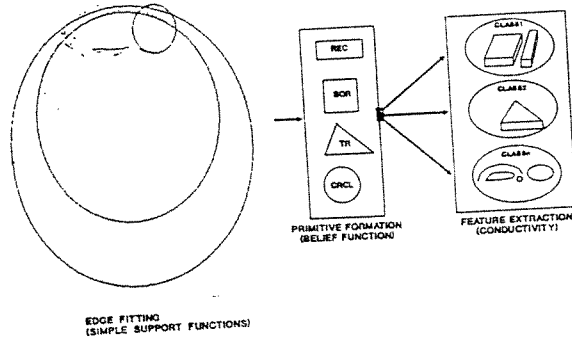
(kanı fonksiyon teorisine) dayanmaktadır, ancak yöntemimiz, Robot Elle Kavrama işleminde karşılaşılan, daha karmaşık nesne şekil tanımlarına göre geliştirilmiştir. Yaklaşımımızda, ön bilgi olarak ortam haritası gerekmemektedir ve imgeye eğri veya düz kenar uydurarak "Fraktallık" ölçütü ile nesne yüzey oluşumuna çok çözünürlüklü bir özellik kazandırmış olmaktadır (Bölüm 4.4).

Proje Raporumuzun bu bölümünde tanımladığımız mantıksal şekil duyucusunun yaptığı iki iş vardır:

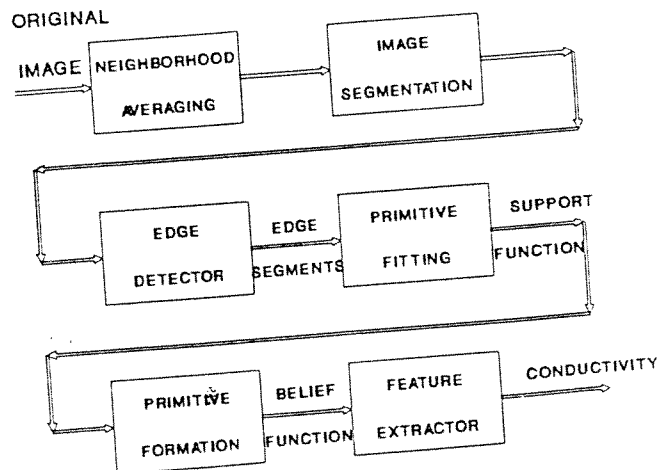
- i) Eksik İmgesel bilgilerden nesnelerin şekline ait özniteliklerin çıkarılması
- ii) ve bu özniteliklere kanı değerlerinin verilmesi;

Bu işlemler Şekil 4.3 te gösterildiği gibi 3 kademeli hiyerarşik bir süreçle elde edilmektedir. [57]; burada, 1) İlk kanı değerlerinin belirlemeleri, 2) Primitif şekillerin çıkarımı, 3) Öznitelik çıkarımı yapılmaktadır.

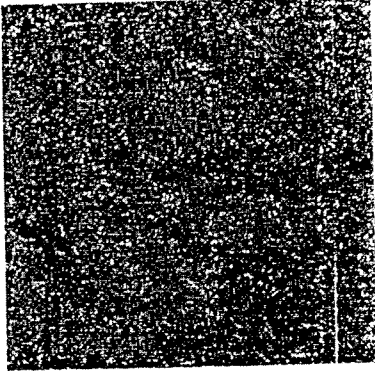
Şekil 4.4'de verildiği gibi SENS Perceptordaki işlem ham imgeden veri alımı ile başlayıp, kanı Fonksiyonlarının oluşturulmaları ile tamamlanmaktadır. Uygulamalarımızda kamera ile alınan gürültülü imgelerimizden bir örnek ve bu imgenin komşuluk ortalama (Neighborhood Average) imgesi Şekil 4.5 a) ve b) de verilmiştir.



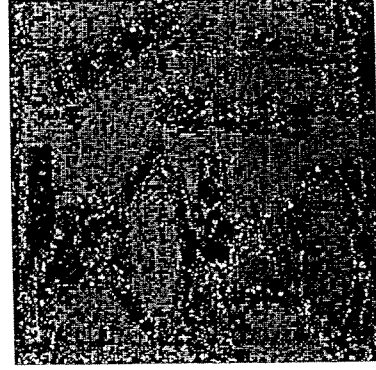
Şekil 4.3 Öznitelik Çıkarım ve Kanı Değeri Atama Hiyerarşisi.



Şekil 4.4. İmge proses akışı



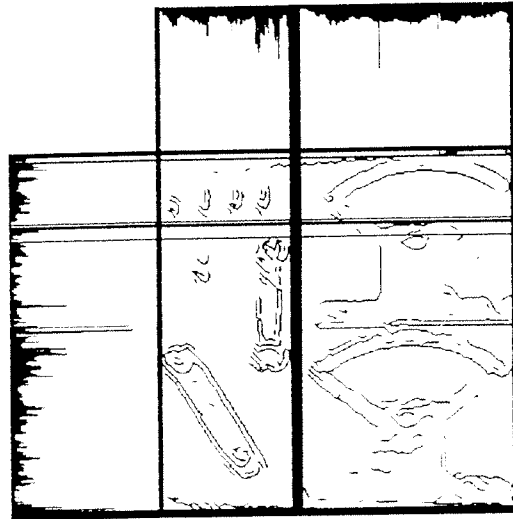
(a)



(b)

Şekil 4.5. a) Gürültülü örnek imge b) Komşuluk ortalaması uygulanmış imge.

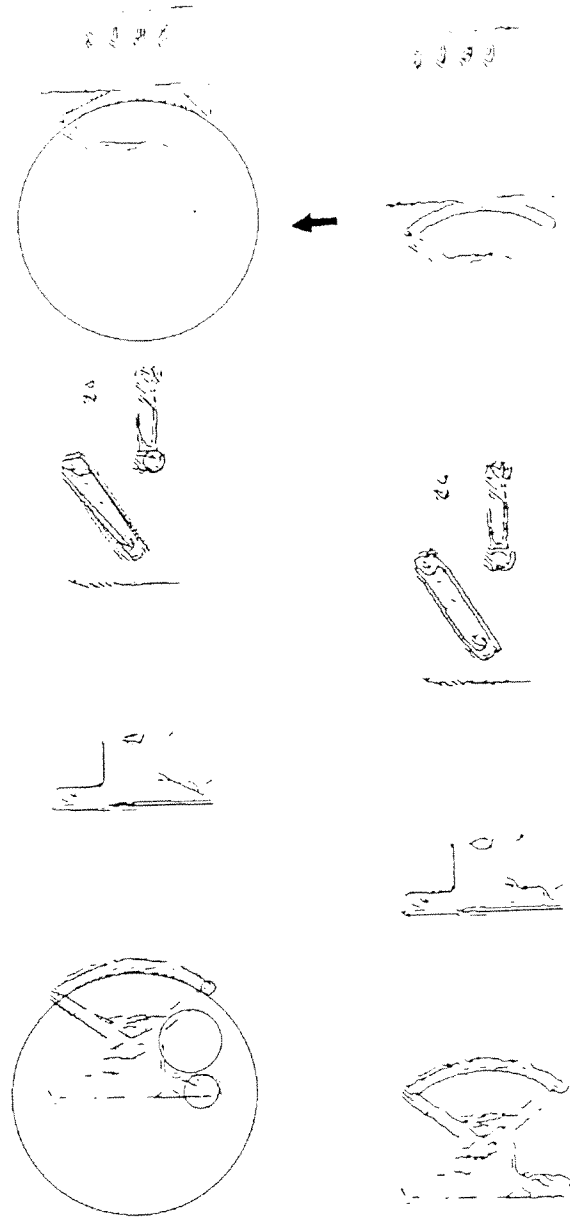
Cranfield Benchmark montaj ortamı, çok sayıda tutulacak parçaları bulunan çok sayıda nesneden oluşmaktadır(Şekil 4.2). Dolayısı ile ortamdan alınan imgeler birkaç kez histogramlamaya tabii tutularak bölütlenmişlerdir. Şekil 4.6 da görüldüğü gibi, nesnelere, bağlantılı olan tutma parçası eğrilerine göre bölgelere ayrılmıştır.



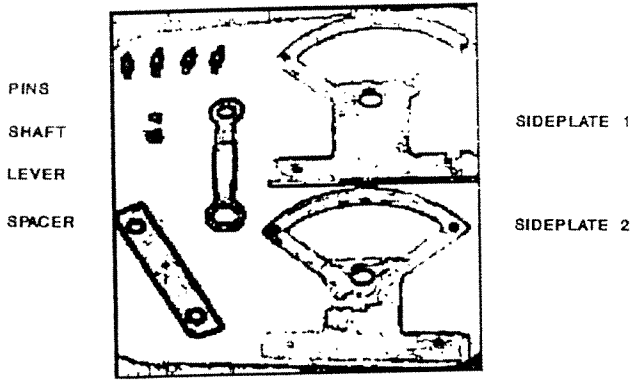
Şekil 4.6 Ortam Bölütleme.

Bir bölge için uygulanmış kenar uyarlama işlemi Şekil 4.7 de verilmiştir. Tüm montaj yatağına uygulanmış kenar uyarlama ise Şekil 4.8 de görülmektedir. Uyarlanan kenarlara verilen kanı değerleri bir çok hata kaynağına bağlıdır: nesne örtüşmesi, gürültü, yetersiz çözünürlük ve kenar tespit algoritmasından

nesne örtüşmesi, gürültü, yetersiz çözünürlük ve kenar tespit algoritmasından oluşan belirsizlikler. Projemizde, Düz ve Eğri kenar uyarlamalarına atanacak kanı değerlerinin bulunuş metodunu geliştirdik.



Şekil 4.7 Düz ve Eğri kenar uyarlama.



Şekil 4.8 Tüm ortama uygulanmış kenar uyarlama sonucu.

### 4.3 İLK KANI DEĞERİ ATAMA

#### 4.3.1. Düz Kenar Uyarlama

Kenar uyarlama işlemi, kenar parçacıklarından oluşan kümenin düz kenar mı yoksa bir yay mı oluşturduğuna karar vermek için kullanılır. Düz ve Eğri uyarlamaları her küme için ayrı ayrı uygulanır ve hangisi yüksek uyarlama kani değeri taşıyorsa, bu değer bu kümeye destek olarak atanır. i'nci uyarlanmış  $|x-y|$  uzunluğundaki kenara atanacak kani değeri aşağıdaki eşitliklerle bulunur: (Şekil 4.9)

$$b_i = \frac{|x-y|}{L(\Gamma)} (1-\sin\phi) \frac{n^*}{n^T}$$

$|x-y|$  : uyarlanan kenar uzunluğu

$L(\Gamma) : \sum L(\Gamma_i) + \sum L(\Gamma_j)$  : algılanan kenarın uzunluğu

$\Gamma_i$  : algılanan kenar parçaları

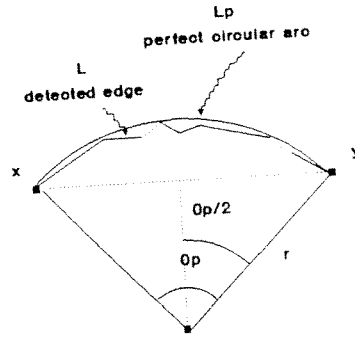
$\Gamma_j$  : algılanan kenar parçalarını birbirine bağlayan bağlantılar

$$\frac{|x-y|}{L(\Gamma)} = \text{uzunluk ölçütündeki yakınsama hatası}$$

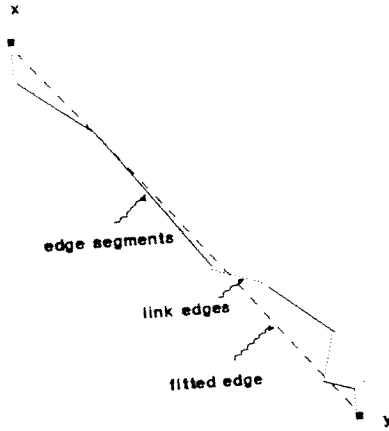
$\phi$  = Algılanan kenar parçaları ile uyarlanan çizgi arasındaki en küçük dar açı, kanı değerine katkısı  $(1-\sin\phi)$  kadardır.

$n^*$  = uyarlanan çizgi ile  $\phi$  açısında bulunan kenar parça sayısı.

$n^T$  = kenar parçaların ve bağlantıların toplam sayısı.



(b) curvilinear edge fitting



(a) Linear edge fitting

Şekil 4.9 Kenar uyarlamada hesaplanan kanı değerleri için parametreler.

Uyarlanan kenara destek, basit destek fonksiyonu şeklinde oluşturulmaktadır. (1-b<sub>i</sub>) kanı değeri, tüm olası şekilleri bulunduran evrensel küme olan algılama çerçevesi (Frame of Discernment) ne verilmiştir. Bu değer Kenar Uyarlama İşlemindeki belirsizliği belirtmektedir.

### 4.3.2 Eğri Kenar Uyarlaması

Şekil 4.7'deki bir eğriye atanan kanı değerini aşağıdaki gibi hesaplamaktayız.

$$b_{\text{eğri}} = \frac{\min(L(\Gamma), L(\Gamma_p))}{\max(L(\Gamma), L(\Gamma_p))} (1 - \sin\phi) \frac{n^*}{n^T}$$

$$n^* = \frac{\sum L_E}{T}$$

$$n^T = \frac{\sum L_T}{T}$$

Burada  $\sum L_E$  uyarlanan kenar ile en küçük dar açı yapan kenar parçaların toplam uzunluğudur ve  $\sum L_T$  tüm kenar parçaların toplam uzunluklarıdır.

### 4.4 PRİMİTİF OLUŞUMU

Mantık hiyerarşisinin ikinci seviyesi primitif oluşumunu gerçekleştirmektedir. Bu aşamada, uyarlanmış kenarların oluşturduğu düzensiz örüntüleri, dikdörtgen, kare, daire ve üçgen gibi topolojik primitiflere, yani düzenli kümelere dönüştürüz. Her primitife atanan kanı değerlerini aşağıdaki gibi bulmaktayız :

$$b_{\text{dikdörtgen}} = \frac{1}{4} (b_{AB} + b_{BC} + b_{CD} + b_{DA}).$$

$$\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\min(|AB|, |CD|)}{\max(|AB|, |CD|)} + \frac{\min(|BC|, |AD|)}{\max(|BC|, |AD|)} \right) \cdot |\sin \angle ABC| \cdot |\sin \angle BCD| \cdot |\sin \angle CDA| \cdot |\sin \angle DAB|$$



$$b_{\text{kare}} = \frac{1}{16} (b_{AB} + b_{BC} + b_{CD} + b_{DA}) \cdot [$$









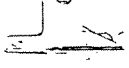
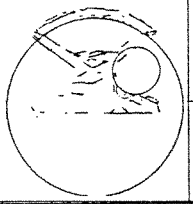
$$\cdot |\sin \angle ABC| \cdot |\sin \angle BCD| \cdot |\sin \angle CDA| \cdot |\sin \angle DAB|$$

$$b_{\text{üçgen}} = \frac{1}{3} \cdot (b_{AB} + b_{BC} + b_{CA}) \cdot (1 - |\sin \angle ABC + \angle BCA + \angle CAB|)$$

#### 4.5 CRANFIELD BENCHMARK'A UYGULANIŞ

Bu bölüm oluşturduğumuz mantıksal şekil duyucusunun gerçek çıktılarını vermektedir. Elde edilen montaj ortamının imgesi, ilk aşamada 5 bölgeye bölünmüştür (Şekil 4.6). Birinci bölge ise, ikinci aşamada, 4 alt bölgeye, her bölge bir vida bulunduracak şekilde bölünmüştür. Bu alt bölgeler, elde edilebilecek en küçük bağlantılı “pixel” kümelerini bulundurmaktadır. Öteki bölgeler “sideplate 1” (yan parça 1), “spacer” (aralayıcı), “shaft” (kol), “lever”(kaldıraç) ve “side plate 2” (yanparça 2) nesne imgelerini bulundurlar. Şekil primitiflerinin algılama çerçevesi  $F = \{\text{dikdörtgen, kare, üçgen, daire}\}$  dir.

Tablo 4.1'in birinci sütundaki değerlerden, vida altbölge imgesi için, kanı değerlerinin “üçgen” prototipini en fazla destekledikleri görülmektedir. Böylelikle, FIN kullanılarak robot elin biçimlendirilmesinde vidalar üçgen çerçeve ile yaklaşık olarak gösterilecektir.








REGION	VISUAL INFORMATION	BELIEF FUNCTION
1,1		$X = \{(R, T); (0.47, 0.21)\}$
1,2		$X = \{(T); (0.77)\}$
1,3		$X = \{(T, R); (0.5, 0.25)\}$
1,4		$X = \{(T); (0.62)\}$
2		$X_1 = \{(ConvC); (0.32)\}$ $X_2 = \{(ConcC); (1)\}$ $X_3 = \{(ConvC, ConcC); (0.66)\}$
3,1		$X_1 = \{(R); (0.547)\}$
3,2		$X_2 = \{(T); (0.51)\}$
3,3		$X_3 = \{(ConvC); (0.5)\}$ $X_4 = \{(R); (0.3)\}$ $X_5 = \{(R, ConvC, R, ConvC); (0.15, 0.15, 0.35)\}$
4		$X_1 = \{(ConcT); (0.985)\}$
		$X_2 = \{(T); (0.42)\}$
		$X_3 = \{(T, ConcT); (0.7)\}$
5		$X_1 = \{(ConvC); (0.76)\}$
		$X_2 = \{(ConcC); (1)\}$
		$X_3 = \{(ConvC, ConcC); (0.88)\}$
		$X_4 = \{(ConcT); (0.56)\}$
		$X_5 = \{(T); (0.38)\}$
		$X_6 = \{(T, ConcT); (0.47)\}$

Tablo 4.1 Şekil duyucusunun çıktıları

Tablo 4.2 Tablo 4.1’de verilen SENS PERCEPTOR’un algılama çıktıları ile çalıştırılan FIN’in çıktılarından bir bölümü vermektedir. Tablo 4.2’de görüldüğü gibi, FIN’in çıktılarındaki en yüksek iletkenlik  $\sigma$ , parmak ucu hassas tutuş tipi (fingertip precision grasp) içindir. Tablo 4.3 böyle bir parmak ucu hassas tutuş tipini göstermektedir.

Input BF	NC Outputs	Node Outputs of FIN
R=0.1 T=0.3	f112=1 f123=1 All others zero	$\sigma_{111}=0.19$ $\sigma_{211}=0.30$ $\sigma_{311}=0.28$ $\sigma_{411}=0.27$ . . $\sigma_{112}=0.89$ $\sigma_{212}=0.06$ $\sigma_{312}=0.01$ $\sigma_{412}=0.03$ . . $\sigma_{123}=0.4$ $\sigma_{223}=0.6$ All others zero

Tablo 4.2. Nörodenetimli FIN’in çıktıları.

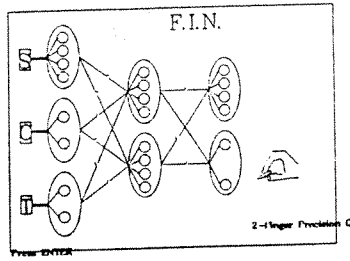
PIECE NAME	GRASP	REPRESENTATION
Lever	Cylindrical Power Grasp	
Spacer	Cylindrical Power Grasp	
Lever	Spherical Power Grasp	
Sideplate	Hook Grasp	
Sideplate	Lateral Pinch	
Shaft	2-Fingertip Grasp	
Pin	2-Fingertip Grasp	

Tablo 4.3 Granfield Mekanizması için tutuş biçimi belirleme.

Tablo 4.4. Bölge 1'deki bir vidadan alınan imge verisi için en uygun el biçiminin hassas tutuş tipi olduğunu belirlemektedir: robot nesneyi parmak uçları arasına sıkıştırılmaktadır. Tablo 4.5 ve ilgili şekil "Convex C" çerçevesi için robot el şeklinin kanca tutuş şekli olduğunu göstermektedirler.

NORMALIZED  $\sigma_C$ 's :

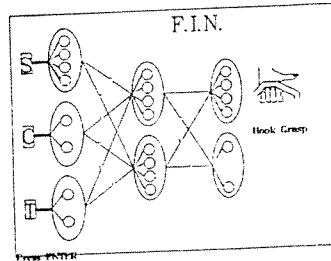
111	2.7888531224E-01	211	3.0594294686E-01
311	2.8846095895E-01	411	1.2671078195E-01
121	0.0000000000E+00	221	0.0000000000E+00
131	0.0000000000E+00	231	0.0000000000E+00
112	6.0214107714E-01	212	2.4905863699E-01
312	6.9633070862E-02	412	7.9167215004E-02
122	0.0000000000E+00	222	0.0000000000E+00
322	0.0000000000E+00	422	0.0000000000E+00
113	0.0000000000E+00	213	0.0000000000E+00
313	0.0000000000E+00	413	0.0000000000E+00
123	3.6803918543E-01	223	6.3196081457E-01



Tablo 4.4 Vida için FIN karar çıktısı.

NORMALIZED  $\sigma_C$ 's :

111	2.1803174803E-01	211	2.2513172211E-01
311	1.8303222662E-01	411	3.7380430324E-01
121	0.0000000000E+00	221	0.0000000000E+00
131	0.0000000000E+00	231	0.0000000000E+00
112	2.6776965033E-01	212	2.9444083866E-01
312	3.6562881322E-01	412	7.2160697796E-02
122	0.0000000000E+00	222	0.0000000000E+00
322	0.0000000000E+00	422	0.0000000000E+00
113	5.9207008581E-02	213	1.0347932378E-01
313	7.4718997290E-01	413	9.0123694739E-02
123	0.0000000000E+00	223	0.0000000000E+00



Tablo 4.5 "Convex C" çerçevesi için FIN karar çıktısı.

## BÖLÜM V

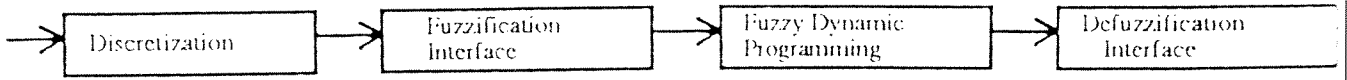
### BULANIK HÜCRESEL DÖNÜŞÜMÜN ROBOT ELİN KAVRAMA DENETİMİNDE KULLANILMASI [51]

Yapılaşmamış ortamlarda çok parmaklı robot eller kullanılarak yapılan maharetli tutuşlar, değişik belirsizlik ölçütleri gerektirirler ve çok seviyeli hassasiyet ile karakterize edilebilirler. Bu tür kavramalar için, değişik belirsizlik seviyeleri olan, çok görevli (multitasking), birbirine geçebilen (variable structure) doğrusal olmayan denetim sistemlerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Proje kapsamı içinde ele aldığımız problemde, Anthrobot -3 robot eli, belirsizliklerin bulanık durum ve bulanık denetim değişkenleri ile gösterildikleri kısmen bilinen ortamlarda işlev görmektedir. Bu tür ortamlarda çalışan elin maharetli kavrama denetimi projede geliştirdiğimiz teknik ile çözüme ulaşmış ve performansı test edilmiştir. Çözüm tekniğimiz olarak, geliştirdiğimiz bulanık hücresel dönüşüm kullanılarak bulanık dinamik programlama yapısı oluşturulmuş ve bulanık değişkenler bu yapı kullanılarak işlenmiştir. Klasik dinamik programlamada olduğu gibi, Bulanık Dinamik Programlama, çok aşamalı karar sürecidir, ancak bu yöntemde bulanık durum ve denetim değişkenleri kullanılmıştır; denetim ve karar kuralları belirsizlik, ve eksik bilgi içerecek biçimde bulanık kurallar olarak ele alınmışlardır. Çalışmamızda, çok az bilinen bir ortam gerçeklemek için ve bu ortamı tanımlayan değişkenlerin dinamik olarak değişmelerini oluşturmak için, kavrama ortamını aydınlatılmamış (karanlık) olarak ele aldık. Ancak tek algılanabilen nesne, kavranacak cismin yüzeyinde periyodik olarak dolaşan bir ışık noktasıdır. Hareketli ışık noktası tarafından çok kötü tanımlanan kavranacak cisim yüzeyine, Robot El önceden belirlenmiş bir lider parmakla yaklaşır dokunur. Biz bu çalışmamızda baş parmağı lider parmak olarak aldık. Yaklaşma sırasında, lider parmağın geçtiği konumlardan izleyici parmakların kendi konumları hesaplanır. Bu hesaplama, stabilite çokgeni oluşturulmak sureti ile yapılır. Lider parmak cisme dokunduktan bir birim zaman sonra izleyici parmaklarda cisme dokunmuş ve kavrama başlamış olmaktadır. İzleyici parmakların yörüngeleri stabilite kriterlerine göre Lider Parmağın yörüngesinden hesaplandığından Lider Parmağın hareketi kavramada önem kazanmaktadır. Karanlıkta, hareketli bir ışık bilgisi ardına gizlenen cisme dokunmak doğal olarak ışık noktasını izleme ve yakalamakla mümkündür. Bizde, çözümümüzde bu yaklaşımı uyguladık. Bulanık dinamik programlama lider parmağın (master finger) hareketli ışık noktasını izleme yörüngesini çıkartmaktadır. Bu yörüngeye görede izleyici parmakların (slave finger) yörüngeleri bulunur. Bir zaman birimi önce, Lider Parmak cisme, bir sonraki zaman biriminde ise izleyici parmaklar cisme dokunmakla kavrama başlamış olur.

Proje raporunun bu bölümünde önce geliştirdiğimiz bulanık dinamik programlama kısaca tanıtılacak (Bölüm 5.1); daha sonra Lider parmağın (Anthrobot-III'ün baş parmağının) dinamik denklemlerinin bulunuşu aktarılacaktır (Bölüm 5.2). Bölüm 5.3 karanlıkta ışık noktasının hareketi ile belirsizce tanımlanan kavrama ortamını geometrik olarak belirleyecek ve alınan sonuçlar Bölüm 5.4'te irdelenecek.

### 5.1. BULANIK DİNAMİK PROGRAMLAMA (BDP)

BDP daha önce işlenmiş verileri girdi olarak kabul eden ve çıktıları ise gerçek ortamda kullanılmak üzere daha sonra işlenen bir süreçtir. BDP'nin süreç akışı içindeki yerini Şekil 5.1'de açıkça görmekteyiz.



Şekil 5.1 Süreç Akışı içinde BDP.

Klasik dinamik programlamada olduğu gibi, BDP'dede girdi uzayı kesikli hale getirilmekte ve böylelikle durum ve denetim hücreleri oluşturulmaktadır. Bir sonraki aşamada ise keskin olan durum ve denetim hücre noktaları bulanıklaştırılarak, bir bulanık hücresel uzay oluşturulmaktadır. Bu oluşum için her uzay noktasına bir üyelik fonksiyonu atanmış ve her hücre ve komşusu için örtüşen bulanık hücreler tanımlanmıştır. Sürekli mantığı kesikli hale getirmek için, bulanık fonksiyonların destek kümeleri (support set) eşit uzunlukta aralıklarla bölünmüştür.

Bulanıklaştırma arbiriminin ardından devreye giren BDP bulanık durum ve denetim hücrelerini işleyen, durum uzayında durum değişimi için bir hücresel dönüşüm gerekmektedir ve burada, biz, geliştirdiğimiz bulanık hücresel dönüşüm tekniğini uygulamaktayız.

Belirli bir başlangıç hücresi için Bulanık hücresel dönüşüm kullanılarak gelecekteki imge durum hücrelerinin belirlenmesi aşağıda verilen aşamalar sonucu gerçekleşmektedir:

- i) Bir hücrenin destek kümesinde bulunan her kesikli  $x_i$  seviyesi için, durum denklemleri kullanılarak imge hücre  $f(x_i)$  bulunur. İmge hücresinin üyelik fonksiyonu  $NCB(x_i)$  ise, denklemlerde “ve” ve “veya” mantıklarını temsil eden çarpım ve toplamalar yerine min-max operatörleri kullanılarak hesaplanır.

- ii) Verilen bir hücrenin destek kümesindeki her nokta için imge hücreleri belirlendikten sonra, durum hücresinin tüm imge hücrelerini bulmak için “Premise Matching” uygulanır [52].
- iii) İmge hücreleri ve üyelik fonksiyonları bulunduktan sonra, yol pahalaları hesaplanır ve en az pahası ve en yüksek üyeliği olan yol seçilir. Bu döngülü süreç (iterative process) pahaanın en aza indirgenmesine kadar tekrarlanır.
- iv) Sürecin en son aşamasında, elde edilen bulanık durum ve denetim hücrelerine keskinleştirme (defuzzification) uygulanır. Biz çalışmalarımızda keskinleştirmeyi hücrelerin orta noktası olan en yüksek üyelik noktasını alarak gerçekleştirdik.

## 5.2. LIDER PARMAC DINAMIĞI

BDP, durum denklemleri olarak lider dinamik denklemlerini kullanmıştır. Çalışmalarımızda lider parmak Anthrobot elinin baş parmağı olarak seçilmiştir. Baş parmak bölümlerinin (Thumb links) dinamiğini belirlemede Lagrange formülasyonu kullanılmıştır.

Dinamik denklemler

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

olarak elde edilmiştir.

Burada  $L = K - P$

$K$  = Kinetik enerji

$L$  = Potansiyel enerji'dir.

Tüm eklemler döner eklem olduğundan,  $F_i$ 'lar buruları (Torque),  $q_i$ 'lar genelleştirilmiş koordinatları (generalized coordinates) ve  $\dot{q}_i$ 'lar ise bu koordinatların hızlarını belirlemektedir.

Anthrobot III (Şekil 5.2) için bulunan dinamik denklemler

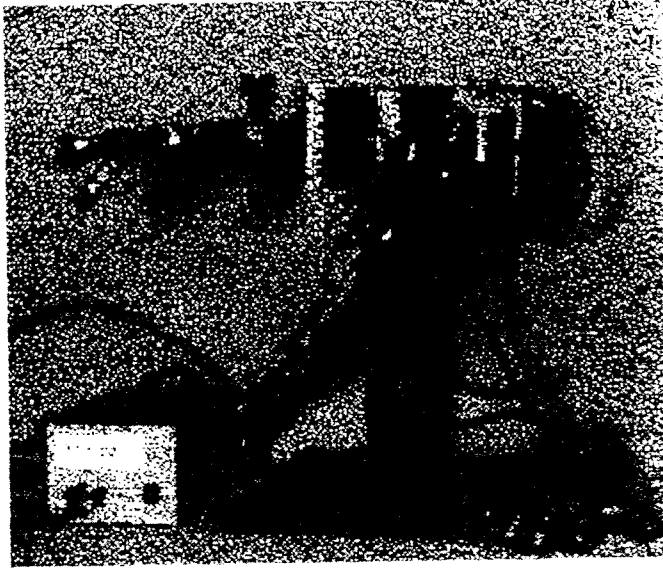
$$F_i = d_{nij} \dot{q}_i + h \text{ sum}_i + g_{ni}$$

şeklindedir ve proje raporu ekinde detaylı değerler verilmiştir. Burada,  $d_{nij}$  ilgili parmağın  $i$ 'inci bölümünün (ith link) bağıntını (coupling) ve efektif ataletini (effective inertia) vermektedir;

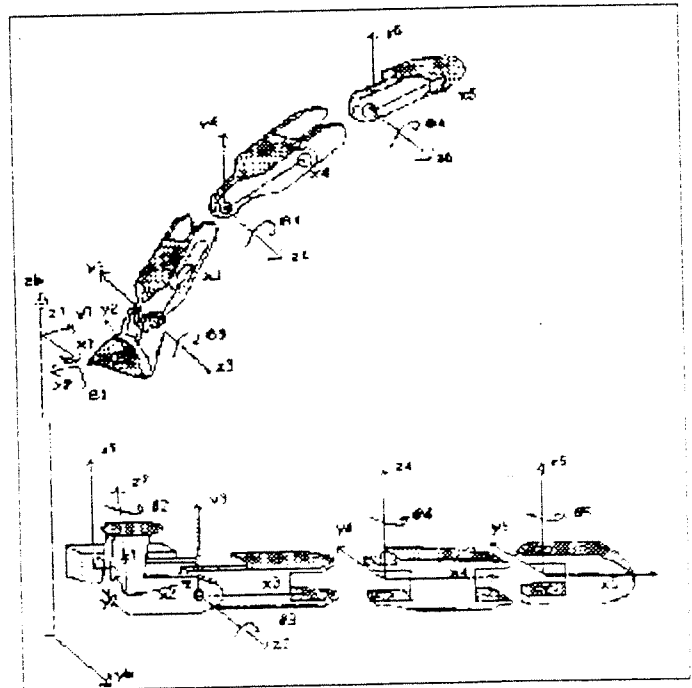
$h \sum_i$  parmağın  $i$ 'inci bölümüne  $q_j$  ve  $q_k$  cinsinden uygulanan coriolis ve merkez kaç kuvvetlerini tanımlamaktadır.

$g_{ni}$  ise parmağın  $i$ 'inci bölüme uygulanan yer çekimi kuvvetlerini belirlemektedir.

a) Anthrobot III



b) El koordinat eksenleri



Şekil 5.2 Anthrobot III ve eklem koordinatları.



Langrangian bulmak için, Şekil 5.3 'te verilen parmak bölüm kütleleri ile Anthrobot III baş parmağının Danevit-Hartenberg parametreleri kullanılmıştır.

Links	$\theta$	d	$\alpha$	a
1	$0.6\pi$	0	0	0
2	$\theta_2$	0.011	$\pi/4$	0.011
3	$\theta_3$	0.005	$-\pi/2$	0.018
4	$\theta_4$	0	$\pi/2$	0.04
5	$\theta_5$	0	0	0.037

a)Danevit-Hartenberg parameters

(kg)	Thumb
m1	0.0063
m2	0.006
m3	0.0103
m4	0.016
m5	0.0148

b)Link masses of thumb

Links	cx	cy	cz
1	-0.005	0	0.011
2	-0.012	0.008	0
3	-0.02	0.003	0
4	-0.017	0	0
5	-0.0175	0	0

c)center of masses

### Şekil 5.3 Baş Parmak Parametreleri

Daha sonra, Anthrobot baş parmağının dinamik denklemleri “Mathematica” yazılımı kullanılarak bulunmuştur. Baş parmak dinamiğine girdiler her ekleme bulunan Futuba servomotorlarının yarattığı burulardır. İkinci ve üçüncü eklemlere girdi olan ve,  $-1.2273 \text{ Nm} < T1 < 1.2273 \text{ Nm}$  aralığından değer alan FP-S1346 G tipindeki 2 servomotorun buruları, çıktı T1 tarafından belirlenir. Dördüncü ve beşinci eklemlere girdi buruları T2, FP-S125 tipi 2 servomotor tarafından sağlanır ve  $-0.912 \text{ Nm} < T2 < 0.913 \text{ Nm}$  aralığında değer alır.

T1 ve T2'nin değer aralıkları, her eklem için üç bulanık hücre oluşturulacak şekilde bulanıklaştırılmışlardır. Uygulamamızda, işlemlerdeki karmaşıklığı azaltmak için, dördüncü ve beşinci eklemlerin Q4 ve Q5 değerlerini sıfır olarak rijit hale dönüştürdük ve yalnızca ikinci ve üçüncü eklem açı ve açısal hızlarını gözönünde tuttuk.

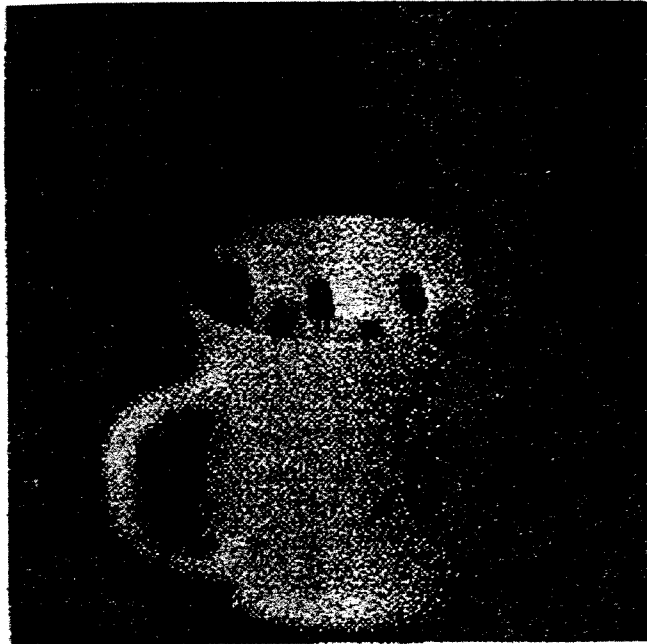
### 5.3 LİDER PARMAKLA İZLENECEK YÖRÜNGE

Anthrobot III robot elinin baş parmak yörüngesi, robot görme sistemi ile görünemeyen bir cismin yüzeyinde kapalı bir eğri çizerek hareket eden bir ışık noktası izlenerek oluşturulmuştur (Şekil 5.4). Hareket eden bu ışık noktası, cisim yüzey eğriliği hakkında lokal ve çok kaba bir bilgi vermektedir.

Olabilecek en uygun yaklaşım bir (lider) parmakla bu hareketli ışık noktasını izlemek, yakalamak ve böylece cisim ile kontakt kurmaktır. Bu izleme sırasında izleyici parmaklar eli devamlı olarak stabilite açısından şekillendirmeli ve izleyici parmak yörüngeleri lider parmak yörüngesinden türetilmelidir. Biz proje çalışmamızda bu yaklaşımı kullandık. Çalışmalarımızda kullandığımız ışık nokta yörüngesi elips ve daire olarak alınmıştır. Bir örnek olarak, raporumuzda, kavrama sonuçlarını daire için vermekteyiz.

Bu daire, ikinci eklemdaki koordinat eksenlerine göre yönlendirilmiştir. Bir başka deyişle, ışık noktasının dairesel yörünge eksenleri robot eldeki lider parmağın ikinci eklemindeki eksenlere (Şekil 5.2) paralel olacak şekilde ele alınmıştır.

Böylece daire y-z düzleminde  $x = 0.1$  cm olacak şekilde oluşturulmuştur. Işık noktasının hareket hızı, örnekleme aralığı 1 saniye olan stroboskopi altında yörüngesini 12 noktaya bölmektedir (Tablo 5.1)



Şekil 5.4 Karanlıkta bardak ve ışık noktasının dairesel yörüngesi

Points	x	y	z
1	-0.1	0	0.02
2	-0.1	0.01	0.0178
3	-0.1	0.0178	0.01
4	-0.1	0.02	0
5	-0.1	0.0178	-0.01
6	-0.1	0.01	-0.0178
7	-0.1	0	-0.02
8	-0.1	-0.01	-0.0178
9	-0.1	-0.0178	-0.01
10	-0.1	-0.02	0
11	-0.1	-0.0178	0.01
12	-0.1	-0.01	0.0178

Tablo 5.1 ışık yörüngesindeki 12 nokta

Baş parmak Jacobian'ını hesaplamada Mathematica ve Waldron'un metodu [53] kullanılmıştır. Daha sonra, ışığın dairesel yörüngesinin konfigürasyon uzayındaki dönüşüm eğrisi bulunmuştur ve böylelikle kesikli dairesel yol, eklem uzayına taşınmıştır.

#### 5.4 TEST SONUÇ İRDELEMELERİ

Yöntemimiz Anthrobot III robot eli ile belirsizlik altında kavramlarda denenmiştir. Uygulamalarımızda, baş parmağın, ışık noktasını, başlangıç durumlarına bağlı olarak ve değişik zaman aralıklarında yakaladığı bulunmuştur.

Başlangıç durumları, hareketli ışık noktasının yörüngesindeki başlangıç noktası, baş parmağın 0.01 değerinde tolerans (hata) taşıyan ilk durum açıları ve açısal hızlarıdır. Durum uzayını daha çok hücreye böldüğümüzde ve her hücre daha çok nokta ile kesikli hale getirildiğinde bu hatanın azaldığı görülmüştür. Bu yaklaşım doğal olarak sonuca gitme zamanını arttırmaktadır.

Ancak bu bölüm çevrim dışı süreç olduğundan, zaman kritik bir parametre değildir.

Uygulamalarımızda, klasik dinamik programlamanın çözümsüz dediği başlangıç açısı ve açısal hız değerini BDP'ye sunduk. BDP optimal sonuç yerine, suboptimal çözüm bulduğundan, aynı başlangıç değerleri için çözüm bulunabilmiştir. BDP, baş parmağın hareketli ışık noktasını bir aralık içerisinde, ışığın yakınına gelecek şekilde izlemesini sağlamıştır.

Böylelikle BDP'nin önemli avantajlarından biri optimal olarak çözümsüz olan bir izleme ve yakalama problemine, suboptimal olarak çözüm bulabilmesidir. Bu çözüm, daha ince ayarın yapılması için, ayar denetim sistemlerine devredilmektedir.

BDP, klasik dinamik programlamada rastlanan iterasyon noktalarının kesikli noktalar arasına düşme problemini ve enterpolasyon gereksinimini örtüşen bulanık hücre yapısı ile doğal olarak çözmektedir. Bizim ele aldığımız kavrama probleminde olduğu gibi, durum değişkenleri çok sayıda, enterpolasyon zor ve bundan dolayı çözümün yaklaşık olduğu problemlerde, sözünü ettiğimiz avantaj önem kazanmaktadır.

BDP'deki bulanık durumların kesikli seviyeleri, değişken gözenekli elekli tek geçiş (variable grid single pass) ve değişken gözenekli elekli çoklu geçiş (variable grid multipass) problemlerinde sisteme çok fazla esneklik ve uyumluluk (adaptability) kazandırmaktadır.

BDP metodunun en önemli dezavantajı yarattığı işlemsel karmaşıklığıdır. Ancak özel bir bilgisayar mimarisi bu karmaşıklığı hafifletebilir. Klasik dinamik programlamada da işlemsel karmaşıklığın bir problem olduğunu hatırlatalım.

BDP'nin bir başka dezavantajı ise belirlenen kesikli hücre noktalarına ve onların üyelik değerlerine fazla derecede bağımlı olmasıdır. Buda bulanık hücre kullanımının doğal sonucudur. Yine, klasik dinamik programlamanın kesikli seviyelere bağımlı olduğunu anımsatalım.

## BÖLÜM VI

### KAVRAMA DENETİMİ SAĞLAMAK AMACI İLE ANTHROBOT III ELİNE KAPALI DÖNGÜ DENETİM TASARIMI VE GERÇEKLEŞMESİ

Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmalar, MODİSA-1 projesinin uzatma süresinde yapılmıştır.

#### 6.1 BU UZATMA DÖNEM ÇALIŞMASINA NEDEDEN GEREKSİNİM DUYULDUĞU

MODİSA-1 projesinin bittiği Ağustos 1994 tarihinde Anthrobot III 5 parmaklı robot elinin kuvvet veya buru denetimi olmaksızın yalnızca ileri yönlü denetimi mevcut idi.

Ancak bu tarihe kadar MODİSA-1 proje kapsamında geliştirilen hücresel denetim yönteminin robot el ile kavrama probleminde uygulanabilmesi için, Anthrobot'un, parmaklarına yerleştirilmiş dokunma duyucularından alınan verilerin geri beslenerek denetlenebilmesi gerekli olmuştur. Dolayısı ile, bu geri beslemeli denetimi gerçekleştirebilmek için projeye bir yıllık bir ek süre istenmiştir. MODİSA-1 için uygun görülen bir yıllık ek süre içinde amaçlanan, kuvvet ve buru için kapalı döngü denetiminin tasarlanıp gerçekleştirilmesi idi. Böylelikle Robot eli daha verimli kavrama yapılabilecek ve maharetli manipülasyon gerçekleştirebilecektir. Kavrama ve kavrama düzeltme problemlerinde duyucu tabanlı kapalı döngü denetim zorunludur. Bundan dolayı, projede tanınan ek sürenin amacı, Anthrobot III robot elinin parmak uçlarından alınan pozisyon ve kuvvet verileri kullanılarak bir kapalı döngü denetim "Hardware" ve "Software" tümleşimini tasarlayıp gerçekleştirmektir.

#### 6.2. PROJE EK SÜRE AŞAMALARI

##### 6.2.1. Pozisyon Geri Besleme

Pozisyon verileri parmaklardaki DC servomotorlara monte edilmiş potansiyometrelerle elde edilmektedir. Pozisyon sinyalleri 0 ve 10 V arasında değişen voltaj seviyeleridir. Bu sinyaller önce "alias" önleyici filtrelerden geçirilip multiplex devreleri üzerinden bir A/D kartına (PCL 1800) verilmektedir.

Motorlar, kapalı döngü analiz kutusu (karakutu) ile bilgisayar çıktıları tarafından sürülmektedir. Döngü, bilgisayar üzerinden uygun bir "software"

geliştirilerek kapatılmış ve kapalı döngü pozisyon denetimi böylelikle gerçekleştirilmiştir.

### 6.2.2. Kuvvet Geri Besleme

Bu aşamada basınç sensörleri robot elinin parmak uçlarına yerleştirilmiş böylelikle kuvvet denetimi eklemlerde değilde parmak uçlarında yapılmıştır. Bu tür sensörler, sensöre tatbik edilen kuvvete göre değişen resistanslar içeren wheatstone köprülerinden oluşur. Kullanılan sensörlerin çıktı sinyalleri 0-100 mV değerleri arasından değer alan voltaj seviyeleridir. Bu sinyaller yükseltildikten sonra "alias" önleyici filtrelerden geçirilmiştir. Filtre çıktıları A/D kartlarına yine multiplex devreleri üzerinden verilmiş ve kesikli hale getirilmiştir. Kesikli haldeki veriler, denetimli sistem sürücü sinyallerinin hesaplamalarında kullanılmış, böylelikle kapalı döngü kuvvet denetimi gerçekleştirilmiştir..

MODİSA-1 projesi ek süre çalışmaları bitiminde

- \* Yükseltici kartları, alias önleyici filtre kartları ve multiplex devreleri bulunan bir Giriş kartı (Input Board)
- \* D/A dönüştürücüleri, kesikli çıktı kartları ve A/D dönüşüm + kesikli çıktı kartı (PCL-1800) bulunan bir giriş kartı
- \* Kapalı döngü arabirim kartı

tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve Robot ele takılmıştır.

Ek sürede gerçekleştirilen altsistemler bölüm 6.4'de detaylı olarak verilmektedir.

### 6.2.3. Yazılım (Software)

Denetim stratejisi PID denetleç uygulamasına dayalıdır. PID parametreleri sistem kimlik belirleyici (sistem identification) ile bulunmuşlardır. Sürücü sinyalleri assembler dili ile yazılmış bir program ile belirlenmişlerdir. Yüksek denetim, saptanmış yörünge ve amaçlanan kuvvet verilerini işleyip, aşağı seviye denetimin noktalarını (set points) belirlemektedir.

## 6.3. ELDEKİ TEÇHİZATIN TANITIMI : ANTHROBOT III 5 PARMAKLI ROBOT EL

### 6.3.1. Genel Tanıtım

Robotik uygulamalarda kullanılan uzuvlar iki değişik amaca göre seçilmektedirler. Özel maksatlı uzuvlar ve genel maksatlı uzuvlar. Çok maksatlı uzuvlar bulunduran robotların her değişik işlem için değişik uç kullanmaları gerekmektedir. Maharetli eller, beklenmedik olaylara ve yapılaşmamış ortamlardaki değişken belirsizlik içeren işlemlere uyabilen ve çok esneklik içeren sistemlerdir. Teleoperasyon sırasında, insan eline anatomik olarak uyan bir mekanik elin özel avantajları vardır: kendi eline epey aşına olan insanoğlu böyle bir robot elin uzaktan denetimini, özel bir eğitimine gerek duymadan kolaylıkla gerçekleştirir. Robot el insan eline benzediğinde, varolan insan arabirimleri kullanılabilir [54].

Halen ODTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü Robot El Laboratuvarında bulunan Anthrobot III tam fonksiyonlu, anatomik olarak doğru, tandonlarla hareket eden 5 parmaklı bir mekanik robot eldir. Anthrobot robot eli parmak sayısı, baş parmak konumu ve hareketi, parmak bölüm uzunlukları ve avuç içi şekli ile insan eline benzer bir şekilde tasarlanmıştır.

Bu tasarım robot ele geniş çapta beceri kazandırmıştır. Robot elin daha önce belirttiğimiz üzere 4 parmak ve bir başparmağı vardır. Her parmak insan elinde olduğu gibi 4 eklemlidir. Anthrobot robot elinde 20 eklem bulunmasına rağmen, elde yalnızca 16 servo motor vardır. İnsan elinde olduğu gibi, her parmakta, uca doğru olan son iki eklem mekanik olarak bağımlıdır. Buda denetlenebilir serbesti derecesini 20'den 16'ya indirmektedir. Servo motorlar eklemleri çelik tandonlar vasıtası ile hareket ettirmektedirler. Anthrobotun bilekte 2 fırçasız DC motorlarla sürülen iki serbesti derecesi bulunmaktadır.

### 6.3.2. Teknik Şartname

#### 6.3.2.1. Robot El İçin Serbesti Derecesi

20 (16'sı denetlenebilir).

Parmak ve baş parmağın :

hareket aralığı : insan elinde olduğu gibi  
parmak ucu kuvveti = 2.2 Ib / parmak  
baş parmak ucu kuvveti = 6.3 Ib  
kanca tutuş kuvveti = 4.5 Ib/parmak  
eklem bant aralığı = 2 Hz

motor güç sarfı :

- \* tüm parmaklar yüklenmiş halde 40 W (5V@ 8 A)
- \* yüksüz halde < 5 W (5V @ 1A)

Geri besleme : Futuba motorlarından alınan pozisyon servo bilgisi

### 6.3.2.2. Bilek için

Serbesti derecesi : 2 (yana ve yukarı-aşağı)

yan hareket için :

- \* hareket aralığı :  $\pm 20^\circ$
- \* buru : 50 lb.in
- \* hız :  $170^\circ$  / saniye (yük yokken)

yukarı aşağı hareket için :

- \* hareket aralığı =  $\pm 60^\circ$
- \* buru = 50 lb.in
- \* hız  $170^\circ$  / saniye (yük yokken)

eklem frekans bant genişliği = 10 Hz  
motor güç sarfı = 24 W/motor  
kodlayıcı = 1250 satır ve sıfır frekans noktası

### 6.3.3. Mekanik Tanıtım

Mekanik olarak, Anthrobot robot eli, insan elinin ölçülerine ve biçimine benzeyecek şekilde tasarlanmıştır. Parmak bölüm uzunlukları US Airforce, US Army ve birkaç sivil anketten toplanan ölçülere bağlı saptanmıştır. Bu uzunluklar askere çağrılan erkeklerin %50 sinin ölçülerini temsil etmektedir.

Robot Elin ölçüleri şöyledir :

- uzunluk = 7.5 in
- genişlik = 3.5 in
- kalınlık = 1.1 in (maksimum)

orta parmağın uçtan, motor arkasına kadarki toplam uzunluğu 18 in'tir. Robot elin toplam ağırlığı 10 pounddur. Mekanik aksam 6061-T6 alüminyumdan yapılmıştır. Parmak uçları silikondan oluşturulmuştur. Tandonlar uçaklarda



kullanılan çelik kablolardır ve en yüksek gerginlik 150 pounda ulaşır.

#### 6.3.4. Parçalar

##### 6.3.4.1. Servomotor Paketleri

Robot El parmaklar için 14 Futuba FP-S125 Servomotoru kullanılmaktadır.

2 tane, güçlü Futuba FIP-S1346 motoru, başparmağın iki hareket eksenini etrafındaki hareketlerini denetlemektedir. Servolar aşağıdaki özelliklere sahiptirler.

FP-125 = Kol tipi yelken denetim servo dönüş :  $140^\circ$  (maksimum)

ölçü =  $0.88'' \times 1.75'' \times 1.69''$

ağırlık = 2.3 oz

çıkış burusu = 129.3 oz/in

hız = 0.62 saniye /  $60^\circ$

FP-S1346 = dörtte bir ölçütlü daralmalı dönüş :  $-140^\circ$  (tipik olarak)

ölçü =  $1.14'' \times 2.32'' \times 1.97''$

ağırlık = 2.8 oz

çıkış burusu = 173.8 oz/in

hız = 0.33 saniye /  $60^\circ$

Servo paketleri, bir motor, dişli, potansiyometre ve servo elektroniklerini içerirler.

Bilek servomotorları Pittman tipi fırçasız DC motorlardır ve 325 : 1 düşürücü dişli sistemi içerirler.

Bu motorlar hız denetleyen fırçasız yükselticiler ve bilgisayardan elde edilen voltaj kumandası ile denetlenirler. Bir kodlayıcı kapalı döngü denetim için motor şaftına monte edilmiştir.

#### 6.3.5. Kapalı Döngü Arabirim Kartı

Kapalı döngü pozisyon denetim için servo elektronik aksamları Futuba Paketlerinden çıkarıldığında Analog ve Dijital sinyallerle servomotorları bilgisayarla sürebilmek için Kapalı Döngü Arabirim kartı tasarlanmıştır. Kartın motor akımlarını kontrol edecek 16 analog gerilim girdileri vardır ve potansiyometrelerden elde edilen 16 çıktı sinyali vardır. Kart PWM motor sürücüleri ve potansiyometre sinyalleri için sinyal işleme devreleri içermektedir.

### 6.3.6. PCL 1800

PCL 1800 16 kanallı A/D dönüştürücüdür. Kesikli zaman verileri için 2 kanallı vardır. Daha detaylı bilgi PCL 1800 el kitabında bulunmaktadır.

## 6.4. Uzatma Süresinde Gerçekleştirilenler

Bu süre içerisinde, öncelikle üretici firmanın yolladığı “pozisyon veri toplama” kılavuzuna göre kapalı döngü pozisyon denetim kutusu Anthrobot’a monte edildi. Bunun için öncelikle Futuba Motorlar’ın servo elektroniği çıkarıldı ve kapalı döngü için gerekli bağlantılar denetim kutusuna yapıldı. Tablo 6.1’den 6.4’e kadarki tablolar Denetim kutusundan motorlara, Giriş Kartından pot'lara yapılan kablo bağlantılarını vermektedir.

### 6.4.1. Çıkış Kartlar

MODİSA-1 proje ek süresinde tasarlanıp gerçekleştirilen çıkış kartları 2 fonksiyonu yerine getirmek üzere imal edilmişlerdir:

- 1) Bilgisayardan alınan kesikli sinyaller dönüştürülerek, Arabirim kartına (KDAK) girdi olacak 0-10 V arası analog voltaj değerlerini üretmek;
- 2) Dönme yönü gibi kesikli sinyalleri üretmek ve KDAK’a ek girdi olarak göndermek.

Her çıkış kartı, giriş katında, 8 bitlik “register” a bağlanmış 8 bitlik D/A dönüştürücü ve çıkış katında, bir op-amp bufferdan oluşmaktadır.

Şekil 6.1 gerçekleştirilen D/A dönüştürücüsünün bir kanalının devresini vermektedir. Her kartta kesikli çıktı sinyalleri için ayrıca 8 bitlik bir register ve Digital Buffer da bulunmaktadır. Bufferlar Denetim Devrelerini yüklemem için konulmuştur. 8 D/A dönüştürücülerin “Register” ları ve sayısal çıktısı 8 bitlik ortak veri barasına (data bus) bağlanmışlardır ve 4 bitlik lokal adres barası (address bus) tarafından adreslenmişlerdir.

İki karttaki toplam 16 D/A dönüştürücüyü ve iki 8 bitlik sayısal çıkışları kullanabilmek için bilgisayar tarafından 8 bitlik global adres barası kullanılmıştır.

Ayrıca, adres barasında uygun geçerli adresin bulunduğunu belirtir bir bitlik aktif düşük VMA (Valid Memory Address) sinyali bulunmaktadır. Gerekli olan 14 bitlik sayısal veri (8’i veri barası, 5’i adres ve 1’i VMA için) PCL-1800 kartının sayısal çıktıları olarak üretilmektedir ve yine sayısal “buffer”lar yardımı ile çıkış kartlarına gitmektedirler. Anthrobot’un eklemeleri ve çıkış

kartının kanal numaraları arasındaki dönüşüm Tablo 6.7’de verilmiştir. Tablo 6.5 ve 6.6 ise çıkış kartları için bağlantıları vermektedir.

Bu kartlar gerçekleştirildikten sonra performans testleri sonucu, analog çıktılarının önündeki bufferlara kararlı olmayan salınımları söndürmek için sığalar eklenmiştir. Bu değişiklik ise D/A dönüşüm devrelerindeki bir resistansın kısa devre edilmesi ile bipolar gerilim çıktısı elde etmek üzere yapılmıştır.

#### 6.4.2. Giriş Kartı

MODİSA-1 uzatma süresi içerisinde kuvvet kapalı denetiminde kullanılacak ve parmak uçlarının dokunma duyucuları olacak 3 adet “Load Cell” Basınç Sensörleri satın alınmıştır. Parmak motor potansiyometreleri, Dokunma duyucuları ve PCL 1800 arasında arabirim olarak kullanılmak üzere bir Giriş kartı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Burada “Load Cell” lerin çok düşük olan çıkış gerilimleri (maksimum 100 mV) enstrümantasyon yükselticileri ile yükseltilmiştir. Bu çıktılar, potansiyometrelerinki ile birlikte “alias” önleyici RC birinci dereceden alçak geçirimli filtreden geçirilmişlerdir. Çıkış kartı böylelikle 5 enstrümantasyon yükselticisinden ve 21 “alias” önleyici filtreden (16’sı potansiyometreler için ve 5’i “load cell”ler için) oluşmaktadır.

Filtrelerin “cut off” frekansları bizim kullanım frekansımıza göre ayarlanmıştır. Yükselticinin ve filtrelerin devreleri Şekil 6.2’de verilmiştir. İleride Anthrobot’un geri kalan parmaklarınada alınabilecek “Load Cell” leride öngördüğümüzden, her bir “Load Cell” için (3+2) 5 adet devre kurduk.  $16+5= 21$  sinyali 16 kanal A/D dönüştürücü kullanarak örneklemek için, sinyalleri seçen analog multipleks ediciler, 2’ye 1 olarak alınmışlardır ve 1 bit sayısal sinyal seçmek için 2 gerçekleştirilebilir seçenek sunmaktadırlar. Sinyal yine PCL 1800 kartı tarafından üretilmektedir ve Giriş kartına sayısal buffer yardımı ile girmektedir. Tablo 6.8 sinyal adları ve kanal numaraları arasındaki ilişkileri vermektedir.

Güç kabloları dışında tüm gerçekleştirilen sistem ve bağlantılar Şekil 6.3’te verilmiştir. Referans amacı ile tüm kabloların listesi Tablo 6.9’da sunulmuştur. Tamamlayıcı olması amacı ile, Kapalı Döngü Arabirim kartı ve bağlantıları Şekil 6.4 ve 6.10’dan 6.13’e kadarki tablolarda verilmiştir.

TABLE 1

Table : Cable between Control Box and the Left Finger Motors

Pin # on Conn. 1-A	Cable Color		Connection point on the motors		
	Cable color	Line color	Finger	Joint	Pin
1	Green		Thumb	Knuckle	Red
2	Grey		Thumb	Second	Red
3	Blue	yes	Thumb	Lateral	Red
4	Grey	yes	Fore	Knuckle	Red
5	Purple	White	Fore	Second	Red
6	White		Fore	Lateral	Red
7	Brown		Middle	Knuckle	Red
8	Yellow	Black	Middle	Second	Red
9	No Connection				
10	No Connection				
11	No Connection				
12	No Connection				
13	No Connection				
14	Purple	Black	Thumb	Knuckle	Black
15	Blue		Thumb	Second	Black
16	Orange	yes	Thumb	Lateral	Black
17	Red		Fore	Knuckle	Black
18	Purple		Fore	Second	Black
19	Red	yes	Fore	Lateral	Black
20	Orange		Middle	Knuckle	Black
21	Yellow		Middle	Second	Black
22	No Connection				
23	No Connection				
24	No Connection				
25	No Connection				

Connector 1-A : 25 pin, Dsub, Female

Cable type used : 18 - Shielded

Naming Convention Used:

The naming convention for the joints is adopted from the Anthrobot Upgrade Manual.

TABLE 2

Table : Cable between Control Box and the Right Finger Motors

Pin # on Conn. 2-A	Cable Color		Connection point on the motors		
	Cable color	Line color	Finger	Joint	Pin
1	Black	Red	Middle	Lateral	Red
2	Blue		Ring	Knuckle	Red
3	Purple	Black	Ring	Second	Red
4	White	Black	Ring	Lateral	Red
5	White		Pinky	Knuckle	Red
6	Blue	Black	Pinky	Second	Red
7	Brown		Pinky	Lateral	Red
8	Grey	Black	Thumb	Pitch	Red
9	No Connection				
10	No Connection				
11	No Connection				
12	No Connection				
13	No Connection				
14	Red		Middle	Lateral	Black
15	Purple		Ring	Knuckle	Black
16	Brown		Ring	Second	Black
17	Yellow		Ring	Lateral	Black
18	Purple	White	Pinky	Knuckle	Black
19	Orange		Pinky	Second	Black
20	Orange	Black	Pinky	Lateral	Black
21	Green		Thumb	Pitch	Black
22	No Connection				
23	No Connection				
24	No Connection				
25	No Connection				

Connector 2-A : 25 pin, Dsub, Male

Cable type used : 18 - Shielded

Naming Convention Used:

The naming convention for the joints is adopted from the Anthrobot Upgrade Manual.

TABLE 3

Table : Cable between Input Board and the Left Finger Pots

Pin # on Conn. 3-A	Cable Color		Connection point on the motors		
	Cable color	Line color	Finger	Joint	Pin
1	Yellow		No Connection		
2	Grey	Black	Thumb	Second	Ground (White)
3	Dark Blue	Black	Thumb	Lateral	Ground (White)
4	Pink		Middle	Second	Ground (White)
5	Green	Black	Fore	Second	Ground (White)
6	Light Blue	Black	Thumb	Second	Signal (Blue)
7	White	Black	Thumb	Lateral	Signal (Blue)
8	Magenta	Black	Middle	Second	Signal (Blue)
9	Light Brown		Fore	Second	Signal (Blue)
10	Yellow	Black	Thumb	Second	Supply (Brown)
11	Red	Black	Thumb	Lateral	Supply (Brown)
12	Dark Yellow	Black	Middle	Second	Supply (Brown)
13	Brown	Black	Fore	Second	Supply (Brown)
14	Red		Fore	Lateral	Ground (White)
15	Orange		Thumb	Knuckle	Ground (White)
16	White		Middle	Knuckle	Ground (White)
17	Pink	Black	Fore	Knuckle	Ground (White)
18	Dark Blue		Fore	Lateral	Signal (Blue)
19	Brown		Thumb	Knuckle	Signal (Blue)
20	Black		Middle	Knuckle	Signal (Blue)
21	Grey		Fore	Knuckle	Signal (Blue)
22	Green		Fore	Lateral	Supply (Brown)
23	Light Brown	Black	Thumb	Knuckle	Supply (Brown)
24	Magenta		Middle	Knuckle	Supply (Brown)
25	Light Blue		Fore	Knuckle	Supply (Brown)

Connector 2-A : 25 pin, Dsub, Female

Cable type used : 25 Conductors - Shielded

Naming Convention Used:

The naming convention for the joints is adopted from the Anthrobot Upgrade Manual.

TABLE 4

Table : Cable between Input Board and the Right Finger Pots

Pin # on Conn. 4-A	Cable Color		Connection point on the motors		
	Cable color	Line color	Finger	Joint	Pin
1	Dark Blue	Black	Pinky	Second	Supply (Brown)
2	Pink		Ring	Second	Supply (Brown)
3	Pink	Black	Thumb	Pitch	Supply (Brown)
4	Green		Middle	Lateral	Supply (Brown)
5	Green	Black	Pinky	Second	Signal (Blue)
6	Light Blue	Black	Ring	Second	Signal (Blue)
7	Magenta	Black	Thumb	Pitch	Signal (Blue)
8	White	Black	Middle	Lateral	Signal (Blue)
9	Brown		Pinky	Second	Ground (White)
10	Light Brown		Ring	Second	Ground (White)
11	Yellow	Black	Thumb	Pitch	Ground (White)
12	White		Middle	Lateral	Ground (White)
13	Red	Black	No Connection		
14	Grey	Black	Pinky	Knuckle	Supply (Brown)
15	Light Brown	Black	Ring	Knuckle	Supply (Brown)
16	Black		Ring	Lateral	Supply (Brown)
17	Magenta		Pinky	Lateral	Supply (Brown)
18	Grey		Pinky	Knuckle	Signal (Blue)
19	Light Blue		Ring	Knuckle	Signal (Blue)
20	Dark Blue		Ring	Lateral	Signal (Blue)
21	Red		Pinky	Lateral	Signal (Blue)
22	Orange		Pinky	Knuckle	Ground (White)
23	Yellow		Ring	Knuckle	Ground (White)
24	Brown	Black	Ring	Lateral	Ground (White)
25	Dark Yellow	Black	Pinky	Lateral	Ground (White)

Connector 2-A : 25 pin, Dsub, Male

Cable type used : 25 Conductors - Shielded

Naming Convention Used:

The naming convention for the joints is adopted from the Anthrobot Upgrade Manual.

TABLE 5

Table: Pin Layouts of Connectors on Cable 7

Connector #	Connected to	
	Board	Connector
7a	PCL-1800	Digital Output
7b	OB #1	Digital Input
7c	OB #2	Digital Input
7d	IB	Digital Input

PCL-1800 Pin Connected			Connector pin #	Signal Name		
IB (7d)	OB #1 (7b)	OB #2 (7c)		Common	Output Boards (OB)	Input Board (IB)
			D/O 0	1	DATA0	N.C.
			D/O 1	2	DATA1	N.C.
			D/O 2	3	DATA2	N.C.
			D/O 3	4	DATA3	N.C.
			D/O 4	5	DATA4	N.C.
			D/O 5	6	DATA5	N.C.
			D/O 6	7	DATA6	N.C.
			D/O 7	8	DATA7	N.C.
			D/O 8	9	ADDR0	N.C.
			D/O 9	10	ADDR1	N.C.
			D/O 10	11	ADDR2	N.C.
				12	ADDR3	N.C.
D/O 11	D/O 11	D/O 12		13	ADDR4	N.C.
D/O 12	D/O 12	D/O 11		14	VMA	N.C.
			D/O 13	15	(Active Low)	SELECT
			D/O 14	16	N.C.	N.C.
			D/O 15	17	N.C.	N.C.
			DGND	18	GND	GND
			DGND	19	GND	GND
			+5 V	20	N.C.	N.C.
			+12 V		N.C.	N.C.

Cable 7: Flat cable with 20 conductors

Connectors 7a, 7b, 7c, 7d : 2 row, 20 pin, female, flat cable connector



TABLE 6

Table : Pin Layouts of the Remaining Connectors of the Input and Output Boards

Output Board				Input Board	
Digital Output		Analog Output		Load Cell Connector	
Pin #	Signal	Pin #	Signal	Pin #	Signal
1	D0	1	A0	1	LC 2 (+)
2	D1	2	A1	2	LC 2 (-)
3	D2	3	A2	3	LC 1 (+)
4	D3	4	A3	4	LC 1 (-)
5	D4	5	A4	5	+10 V
6	D5	6	A5	6	+10 V
7	D6	7	A6	7	+10 V
8	D7	8	A7	8	+10 V
9	GND	9	GND	9	+10 V
		10	GND	10	GND
		11	GND	11	N.C.
		12	GND	12	N.C.
		13	N.C.	13	N.C.
		14	N.C.	14	LC 3 (-)
		15	N.C.	15	LC 3 (+)
				16	LC 4 (-)
				17	LC 4 (+)
				18	LC 5 (-)
				19	LC 5 (+)
				20	GND
				21	GND
				22	GND
				23	GND
				24	N.C.
				25	N.C.

TABLE 7

Table : Analog Output - Joint Mapping

Aout Chan. #	Joint	
	Finger	Joint #
0x00	Thumb	2
0x01	Thumb	1
0x02	Fore	2
0x03	Fore	4
0x04	Middle	4
0x05	Ring	3
0x06	Pinky	3
0x07	Pinky	2
0x08	Thumb	3
0x09	Fore	3
0x0A	Middle	3
0x0B	Middle	2
0x0C	Ring	4
0x0D	Ring	4
0x0E	Pinky	4
0x0F	Thumb	4

Naming Convention:

The joint nearest to the tip of the finger is called as the first joint.

*Note that the first joints of each finger, other than that of the thumb, is mechanically coupled to the second joints.*

TABLE 8

Table : Analog Input - Joint Mapping																		
PCL-1800 Channel Number		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Select	0	Load Cell	Pitch	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral
	1	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	Load Cell	Knuckle	Second	Lateral	

- Cable 1 : Shielded cable with 18 conductors  
One end is soldered to the left finger motors on the Anthrobot  
Connector 1a : 25 pin, female, Dsub connector  
Connected to the Control box (socket A)
- Cable 2 : Shielded cable with 18 conductors  
One end is soldered to the right finger motors on the Anthrobot  
Connector 2a : 25 pin, male, Dsub connector  
Connected to the Control box (socket B)
- Cable 3 : Shielded cable with 25 conductors  
One end is soldered to the left finger pots on the Anthrobot  
Connector 3a : 25 pin, female, Dsub connector  
Connected to the Input board
- Cable 4 : Shielded cable with 25 conductors  
One end is soldered to the right finger pots on the Anthrobot  
Connector 4a : 25 pin, male, Dsub connector  
Connected to the Input board
- Cable 5 : Composed of **two** shielded cables, each with 12 conductors  
Connector 5a : 15 pin, female, Dsub connector  
Connected to Output Board #1 (Analog Output socket)  
Connector 5b : 15 pin, male, Dsub connector  
Connected to Output Board #2 (Analog Output socket)  
Connector 5c : 25 pin, male, Dsub connector  
Connected to Control Box (socket D)
- Cable 6 : Composed of **two** shielded cables, each with 12 conductors  
Connector 6a : 9 pin, female, Dsub connector  
Connected to Output Board #1 (Digital Output socket)  
Connector 6b : 9 pin, male, Dsub connector  
Connected to Output Board #2 (Digital Output socket)  
Connector 6c : 25 pin, male, Dsub connector  
Connected to Control Box (socket D)
- Cable 7 : Flat cable with 20 conductors  
Connector 7a : 20 pin, 2 row, female, flat cable connector  
Connected to the Digital Output socket of PCL-1800  
Connector 7b : 20 pin, 2 row, female, flat cable connector  
Connected to the Digital Input socket of Output Board #1  
Connector 7c : 20 pin, 2 row, female, flat cable connector  
Connected to the Digital Input socket of Output Board #2  
*Note that two cables are interchanged (refer to the pin layouts of the connectors on cable 7)*  
Connector 7d : 20 pin, 2 row, female, flat cable connector  
Connected to the Digital Input socket of Input Board
- Cable 8 : Shielded cable with 36 conductors  
*It is connected one-to-one. Refer to the PCL-1800 manual for pin layout.*  
Connector 8a : 37 pin, male, Dsub connector  
Connected to the PCL-1800  
Connector 8b : 37 pin, male, Dsub connector  
Connected to the Input Board
- Cable 9 : This is the cable between the load cells and the Input Board. It is not implemented.  
It is connected to the Input Board with a 25 pin, female, Dsub connector.

TABLE 10

CABLE10		
C1	C2	FUNCTION
1	1	SD 0
2	3	SD 1
3	2	GND
4	9	SD 4
5	11	SD 5
6	10	GND
7	17	SD 8
8	19	SD 9
9	18	GND
10	25	SD 12
11	27	SD 13
12	28	GND
13	30	GND
14	32	GND
15	5	SD 2
16	7	SD 3
17	6	GND
18	13	SD 6
19	15	SD 7
20	14	GND
21	21	SD 10
22	23	SD 11
23	22	GND
24	29	SD 14
25	31	SD 15
C1 - DB25 male		
C2 - 34 pin header-female crimp on		

TABLE 11

CABLE11		
C1	C2	DESCRIPTION
1	1	VR 0
2	3	VR 1
3	2	GND
4	9	VR 4
5	11	VR 5
6	10	GND
7	17	VR 8
8	19	VR 9
9	18	GND
10	25	VR 12
11	27	VR 13
12	28	GND
13	30	GND
14	32	GND
15	5	VR 2
16	7	VR 3
17	6	GND
18	13	VR 6
19	15	VR 7
20	14	GND
21	21	VR 10
22	23	VR 11
23	22	GND
24	29	VR 14
25	31	VR 15
C1-DB25 female		
C2 - 34 pin IDC header female crimp on		

TABLE 12

CABLE12		
C1	C2	DESCRIPTION
1	1	Red 0
3	2	Red 1
5	3	Red 2
7	4	Red 3
9	5	Red 4
11	6	Red 5
13	7	Red 6
15	8	Red 7
	9	not used
	10	not used
	11	not used
	12	not used
	13	not used
2	14	Black 0
4	15	Black 1
6	16	Black 2
8	17	Black 3
10	18	Black 4
12	19	Black 5
14	20	Black 6
16	21	Black 7
	22	not used
	23	not used
	24	not used
	25	not used
C1 - 20 pin IDC header female		
C2 - DB25 male crimp		

TABLE 13

CABLE13		
C1	C2	DESCRIPTION
1	1	Red 8
3	2	Red 9
5	3	Red 10
7	4	Red 11
9	5	Red 12
11	6	Red 13
13	7	Red 14
15	8	Red 15
	9	not used
	10	not used
	11	not used
	12	not used
	13	not used
2	14	Black 8
4	15	Black 9
6	16	Black 10
8	17	Black 11
10	18	Black 12
12	19	Black 13
14	20	Black 14
16	21	Black 15
	22	not used
	23	not used
	24	not used
	25	not used
C1 - 20 pin IDC header female		
C2 - DB25 female crimp		





FIGURE 1: Schematic of a Sample D/A Conversion Circuit

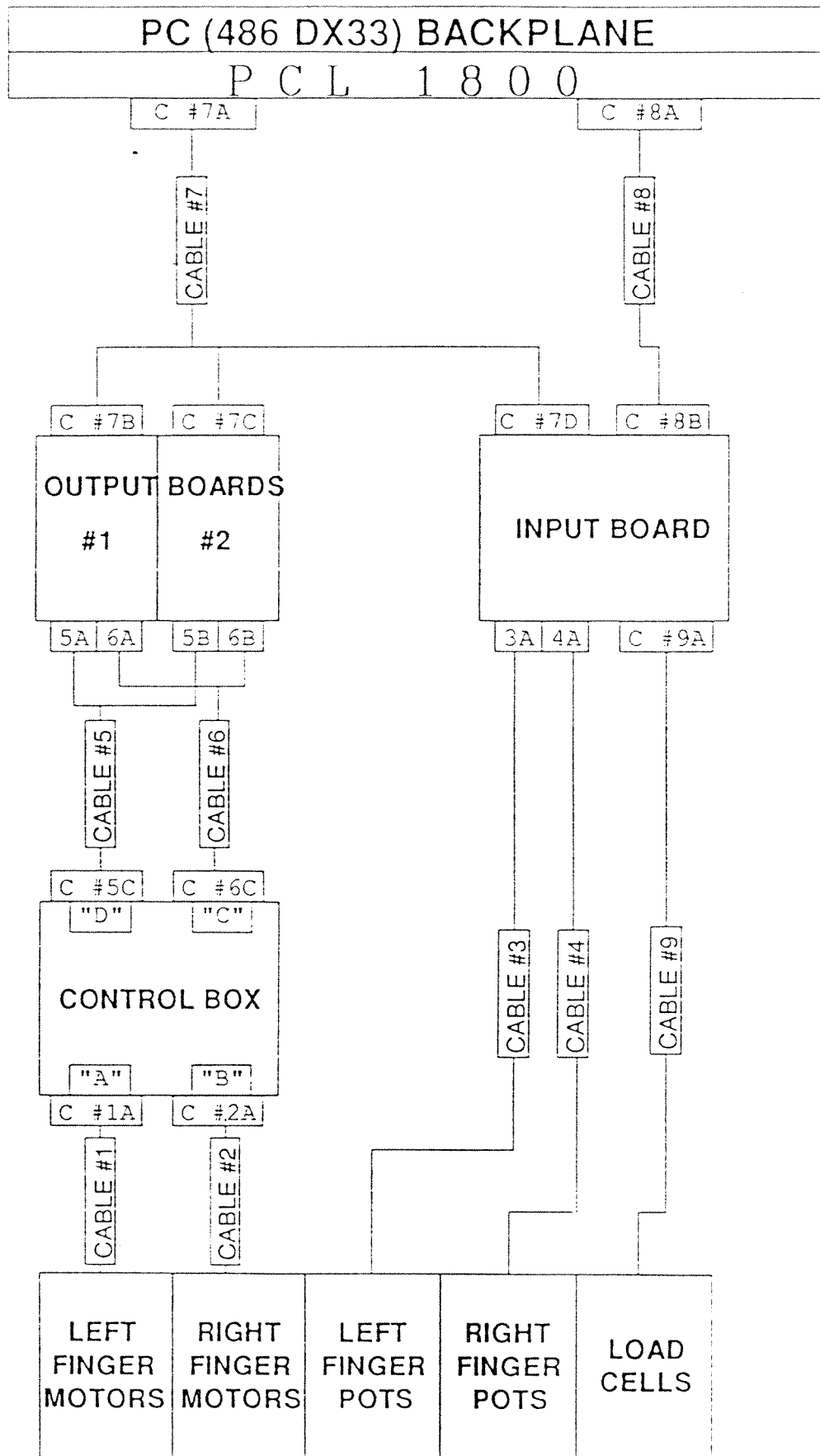
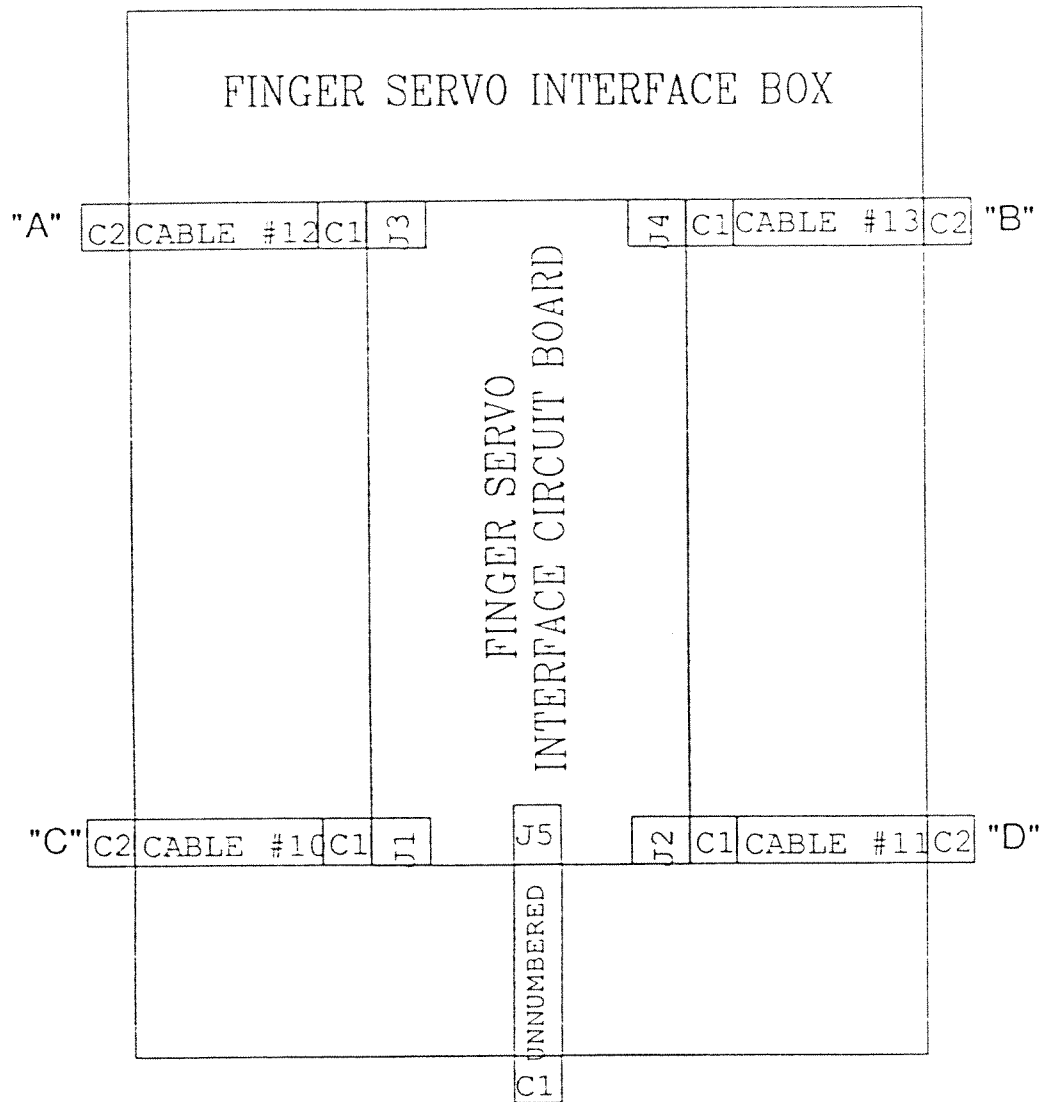


FIGURE 3: ANTHROBOT SYSTEM BLOCK DIAGRAM



DESCRIPTION:

- CABLE10: carries direction lines from digital I/O board
- CABLE11: carries torque voltage from D/A board
- CABLE12: carries motor power to left housing finger servos
- CABLE13: carries motor power to right housing finger servos

FIGURE 4

FIGURE: Inside of the Closed Loop Control Box

## SONUÇ

Projenin amacı yapılaşmamış ortamlarda işlev görecektir olan karmaşık bir denetim sistemini gerçekleştirecek bir denetim + belirsizlik modelinin ve yöntemini oluşturulması ve bu tür sistem olan Robot elde denemesidir. Projenin amacına uygun olarak gerçekleştirilmiş aşamaları şöyledir :

- a) Belirsizlik modelinin seçilip geliştirilmesi;  
Belirsizlik, fraktal destek fonksiyonları ve bulanık hücre yapıları ile modellenmiştir.
- b) Hücresel Denetim Yöntemlerinin oluşturulması;

Yöntem geliştirme çalışmalarımız iki ana grupta yürütülmüştür.

- i) Bulanık ölçüt destekli, Fraktal irdeleme ağı ile Robot elin algılama devinimli şekillenme denetimi.
- ii) Bulanık hücresel optimal denetimin oluşturulması ve Robot ortamlarında uygulanması; Bu grupta iki yöntem oluşturulmuştur:  
\*\* Bulanık Hücresel Dönüşüm tekniği geliştirilmiş ve bulanık denetimlerin ince ayarlarının yapılmasına uygulanmıştır. Gerçek ortam uygulaması, üzerinde ters sarkaç bulunan bir aracın sarkacı dengede tutacak bir biçimde oynatılma denetimi için yapılmıştır.  
\*\* Bulanık Dinamik Programla geliştirilmiş ve Robot elin çok az duyuşsal bilgi ile, karanlık ortamda cisim kavrama problemine uygulanmıştır.

Robot el uygulamalarını gerçekleştirmek üzere proje kapsamında bir "Anthrobot" 5 parmaklı robot el satın alınmıştır. Ancak bu robot elin açık döngü (open loop) denetimi yapılabildiğinden, projeye tanınan ek süre içerisinde, kapalı döngü denetimi için gereken hardware tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir ve software programlanmıştır. Ancak bu çalışmalarımızın sonucu robot elin birkaç tandonu kopmuş bulunmaktadır. Ayrıca parmakların modüler bir biçimde çıkarılıp takılmadığından parmaklara sensörler sabitlenememiştir.

Gelecekteki çalışmalar, Robot elinini tamiri, ve parmak uçlarının değişik dokunma sensörlerle donatılmış bir şekilde modüler tasarlanmış bir biçimde "upgrade"i gereklidir. Bu proje kapsamında geliştirdiğimiz yöntemlerin değişik parmak ucu duyucu konfigürasyonlarına göre test edilip performanslarının belirlenmesi gereklidir. Gelecekte yapılması öngörülen bir başka çalışma ise, bu projenin uzantısı olarak robot eli Holonlar ile modelleyip,

robot eli,hücresel denetime çok uygun olacak Holonic bir kavrama sistemi olarak ele almaktır, modellemektir.

## REFERANSLAR

## REFERANSLAR

- [1] B. Hayes-Roth, "A Blackboard Architecture for Control" *Journal of Artificial Intelligence*, 26, pg. 251-321, (1985)
- [2] D. Nguyen & B. Widrow, "The Truck Backer-Upper : An Example of Self Learning in Neural Networks", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R. S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA, (1991)
- [3] C.C. Jorgensen & C. Schley, "A Neural Network Baseline Problem for Control of Aircraft Flare and Touchdown", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R. S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA, (1991)
- [4] M. Kawato, " Computational Schemes and Neural Networks Models for Formation and Control of Multijoint Arm Trajectory", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R. S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA, (1991)
- [5] S. Nazlibilek, A. Erkmen and D. Demirekler, "A Neural Controller for Local Activation in Fractal Information Network", *Proc. IFAC International Symp. on Distributed Intelligence Systems*, pg 179-184, (1991)
- [6] R. Hecht-Nielsen, "Theory of the Back Propagation Neural Network", *Proc. International Joint Conf. Neural Networks*, Vol 1, pg 593-605, (1989)
- [7] W. T. Miller, "Sensor Based Control of Robotic Manipulators using General Learning Algorithm", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol 3, pg 157-165, (1987)
- [8] *Neural Networks for Control*, Eds. T. Miller, R.S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA (1991)
- [9] T. Ushio & C. S. Hsu, "A simple Example of Digital Control Systems with Chaotic Rounding Errors", *Int. J. of Control* 45, pg 17-31 (1986)
- [10] T. Ushio & C. S. Hsu, "Chaotic Rounding Error in Digital Control Systems", *IEEE Trans on Circuits and Systems*, CAS-34, pg 133-139, (1987)
- [11] C. S. Hsu, "A Discrete Method of Optimal Control Based Upon the Cell State Space Concept", *J. of Optimization Theory and Applications*, 46, pg 547-569, (1985)
- [12] M. Üneri & A. M. Erkmen, "Generating Performance Criteria for Sensorimotor Trainer Sets of a Robot Manipulator Using Cell to Cell Mapping" *Proc. IEEE/RSJ (Robotics Society of Japan) International Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Rayleigh, USA (1992)
- [13] M. Üneri & A.M. Erkmen, "Erosion of Basins of Attraction : Performance losses in Sensorimotor Learning of a Robot Manipulator", *Proc. IEEE Intelligent Control Symposium*, Glasgow, UK, (1992)
- [14] A. M. Erkmen, "Fractal Set Theoretic Analysis of Performance Losses for Tuning Training Data in Learning Systems", Chapter in Edited Book of NATO Advanced Research Workshop on Intelligent Systems : Safety, Reliability and Maintainability Issues, NATO ASI Series, Series F : Computer and Systems Sciences Vol 114 Springer Verlag, Berlin Heidelberg Germany, 1993, Chapter 4
- [15] M. Üneri & A.M. Erkmen, "Bifurcation Phenomena in Sensorimotor Training of a Robot Manipulator", *Proc. IFAC International Workshop on Automatic Control for Quality and Productivity*, İstanbul, Vol 2, pg 747-754, (1992)

- [16] H. Aydın and A.M. Erkmén, "Fuzzy Cell-to-Cell Mapping", *Proc. IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Chicago, (1993)
- [17] C. G. Atkeson & D.J. Reinkensmeyer, "Using Associative Content-Addressable Memories to Control Robots", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R.S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA, (1991)
- [18] L. G. Kraft III & D.P. Campagna, "A Summary Comparison of CMAC Neural Network and Traditional Adaptive Control Systems", *Neural Network for Control*, Eds T. Miller, R.S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA, (1991)
- [19] K. S. Narendra & A. M. Annaswamy, *Stable Adaptive Systems*, Prentice Hall USA, (1989)
- [20] R. J. Williams, "Adaptive State Representation and Estimation using Recurrent Connectionist Networks", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R.S. Sultan, P.J. Werbos, MIT Press, USA (1991)
- [21] P.J. Werbos, "A Menu of Designs for Reinforcement Learning Over time", *Neural Networks for Control*, Eds T. Miller, R.S. Sultan, P. J. Werbos, MIT Press, USA (1991)
- [22] W. Pedrycz, *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, John Wiley & Sons, USA, (1989)
- [23] C.S. HSU, "Cell to Cell Mapping", Springer Verlag, USA (1987)
- [24] *Fractal Geometry; Mathematical Foundations and Applications*, K.J. Falconer, John Wiley & Sons, Newyork, USA, (1990)
- [25] G.M. Abdelnour et.al. "Design of a Fuzzy Controller Using Input and Output Mapping Factors", *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 21, No. 5, pg. 952-960, September (1991)
- [26] A. Athalye et.al., "On Designing a Fuzzy Control System Using an Optimization Algorithm", *Fuzzy Sets and Systems No:56*, pg. 281-290, (1993)
- [27] G. Bartolini et. al., "Development of Performance Adaptive Fuzzy Controllers with Application to Continuous Casting Plants", *Industrial Applications of Fuzzy Control*, Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland), pg. 73-86, (1985)
- [28] D. Bestle and E. Kreuzer, "A Modification and Extension of an Algorithm for Generalized Cell Mapping", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, North Holland, pg. 1-9, (1986)
- [29] H.I. Bozma and N. Bekiroglu, "A Differential Game-Theoretic Approach to Sliding Mode Control", *Proc. IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, Chicago, pg. 435-438, (1993)
- [30] Y.Y. Chen, "The Analysis of Fuzzy Dynamic Systems Using Cell-to-Cell Mapping", *Proc. IEEE Systems, Man, and Cybernetic Annual Conference*, pg. 1408-1411, (1988)
- [31] S. Drakunov et. al., "Sliding Mode Control in Hybrid Systems", *Proc. IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, Chicago, pg. 186-189, (1993)
- [32] S. Geva and J. Sitte, "A Cartpole Experiment Benchmark for Trainable Controllers", *IEEE Control Systems*, pg. 40-51, (1993)
- [33] B.P. Graham, R.B. Newell, "Fuzzy Adaptive Control of a First-Order Process", *Fuzzy Sets and Systems No: 31*, pg. 47-65, 1989



- [34] C.S. Hsu and R.S. Guttalu, "An Unravelling Algorithm for Global Analysis of Dynamical Systems: An Application of Cell-to-Cell Mapping", *Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics*, vol. 47, pg. 940-948, (1980)
- [35] C.S. Hsu, "A Theory of Cell-to-Cell Mapping Dynamical Systems", *Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics*, vol. 47, pg. 931-939, (1980)
- [36] J.H. Kim et. al., "Control of Systems With Deadzones Using PD Controllers With Fuzzy Precompensation", *Proc IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, Chicago, pg. 451-456, (1993)
- [37] G.J. Klir and T.A. Folger, "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", *Prentice Hall*, (1988)
- [38] E.J. Kreuzer, "Analysis of Chaotic Systems Using the Cell Mapping Approach", *Ingenieur-Archiv*, vol. 55, pg. 285-294, Springer-Verlag, (1985)
- [39] E.J. Kreuzer, "Domains of Attraction in Systems with Limit Cycles", *German-Japanese Seminar on: Nonlinear Problems in Dynamical Systems-Theory and Applications-*, Stuttgart, pg. 8.1-8.24, (1984)
- [40] C.C Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller- Part 1", *Trans. IEEE Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pg. 404-418, (1990)
- [41] F. Rannou, "Numerical Study of Discrete Plane Area-preserving Mappings", *Astton & Astrophys 31*, pg. 289-301, (1974)
- [42] J.J.E. Slotine and W.Li, "Applied Nonlinear Control", *Prentice Hall*, (1991)
- [43] H.R. Hashempour, "Decentralized Structures for Parallel Kalman Filtering", *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 33, No. 1, (1988)
- [44] B.S. Rao, H. F. Durrant-Whyte, "Fully Decentralized Algorithm for Multisensor Kalman Filtering", *IEE Proceedings-D*, Vol. 138, No. 5, (1991)
- [45] A. M. Erkmen, "Parallel Distributed Information Processing Based on Fractal Conductivity", *Proc. IFAC International Symposium on Distributed Intelligence Systems*, Washington D.C., USA, pg. 173-178, (1991)
- [46] A. Erkmen, "Information Fractals for Approximate Reasoning in Sensor-Based Robot Grasp Control", PhD Thesis George Mason University, (1989)
- [47] A. M. Erkmen, "A Conductivity-based Enviromental Classifier for the Recognition of Fractal Patterns in Robot Sensing", *Proc. Bilcon (Bilkent International Conference on New Trends in Communication, Control and Signal Processing*, Edited by E. Arıkan, Elsevier Science Publishers, Vol II, pg. 1765-1771, (1990)
- [48] A. M. Erkmen, C. V. Baysal, "A Computer Implementation of Fractal Based Inference Network for Sensorimotor Robot Hand Preshaping", *Proc. Conference on Intelligent Robots and Systems*, USA, (1992)
- [49] A. Erkmen and H. E. Stephanou, "Information Fractals for an Evidential Classifier", *IEEE Trans. System, Man ad Cybernetics*, Vo. 20, No. 5, pg. 1103-1114 (1990)
- [50] S. Nazlıbilek, "Neura Controlled Fractal Inference Networks and The Application to Grasping with Multifingered Robot Hands", PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey (1993)

- [51] S. Nazlıbilek, A. Erkmen, "SENS-PERCEPTOR : Image Based Evidence Formation Module as a Logical Sensor for Robot Hand Preshaping", *Proc. 8th IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, Chicago, Illinois, USA, (1993)
- [52] G. Shafer, "A Mathematical Theory of Evidence, Princeton Press, (1976)
- [53] A. M. Erkmen & H. E. Stephanou, "A Crystal Model of Evidential Reasoning in Robot Sensing", in *Advances in Automation and Robotics*, Vol. 2, G. N. Saridis Ed., JAI Press , (1989)
- [54] A. M. Erkmen & H. E. Stephanou, "Dextrous Grasps Planning with Incomplete Evidence", *Proc. NASA Conference on Space Telerobotics* (1989)
- [55] A. M. Erkmen & H. E. Stephanou, "Evidential Control of Dextrous Grasps", *Proc. IEEE Conference on Syst., Man and Cyber.*, pg. 583-587, (1987)
- [56] A. M. Erkmen, "Modelling, Machining, Intelligence for the Intelligent Control of Robot Grasping", *Proc. Regional Seminar VI (UNESCO) on Expert Systems and Their Microcomputer Applications*, Ankara, Turkey, pg. 131-148, (1991)
- [57] T. Kohonen, *Self-Organization and Associative Memory*, New York, Springer Verlag, 2nd End., (1988)
- [58] M. R. Cutkosky & P.K. Write, "Modelling Manufacturing Grips and Correlations with the Design of Robotic Hands", *Proc. IEEE Conf., Robotics and Automation*, pg. 1533-1539, 1986
- [59] A. Erkmen & H. E. Stephanou, "Information Fractals for an Evidential Classifier", *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, Vol. 20, No. 5, pg. 1103-1114, 1990
- [60] S. Nazlıbilek, A. Erkmen, M. Demirekler, "A Neural Controller for Local Activation in Fractal Information Network", *IFAC International Symp. on Distributed Intelligence Systems*, pg. 179-184, 1991
- [61] A. Erkmen, "Information Fractals for Approximate Reasoning in Sensor-Based Robot Grasp Control", PhD Thesis George Mason University, 1989
- [62] K. M. Andress & A. C. Kak, The PSEIKI Report-Version 2, Evidence Accumulation and Flow of Control in a Mierarchical Spatial Reasoning System, TR-EE 88-9 July 1988, School of Electrical Engineering Purdue University West Lafayette, Indiana 47907
- [63] J. S. Albus, H. G. McCain, R. Lumina, "NASA/NBS Standart Reference Model for Telerobot System Architecture : NASREM", National Bureau of Standarts Technical Note 1235 (1987)
- [64] J. S. Albus, "RCS: A Reference Model Architecture for Intelligent Control", *IEEE Computer Society Computer Magazine*, May 1992, Issue on Computer Architectures for Intelligent Systems
- [65] A. M. Erkmen, C. V. Baysal, "A Computer Implementation of Fractal Based Inference Network for Sensorymotor Robot Hand Preshaping", *Proc. Conference on Intelligent Robot and Systems*, USA, July 1992.
- [66] U. Rembold & R. Dillman (eds), "Autonome Mobile Montageroboter fur Flexible Fertigungszellen und Derebumgebung", SFB 314 Teilproject R, Karlsruhe University, Robotics Institute Technical Report (1989)

- [67] M. Alkan, A. Erkmen, I. Erkmen, "Fuzzy Dynamic Programming", *Proc. MELECON'94* (7th Mediterranean Electrotechnical Conference), 723-726, (April 1994)
- [68] H. Aydın, A. Erkmen, "Fuzzy Cell to Cell Mapping", *Proc. 8th IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Chicago U.S.A., (Aug. 1993)
- [69] D. E. Orin, W. W. Schrader, "Efficient Computation of the Jacobian for Robot Manipulators", *The International Journal of Robotics Research*, 166-75, (1984)
- [70] J. Vanriper, M. S. Ali, J.J. Kriakopoulos, H. E. Stephanou, "Description and Kinematic Analysis of the Anthrobot 3 Dexterous Hand", *Proc. IEEE International Symposium on Intelligent Control*, 299-305, (Aug. 1992)
- [71] D. E. Kirk, *Optimal Control Theory*, Prentice Hall, (1970)
- [72] W. Pedrycz, *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, Research Studies Press Ltd. (1989)
- [73] S. Nazlıbilek, A. Erkmen, I. Erkmen, "Sens-Perceptor: Image Based Evidence Formation Module as a Logical Sensor for Robot Hand Preshaping", *Proc. of the 1993 International Symposium on Intelligent Control Chicago, Illinois, USA*, (August 1993).
- [74] K. M. Andress, A. C. Kak, *Evidence Accumulation and Flow of Control in a Hierarchical Spatial Reasoning System*, Purdue University, USA, (July 1988).

## **EKLER**

## *MODISA - 1 PROJESİ İÇİNDE GERÇEKLEŞEN YAYINLAR*

1. A. Erkmen, "Hücreyel Akıllı Robot El Denetimleri", 1. Mekatronik Tasarım ve Modelleme Çalışma Toplantısı Bildiri Kitabı, 15-19 Kasım 1993, s. 125-141.
2. A. Shehrin, A. Erkmen, "The Metu Hand: Design, Implementation and Control", Proceedings 1. Mechatronic Design and Modelling Workshop, November 15-19, 1993, pp. 335-337.
3. M. Alkan, A. Erkmen, İ. Erkmen, "Fuzzy Dynamic Programming" Proceedings IEEE International Mediterrean Electrotechnical Conference (MELECON'94), Antalya, April 1994, pp 723-726.
4. H. Aydın, A. Erkmen, "Fuzzy Cell to Cell Mapping", Proceedings IEEE International Symposium on Intelligent Control, Chicago, Illinois U.S.A., Aug. 1993, pp. 594-598.
5. S. Nazlıbilek, A. Erkmen, İ. Erkmen, "Sens-Perceptor: Image Based Evidence Formation Module as a Logical Sensor for Robot Hand Preshaping", Proceedings IEEE International Symposium on Intelligent Control, Chicago, Illinois, U.S.A., Aug. 1993, pp. 326-331.
6. A. Erkmen, "Fractal Set Theoretic Analysis of Performance Losses for Tuning Training Data in Learning Systems", Chapter in Edited Book of NATO Advanced Research Workshop on Intelligent Systems: Safety, Reliability and Maintainability Issues, Springer Verlag.
7. A. Erkmen, "Durum Uzayında Noktasal Değerli Akıllı Denetim ile Hücreyel Değerli Akıllı Denetim Yöntemleri", 1. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı Bildiri Kitabı, Haziran 1993, İstanbul, s. 117-138.
8. M. Alkan, A. Erkmen, "Robot Hand Preshape Selection Using a Supervised Neural Network Architecture", Proceedings of the 3rd Turkish Symposium on Artificial Intelligence & Neural Networks (TAINN III), June 1994, Ankara, pp 421-427.
9. M. Alkan, A. Erkmen, I. Erkmen, "Grasping ill Perceived Objects with the Anthrobot Robot Hand Using Fuzzy Dynamic ProgrammingTechnique", IEEE Proc. Systems Ma. and Cybernetics, Oct. 95, Canada.
10. M. Alkan, A. Erkmen, I. Erkmen, "Tracking a Moving Spot with a Robot Hand Finger Using Fuzzy Dynamic Programming Technique", Proc. ICRAM'95, Aug. 95, İstanbul.
11. K. Baş, A. Erkmen, "Fuzzy Pershape and Reshape Can Hot of Anthrobot III 5 Fingered Robot Hand", Proc. ICRAM'95 (Int. Conf. on Recent Advances on Mechatronics), Aug. 95, İstanbul.

## ***MODISA - 1 PROJESİ İÇİNDE GERÇEKLEŞEN TEZLER***

1. Sedat Nazlıbilek (Aydan Erkmen), Neure Controlled Fractal Inference Networks for Sensorimotor Graps Control of a Robot Hand, Doktora tezi, Eylül 1993. (Doktora tezi)
2. Haluk Aydın (Aydan Erkmen), Fuzzy Cell-to-Cell Mapping as an Analysis Tool and Application in Tuning a Controller, Mart 1995. (Yüksek Lisans Tezi)
3. Meltem İzzetoğlu (Alkan), (Aydan Erkmen), Tracking and Impacting an Ill-Perceived Object with the Anthrobot III Robot Hand Using Fuzzy Dynamic Programming, September 1995. (Yüksek Lisans Tezi)

Yayımların ve tezlerin kopyaları Modisa Sekreterliğinde bulunmaktadır.

## BİLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

Proje No: MODİSA - 1

2- Rapor Tarihi: Mayıs 1996

Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Ağustos 1, 1992 - Temmuz 31, 1995

Projenin Adı: Hücrenel Robotların Hareketlerinin Bilgi Akış Ağı ile ordinasyonu ve Çok Parmaklı Robot Elinin Hücrenel Robotlar Ağı ile celenmesi.

Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Doç. Dr. Aydan ERKMEK  
Dr. Sedat NAZLIBİLEK  
Haluk AYDIN

Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:

O.D.T.Ü. Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:

Öz (Abstract):

Çok parmaklı el ile kavrama problemini dinamiği ve denetimi olarak bir bütün olarak ele alınması, çok boyutlu, doğrusal olmayan, değişken parametrelili ve belirsizlik taşıyan kompleks bir sistemin analiz ve kontrolü ile uğraşmak demektir. Bu tür karmaşık sistemlerin yapılaşmamış ortamlardaki işlevleri için gerekecek denetimin karmaşıklığı ve değişik türde belirsizlik içeriği açıktır. Dağıtık kontrol az boyutlu dinamik gerektireceğinden, analizi daha basittir ve global belirsizlik, en ufak denetim birimine indirgenmediğinden lokal boyutları azalacaktır ve lolak olarak hata oranı azalacaktır. Global kompleks Robot el denetim problemi, böylelikle, ufak denetim birimlerinin birbirleri ile haberleşmesine ve belirsizlik yayılımının modellenmesine ve incelemesine dönüştürülmüştür. Projemiz böyle bir denetim modelinin oluşturulması ve robot ele uygulanmasını amaçlamıştır. Proje kapsamındaki gerçekleşen aşamalar şöyle olmuştur.

- \* Belirsizlik modelinin geliştirilmesi
- \* Hücrenel Denetim uzayının oluşturulması
- \* Hücrenel Denetim yönteminin geliştirilmesi
- \* Robot el kavrama denetimine uygulanması.

Proje kapsamındaki üç yöntem geliştirilmiş ve denenmiştir. Bunlar,

- \* Bulanık hücrenel dönüşüm
- Bulanık Denetimlerin ince ayarının yapılmasında kullanımı.
- \* Bulanık Dinamik Programlama ve Robot el kavrama denetiminde kullanışı.
- \* Bilgi Akış Ağı ve duyuculu devinimli denetime uygulanışı.

Anahtar Kelimeler : Bulanık Hücrenel Denetim, Akıllı Robot Denetim Sistemleri, Bilgi Akış Ağları, Çok Parmaklı Robot El, Hücrenel Denetim Dinamiği.

9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler

Bkz "Ekler"

10- Bilim Dalı: Kontrol Kumanda.

Doçentlik B. Dalı Kodu: 619.04.06

ISIC Kodu:

Uzmanlık Alanı Kodu:

11- Dağıtım (\*):  Sınırlı Sınırsız

12- Raporun Gizlilik Durumu :

 Gizli Gizli Değil

\*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz