

Robot Tekniği

Asım KURTOĞLU

Papatya Yayıncılık Eğitim
İstanbul, Ankara, İzmir, Adana

© PAPATYA YAYINCILIK EĞİTİM – Ekim 2011

BİLGİSAYAR SİS. SAN. VE TİC. A.Ş.

Ankara Cad. Prof. F. Kerim Gökay Vakfı İşhanı

No:11/3 Cağaloğlu/İstanbul

Tel : 212 - 527 52 96, Faks: 212 - 527 52 97, GSM: 532 – 311 31 10

e-posta : bilgi@papatya.gen.tr

Web : www.papatya.gen.tr
www.papatya.info.tr

Dağıtım : Cağaloğlu 212 - 527 52 96

Robot Tekniği – Asım KURTOĞLU

1. Basım Ekim 2011

Yayın Danışmanı : Dr. Rifat ÇÖLKESEN
Türk Dili : Dr. Cengiz UĞURKAYA
Üretim : Olcay KAYA
Pazarlama : Batuhan Avcı
Satış : Mustafa DEMİR
Sayfa Düzenleme : Papatya - Kelebek Tasarım
Kapak Tasarım : Papatya - Kelebek Tasarım
Basım ve Ciltleme : Pasifik Ofset Ltd. Şti. (Sertifika No: 12027) - İstanbul

© Bu kitabın her türlü yayın hakkı yayınevine aittir. Yayınevinden yazılı izin alınmaksızın alıntı yapılamaz, kısmen veya tamamen hiçbir şekil ve teknikle ÇOĞALTILAMAZ, BASILAMAZ, YAYIMLANAMAZ. Kitabın, tamamı veya bir kısmının fotokopi makinesi, ofset gibi teknikle çoğaltılması, hem çoğaltan hem de bulunduranlar için yasadışı bir davranıştır.

Kurtoğlu, Asım.

Robot Tekniği / Asım Kurtoğlu / İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, 2011.

xiv, 288 s. ; 24 cm.

Kaynakça ve dizin var.

ISBN: 978-605-4220-37-3.

Sertifika No: 11218.

1.Eklem kontrolü 2.Robot Dinamiği 3.Robot Programlama 4.Robotil

I. Title.

*Babamın anısına,
saygıyla...*

Teşekkür

Kitabı taslak halinde iken okuyan ve değerli düzelme ve iyileştirme önerileri ile gelen Dr. Hilmi KUŞÇU'ya teşekkür ederim.

İçindekiler

Önsöz	xii
Bölüm 1. ROBOTLAR VE ROBOTİK	15
1.1 Robot Sözcüğünün Ortaya Çıkışı	15
1.1.1 Robotik	16
1.1.2 Kronolojik Gelişmeler	17
1.2 Robotların Günümüzde Kullanımı	26
1.2.1 Yeni Robotlar ve Yeni Kullanım Alanları	28
1.3 Özet	30
1.4 Sorular	31
Bölüm 2. ROBOT KİNEMATİĞİ	33
2.1 Koordinat Çerçeveleri ve Hareketleri	35
2.1.1 Vektörlerin Değişik Koordinat Çerçevelerinde Gösterilmesi	41
2.1.2 Öteleme Dönüşmesi	42
2.1.3 Dönme Dönüşmesi	43
2.1.4 Öteleme ve Dönme Hareketlerinin Birleştirilmesi	44
2.1.5 Koordinat Çerçeveleri Dönüşmeleri	47
2.2 Robot Kinematığı ve Değişkenlerin Bulunması	49
2.2.1 Silindirik Bir Robotta Dönüşmeler	51
2.2.2 Üç Döner Eklemlili Bir Robotta Dönüşmeler	54
2.2.3 Kartezyen Bir Robotta Dönüşmeler	56
2.2.4 Küresel Bir Robotta Dönüşmeler	57
2.3 Robotlarda El Kinematığı ve Değişkenlerinin Bulunması	59
2.3.1 Robot Elinin Konumu	59
2.3.2 Euler Açılımları İle Elin Konum Alışı	61
2.3.3 Yalpa, Meyil, Sapma Açılımları ile Elin Konum Alışı	64
2.3.4 Kuaterniyonlar	68
2.3.5 Cincinnati Milacron Robotunda Homojen Dönüşmeler	70
2.3.6 PUMA 550 Robotunda Dönüşmeler	73
2.4 Ters Kinematik Dönüşmeler	77
2.4.1 Robot Değişkenlerinin Bulunması	78
2.4.1.1 PUMA-560 Robotunda Değişkenlerinin Bulunması	82
2.5 Kinematik Hesaplamasında Karşılaşılan Sorunlar	92
2.5.1 Bozulma	92

2.5.2	Tekillik	92
2.6	Robot Uygulamalarında Koordinat Çerçevesi	93
2.7	Diferansiyel Hareketler	95
2.7.1	Diferansiyel Öteleme ve Dönme	96
2.8	Jakobiyen	99
2.8.1	Ters Kinematik Çözümün Türevi	107
2.9	Özet	108
2.10	Sorular	109
Bölüm 3. ROBOT GÜÇ SİSTEMLERİ VE YARDIMCI ELEMANLARI		115
3.1	Elektrikli Güç Sistemleri	116
3.1.1	Senkron Motorlar	116
3.1.2	Uygulamada Dikkate Alınacak Hususlar	121
3.1.2.1	Motor ve Aksamı Montajında Dikkate Alınacak Hususlar	122
3.1.2.1.1	Somun Sıkıştırma Momenti ve Motor Montaj Yüzeyi Basıncı	122
3.1.2.1.2	Motor Yataklarına Aktarılan Kuvvetlerin Dikkate Alınması	122
3.1.2.1.3	Pinyonun Montajı	123
3.1.2.1.4	Yatak Gresinin Akması	123
3.1.2.1.5	Motorların Yarattığı Isı Enerjisi	124
3.1.2.1.6	Frenler	124
3.2	Hareket Aktarma Elemanları	125
3.2.1	Vites Kutuları	125
3.2.1.1	Geleneksel Vites Kutuları	126
3.2.1.2	Harmonic Drive	127
3.2.2	Bilyeli Miller	128
3.3	Algılayıcılar	128
3.3.1	Potansiyometreler	129
3.3.2	Resolverler	130
3.3.2.1	Resolver Montajında Dikkate Alınacak Hususlar	133
3.3.3	Elgonlar	134
3.3.4	İnduktosyn	134
3.3.5	Kod Çemberleri ve Kod Cetvelleri	136
3.3.5.1	Adımsal Kod Çemberleri	136
3.3.5.2	Mutlak Kod Çemberleri	137
3.3.5.3	Kod Cetvelleri	138
3.3.6	Alarm Vericiler	139
3.3.7	Hız Vericiler	139
3.3.7.1	Doğrusal Endüktif Hız Vericisi	139
3.3.7.2	Takometre Jeneratörleri	139

3.4	Dönme Sayılarının Sayısal Ölçülmesi İçin Vericiler	140
3.4.1	Optik Pals Vericileri	141
3.4.1.1	Yansıtma Detektörü	141
3.4.1.2	Okuma Çatalı	141
3.4.1.3	Adım Vericisi	142
3.4.1.4	Endüktif Pals Vericisi	142
3.4.1.5	Hall Etkisi Vericisi	144
3.5	Özet	144
3.6	Sorular	145
Bölüm 4 ROBOT DİNAMIĞI		147
4.1	Robotun Dinamik Modelinin Elde Edilmesi	148
4.1.1	Genelleştirilmiş Koordinatlar	149
4.1.2	Bağlar	151
4.1.3	Bağlar ve Serbestlik Derecesi	154
4.1.3.1	Aile Numarası ve Serbestlik Derecesi	155
4.1.4	Lagrange Denklemleri	161
4.1.5	Genelleştirilmiş Kuvvetler	167
4.1.5.1	Uygulamaya Örnek	171
4.1.6	Kane Denklemleri	175
4.2	Özet	178
4.3	Sorular	179
Bölüm 5 EKLEM KONTROLÜ		183
5.1	Eklem Kontrolü	184
5.1.1	Motor Dinamiği	185
5.1.1.1	Motorun Geçiş Fonksiyonu	187
5.1.1.2	Bir Yüke Vites Kutusu ile Bağlı Motorun İncelenmesi	188
5.1.2	Çıkış Değerinin Düzeltilmesi	190
5.1.2.1	PID Regülatörü	191
5.1.2.2	PD Filtresi	193
5.1.3	Regülatörler Kullanıldığında Çıkış Değerleri	196
5.1.3.1	PD Filtreli Uygulamaya Örnek	198
5.2	Özet	200
5.3	Sorular	200
Bölüm 6 KONTROL BİRİMİ VE YÖRÜNGE POLİNOMLARI		203
6.1	Kontrol Biriminin Fiziksel Yapısı	203
6.1.1	Bilgisayar Sistemi ve Bağlı Birimler	204
6.1.1.1	S4Cplus Kontrol Birimi ve Çevre Elemanları	205

6.2	Robot Hareketinin Kontrolü	206
6.3	Yörünge Polinomları	208
6.3.1	Çevrim Dışı Yörünge Kontrolü	208
6.3.2	Çevrim İçi Yörünge Kontrolü	209
6.3.3	Üçüncü Dereceden Denklemlerle Yörünge Kontrolü	211
6.3.4	Dördüncü Dereceden Denklemlerle Yörünge Kontrolü	213
6.4	Özet	216
6.5	Sorular	217
Bölüm 7 ROBOT TAKIM VE İŞ ALETLERİ		219
7.1	Tutucular	220
7.1.1	Mekanik Tutucular	220
7.1.1.1	Tutma Kuvvetleri	221
7.1.1.2	Kremayer ve Kam Tipli Tutucular	222
7.1.1.3	Vida Tipli Tutucular	223
7.1.1.4	Eklemlili Esnek Tutucular	223
7.1.2	Vantuzlu Tutucular	225
7.1.2.1	Vantuzların Çalışma İlkesi	225
7.1.2.1.1	Emmenin Elde Edilmesi	226
7.1.2.1.2	Gerekli Emme Basıncı	227
7.1.3	Mıknatıslı Tutucular	228
7.2	Takım Değiştiriciler	228
7.2.1	Takım Tezgâhları Takımlarını Değiştiren Takımlar	229
7.2.2	İş Parçası Yükleyen veya Boşaltan Takımlar	229
7.3	İş Takımları	230
7.3.1	İş Parçası İşleyen İş Takımları	231
7.3.2	Montaj İş Takımları	231
7.3.3	Kaynak İş Takımları	230
7.3.4	Algılayıcılı Takımlar	230
7.4	Robot El Değiştiricileri	233
7.5	Özet	233
7.6	Sorular	234
Bölüm 8 ROBOTLU SİSTEM PROJELERİ		235
8.1	Amaçlar ve Şartnameler	236
8.1.1	Robotlu Sistem Projelerinin Ayırıcı Bazı Özellikleri	237
8.2	Ön Çalışma	238
8.2.1	Taslak Çözüm	239
8.2.2	Teknik ve Ekonomik Yaklaşımlar	239

8.3	Sisteminin Çalıştırılması	240
8.4	Ekonomik Yaklaşımlar	241
8.5	Robot Sistemlerinin Alt Elemanları	242
8.5.1	Besleyiciler	242
8.5.2	Kontrol ve Gözetleme Örgüsü	243
8.6	Donatım ve Tedarikçi Seçimi	243
8.7	Özet	244
8.8	Sorular	245

Bölüm 9 ROBOT SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK **247**

9.1	Tehlikeler	247
9.2	Kaza Tipleri ve Nedenleri	249
9.2.1	Sistem Çalışma Alanındaki Tehlikeler	251
9.3	Çalışma Alanından ve Robottan Güvenlik Beklentileri	252
9.3.1	Güvenlik Sistemi Yapı Elemanları	255
9.3.1.1	Sınır Koyucu Kesiciler	255
9.3.1.2	Işık Algılayıcı Güvenlik Elemanları	256
9.3.1.2.1	Işık Güvenlik Sistemlerinin Devre Dışı Bırakılması	258
9.3.1.2.2	Işık Perdesi Kullanan Makinalarda Güvenlik Mesafesi	259
9.3.1.2.3	Basınca Duyarlı Güvenlik Halıları	261
9.3.1.3	Çit ve Güvenlik Ayırıcıları	262
9.4	Güvenlik Sisteminin Bağlanması	262
9.5	Özet	263
9.6	Sorular	264

Bölüm 10 PROGRAMLAMA **265**

10.1	Çevrimiçi Programlama	267
10.2	Çevrimdışı Programlama	267
10.3	Robot Dilinin Soyutlama Derecesi	268
10.3.1	Robota Yönelik Diller	268
10.3.2	Nesneye Yönelik Diller	271
10.3.3	Sürece Yönelik Diller	272
10.4	Özet	272
10.5	Sorular	273

KAYNAKÇA **275**

DİZİN **279**

Önsöz

Tarihin eski çağlarından beri, birtakım işleri yapabilmeleri için, kısmen otomatik de olan, değişik araçlar ve makinalar geliştirilmiştir. Bunların, günümüzde anlaşılan anlamı ile robot diye kabul edilmesi mümkün değildir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, biraz da Batı endüstrisinin canlanması ve yeni tekniklerin gelişmesi ile bugünkü anlamda robotlar da ortaya çıkmaya başlamıştır.

1940'lı yıllarda ortaya çıkan birtakım teknik gelişmelerden başlayarak, *Isaac Asimov*'un, düşünsel planda, robotları insanlara benzeten ama duygulardan yoksun ve 'positronic' beyinle güdülen makinalar olarak ele alan çalışmaları ile *Joseph Engelberger* gibi girişimcilerin endüstriyel çalışmaları da dikkate alınarak, 1970'li yıllara kadar olan süre robotların emekleme devresi olarak alınabilir. Bu süre zarfında, robot gelişmesine önemli katkılar yapan, önemli patent başvuruları yapılmış, patentler alınmış ve robotlar üretecek bir çok firma kuruluşu gerçekleşmiş, bilgisayar teknolojisinde önemli adımlar atılmış ve birbirine ekli uzuvlardan oluşmuş mekanik yapıların kinematik çözümlenmelerine olanak veren modeller geliştirilmiştir.

1970'li yıllarda, adı daha sonra Amerikan Robot Endüstrileri Birliği olarak değiştirilen, Amerikan Robot Enstitüsü (Robot Institute of America) kurulmuş, robotları endüstriyel olarak üretecek yeni firmalar ortaya çıkmış ve Amerikan Robot Endüstrileri Birliği, robotların kullanımı alanında önemli başarılar gösterenlere verilmek üzere *Joseph F. Engelberger* ödülünü tesis etmiştir.

Söz edilen yıllardan sonra robot üreticiliği yapan firma sayısında çok büyük sıçramalar olmuştur. Günümüzün önemli robot üreticilerinde biri olan ABB Robotics, robot geliştirme projesine 1972 yılında başlamış ve 1973 yılında teşhir edilen ilk robotu IRB 6 ile bir dizi yeniliği de beraberinde getirmiştir. Intel 8008 mikrobilgisayar kontrollü ve insan koluna benzeyen IRB 6 robotunun eklemelerinin tümü elektrik gücü ile harekete geçiriliyordu. Kontrol programı ise sadece 8 KByte'lık idi ve ilk üç ekleme devir düşürücü olarak 'Harmonic Drive' kullanılıyordu.

Robot endüstrisinin gelişmesine otomobil endüstrisinin katkısı önemlidir. Daha 1960'lı yılların ortalarında Ford ve General Motors ilk önemli robot siparişleri veren firmalar olarak ortaya çıkmıştır. Bugün bile, endüstri robotları için otomobil endüstrisi en önemli pazarlardan birini teşkil etmektedir. Bu bağ öylesine belirgindir ki, otomobil endüstrisinin dar boğazlara girdiği zamanlarda, hemen her zaman, robot üreticileri de kapasite kullanımını sorunları ile boğuşmak durumunda kalmaktadırlar.

Buna karşın endüstri robotlarının kullanım alanları hem büyük ölçüde çeşitlenmekte hem de robotların bu yeni alanlara yayılma hızı artmaktadır. Günlük gazete okuyucuları bile bugün robotların üretim endüstrisi yanında hizmet sektöründe, uzay çalışmalarında,

derin denizlerde, ameliyatlarda, güvenlik ve başka alanlarda kullanılmakta olduğunu okuyabilmektedirler. Film endüstrisi ise robotları, çoğu zaman robotların günümüzde sahip olmadıkları birtakım özelliklerle donatılmış insana benzer veya farklı şekillerde makinalar olarak sık sık kullanmaktadır. Bu tür filmlerde robotlar, hem kedilerine özgü birtakım hassaları olan ve hem de çevreye göre davranışlarını belirleyebilen özelliklerle donatılmaktadırlar. Yani robotlar, bu tür uygulamalarda, ileri düzeyde algılayıcı teknolojisini kullanıp çevreyi anlayabilen ve ileri düzeyde kontrol sistemi kapasitesi ile bu algılara göre davranış belirleyebilen ve yapan makinalar olarak görülmektedir.

Robotlar alanında günümüzdeki gelişmelerin birkaç alanda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu alanları robotların çalışma güvenilirliği, ölçme aletleri olarak da kullanılmalarına olanak sağlayabilecek daha yüksek hassasiyet, yapay zeka ve makine görmesi olarak sıralanabilir.

Robot kullanmanın üretkenliği arttırmak, ürün kalitesini yükseltmek, tehlikeli işlerin görülmesi gibi önemli katkılar sağladığı endüstriyel uygulamalardan biri otomatik üretim sistemleridir. Yüzlerce robotun kullanıldığı ve özellikle bunların yaptıkları iş açısından seri olarak bağlı kabul edilebilecekleri bu tür üretim sistemlerinde, herhangi bir robotun hata yapması ve durması tüm üretim hattını durdurabilmekte ve büyük ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bu kapsamda, robotun, hem işleme güvenilirliğinin yüksek olması ve hem de arıza durumunda kolaylıkla onarılabilmesi ve tekrar ayarlama yapılmasına gerek duyulmadan işe koşulabilmesi çok arzu edilen bir durumdur.

Robotlar, gerekli hassasiyete sahip olduklarında ölçme makinaları olarak da kullanılabilirler. Bugün bu hassasiyette olmamaları ve hassasiyetlerinin birtakım etmenler nedeniyle düşmeleri bu tür kullanıma olanak vermemektedir.

Yapay zekalı robotlarda arzulanan önemli bir özelliktir. Yolu üzerinde bir çok şey ve engel bulunan bir robotun hareketini mümkün kılan yapay zekanın uygulamada da kolaylıkla kullanılabilmesi çok arzu edilen bir durumdur. Geçmişte oldukça uzun bir zamana yayılan bu tür çalışmaların gelecekte robot kullanımında yaygınlaşacağı beklenmektedir.

Makina görmesinin daha etkin olarak kullanılabilmesi robotlarda pek çok kullanım alanı bulacağı beklenmektedir. Herhangi bir yerin fotoğrafının çekilip bunun robot kontrol birimine aktarılması günümüzde zor bir işlem değildir. Bunun yanında, bu görüntünün algılanıp var olan nesnelerin yer ve konum olarak doğru saptanması büyük zorluklar arz etmektedir [20].

Yapay zeka ve makine görmesi daha büyük yoğunlukta algılayıcı kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu tür algılayıcılar sadece görmeye özgü olmayacak, dokunma, kuvvet algılama ve mesafe ölçme gibi işlemlerde de kullanılacaktır. Bu tür uygulamalarda sadece algılayıcıların verdiği bilgilerin yorumlanması değil, bu bilgilerde çelişkili ifadeler varsa bile bunların da doğru yorumlanması gerekmektedir.

Bu tür kapasite ile donatılmış robot alanına çoğu zaman *İleri Robotik* denilmektedir; böylesi robotlar için örnek kullanım alanı ameliyatlar, insanlara takılan ve el-bacak yerine kullanılabilir düzenekler ve koyun kırma makineleri verilebilir. Bunların yanında böceklerle benzeyen ve duvarlara tırmanan robotlar, altı eklemden fazla eklemi olan robotlar, bacaklı robotlar ve başka örnekler de verilebilir.

İleride olacak önemli gelişmelerden biri de çok parmaklı robotlar olacağı beklenmektedir. Bugüne kadar insan eline benzeyen robot elleri, özellikle kontrol edilmelerinin karmaşıklığı nedeni ile yaygınlık kazanamamıştır.

Burada sıralanan beklenilebilecek gelişmelerin bir kısmının gerçekleşmeyeceği veya başka yeni teknik alanların ortaya çıkabileceği gözden uzak tutulmamalıdır. On, yirmi, yirmi beş yıl öncesine kadar, özellikle robot endüstrisi ve bu alanda çalışan araştırmacıların yaptıkları, robot 'nüfusuna' dair pek çok tahminin de yanlış çıktığı gözden uzak tutulmamalıdır. Yeni teknik ve teknolojilerin yaygınlık kazanması, gereken malî yatırım yanında, gerekli bilgi ve deneyim toplanmasının her zaman tahmin edilenden daha uzun zaman aldığı akıldan çıkarılmamalıdır.

Asım KURTOĞLU

Eyül 2011, Stockholm

