

Mehmet Önder Efe

Ayrık Zamanlı Kontrol Sistemleri

Ankara

İçindekiler

1	Giriş	1
1.1	Neden Ayırık Zamanlı Kontrol Yaklaşımı?	1
1.2	Ayrık Zamanlı Sinyaller ve Örnekleme	3
1.3	Nicemleme	6
1.4	Ayrık Zamanlı Kontrol Sistemlerinin Bileşenleri	9
1.5	Tasarım Yaklaşımlarına Genel Bakış	10
1.6	Özet	11
2	z Dönüşümü	13
2.1	Tanım ve Özellikler	13
2.2	Basit Fonksiyonların z Dönüşümleri	14
2.3	z Dönüşümünün Özellikleri	20
2.4	z Dönüşümü Teoremleri	24
2.4.1	İlk Değer Teoremi	24
2.4.2	Son Değer Teoremi	24
2.4.3	Kompleks Öteleme Teoremi	25
2.5	Ters z Dönüşümünün Elde Edilmesi	25
2.5.1	Doğrudan Bölme Yöntemi	26
2.5.2	Dürtü Cevabı Yöntemi	28
2.5.3	Basit Kesirlere Ayırma Yöntemi	30
2.5.4	Ters Alma İntegrali İle Hesaplama Yöntemi	38
2.6	Fark Denklemlerinin Çözümünde z Dönüşümünün Kullanılması	40
2.7	Çözümlü Problemler	42
2.8	Problemler	57
3	Ayrık Zamanlı Kontrol Sistemlerinin z Düzleminde Analizi	61
3.1	Örnekleme ve Tutma	61
3.1.1	Dürtü Örneklemesi	62
3.1.2	Veri Tutma	63
3.1.3	Örnekleme ve Örtüşme	67
3.1.4	Sıfıncı Dereceden Tutucunun Frekans Alanı Özellikleri	72

XII İçindekiler

3.2	Darbe Transfer Fonksiyonu	73
3.2.1	Evrişim Toplamı ve Yıldızlı Gösterim	74
3.2.2	Seri (Kaskat) Bağlısımlı Sistemlerin Darbe Transfer Fonksiyonu	76
3.2.3	Geri Beslemeli Sistemlerin Darbe Transfer Fonksiyonu	77
3.2.4	Ayrık Zamanlı Bir Kontrol Sisteminin Kapalı Çevrim Darbe Transfer Fonksiyonu	81
3.3	s Alanı ile z Alanı Arasındaki Eşleşme	82
3.4	$G(s)$ 'den $G(z)$ 'nin Elde Edilmesi: Ayrıklaştırma Yöntemleri	93
3.4.1	Sayısal İntegrasyona Yaklaştırma	93
3.4.2	Türev Tabanlı Yaklaştırma	98
3.4.3	Dürtü Cevabı Kullanarak Yaklaştırma	99
3.4.4	Tam Olarak Yerine Koyma	99
3.4.5	Sıfıncı Dereceden Tutucu (SDT) Eşdeğeri	100
3.4.6	Kutup ve Sıfır Eşleme	101
3.4.7	Basamak Cevabını Eşleme	102
3.4.8	Sürekli Zamanlı Adi Diferansiyel Denklemlı Sistemin Her Örnekleme Periyodunda Ayrı Çözümü İle Ayrıklaştırma	103
3.4.9	Padé Yaklaştırması	104
3.5	Ayrık Zamanlı Denetleyicilerin ve Süzgeçlerin Gerçeklenmesi	104
3.5.1	Doğrudan Programlama	105
3.5.2	Standart Programlama	105
3.5.3	Seri Programlama	106
3.5.4	Paralel Programlama	108
3.5.5	Merdiven Programlama	109
3.5.6	Sonlu Dürtü Yanıtlı Süzgeçler ve Sonsuz Dürtü Yanıtlı Süzgeçler	111
3.6	Ayrık Zamanlı Sistemlerin Kararlılığının İncelenmesi	113
3.6.1	Jury Kararlılık Testi	114
3.6.2	Kararlılık Analizinin Çift Doğrusal Dönüşüm ve Routh-Hurwitz Kararlılık Ölçütü İle Yapılması	116
3.7	Çözümlü Problemler	117
3.8	Problemler	132
4	Ayrık Zamanda Geçici Hal Analizi ve Sürekli Hal Analizi	139
4.1	Geçici Hal Analizi	139
4.2	Sürekli Hal Analizi	145
4.2.1	Referans Sinyali Birim Basamak Olan Kontrol Sistemlerinde Sürekli Hal Hatası	146
4.2.2	Referans Sinyali Birim Rampa Olan Kontrol Sistemlerinde Sürekli Hal Hatası	147
4.2.3	Referans Sinyali Birim Parabol Olan Kontrol Sistemlerinde Sürekli Hal Hatası	148

4.2.4	Örnekleyicinin Bulunduğu Noktaya Göre Statik Hata Sabitlerinin Tanımlanması	148
4.3	Çözümlü Problemler	150
4.4	Problemler	170
5	Kök Yer Eğrileri İle Tasarım	181
5.1	Kök Yer Eğrilerinin Elde Edilmesi	181
5.2	Genlik Koşulunun ve Açık Koşulunun Geometrik Anlamları	185
5.3	Kök Yer Eğrilerinin Çizim Kuralları	187
5.4	Sıfır ve Kutup Sadeleşmeleri	195
5.5	Faz İlerletici, Faz Geriletici ve Karma Türde Denetleyicilerin Kök Yer Eğrileri İle Tasarımı	196
5.6	Faz İlerletici Denetleyici	197
5.7	Faz Geriletici Denetleyici	198
5.8	Faz İlerletici ve Geriletici Denetleyici Tasarımı	199
5.9	Matlab ile Tasarım	200
5.10	Çözümlü Problemler	204
5.11	Problemler	233
6	Frekans Alanında Tasarım	245
6.1	$z = e^{sT}$ Eşleşmesinin Frekans Alanı Açısından Anlamı	246
6.2	Frekans Bozulmasının Düzeltilmesi	250
6.3	$w = j\nu$ ve $s = j\omega$ İçin Nyquist Eğrileri	253
6.4	Kazanç Payı ve Faz Payı	255
6.5	$w = j\nu$ ve $s = j\omega$ için Statik Hata Sabitleri	257
6.6	w Alanında Tasarım Adımları	258
6.7	Faz İlerletici Denetleyici Tasarımı	259
6.8	Faz Geriletici Denetleyici Tasarımı	260
6.9	Çözümlü Problemler	261
6.10	Problemler	279
7	Durum Uzayında Analiz ve Tasarım	293
7.1	Durum Uzayı Sistemlerinin İncelenmesi	294
7.1.1	Temel Bilgiler	294
7.1.2	Durum Uzayından z Alanına Geçiş	295
7.1.3	Kanonik Biçimler	296
7.1.4	Doğrusal Dönüşüm Sonrasında Darbe Transfer Fonksiyonunun Değişmemesi	299
7.1.5	Ayrık Zamanlı Durum Denklemlerinin Çözümü	299
7.1.6	Sürekli Zamandaki Durum Uzayı Sistemi ile Ayrık Zamandaki Eşdeğerinin İlişkilendirilmesi	301
7.1.7	Minimal Gerçekleme	301
7.1.8	Kontrol Edilebilirlik	301
7.1.9	Gözlenebilirlik	303
7.1.10	Kararlılaştırılabilirlik ve Sezilebilirlik	303

XIV İçindekiler

7.1.11	Çıkışın Kontrol Edilebilirliği	305
7.2	Çiftleş Sistemler	305
7.3	Durum Geri Beslemesi ile Kutup Atama	307
7.4	Gözleyiciler	310
7.5	Gözleyici Tabanlı Durum Geri Beslemesi	313
7.5.1	Gözleyici Tabanlı Durum Geri Beslemesi İle Basamak Cevabının İzlenmesi	315
7.6	En Küçük Dereceli Gözleyici	316
7.6.1	En Küçük Dereceli Gözleyicinin Geri Beslemeli Kontrol Çevriminde Kullanımı	320
7.7	Servo Sistemlerinin Tasarımı	321
7.7.1	Tip-0 Sistem için Tasarım Yöntemi	322
7.7.2	Tip-1 Sistem için Tasarım Yöntemi	325
7.8	Gözleyici Tabanlı Servo Sistemleri	326
7.9	Lyapunov Kararlılık Analizi	328
7.10	Çözümlü Problemler	332
7.11	Problemler	368
8	Polinom Denklemler Tasarım	377
8.1	Diophantine Denklemi	377
8.2	Polinom Denklemler Tasarım Yaklaşımı	380
8.3	Model Eşlemeli Kontrol Sistemlerinin Tasarımı	384
8.4	RST Denetleyicisi	386
8.4.1	$R = T$ Olması Durumu	392
8.5	Çözümlü Problemler	393
8.6	Problemler	419
9	Ayrık Zamanlı Optimal Kontrol Sistemlerinin Tasarımı	433
9.1	Maliyet Fonksiyonları ve Eniyileme	434
9.2	Dinamik Programlamaya Dayalı Doğrusal Kuadratik Optimal Kontrol	435
9.3	Performans Ölçütünde Çapraz Terimlerin Olması Durumu	441
9.4	Sürekli Hal İçin Optimal Kontrol Sistemi Tasarımı	443
9.5	Doğrusal Kuadratik Optimal Referans İzleme Problemi	444
9.6	Optimal Kontrolün Matris Formülasyonu ve Eniyileme İle Elde Edilmesi	447
9.7	Kuadratik Optimal Kontrolün Durum Vektörünün Elenmesi İle Elde Edilmesi	449
9.8	Ayrık Zamanlı Kalman Süzgeci	450
9.9	Çözümlü Problemler	454
9.10	Problemler	493
A	Analitik Tasarım Yöntemi	513
B	Değiştirilmiş z Dönüşümü	523

C Kontrol Edilebilirlik, Gözlenebilirlik ve Gramiyenler	531
Kaynaklar	535
Dizin	537