

Rolf Isermann

Identifikation dynamischer Systeme 1

Grundlegende Methoden

Zweite neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 108 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsübersicht Band 2

- C Identifikation mit parametrischen Modellen –
zeitdiskrete Signale**
 - 2. Teil: iterative und rekursive Parameterschätzmethoden**
 - 12 Maximum-Likelihood-Methode
 - 13 Bayes-Methode
 - 14 Parameterschätzung mit nichtparametrischem Zwischenmodell
(zweistufige Methoden)
 - 15 Rekursive Parameterschätzmethoden
 - 16 Parameterschätzung zeitvarianter Prozesse
 - 17 Numerisch verbesserte rekursive Parameterschätzmethoden
 - 18 Vergleich verschiedener Parameterschätzmethoden
 - 19 Parameterschätzung im geschlossenen Regelkreis
 - 20 Verschiedene Probleme der Parameterschätzung
- D Identifikation mit parametrischen Modellen –
kontinuierliche Signale**
 - 21 Parameterbestimmung aus Übergangsfunktionen
 - 22 Parametereinstellung durch Modellabgleich
 - 23 Parameterschätzmethoden für Differentialgleichungen
 - 24 Parameterschätzung für Frequenzgänge
- E Identifikation von Mehrgrößensystemen**
 - 25 Modellstrukturen zur Identifikation von Mehrgrößensystemen
 - 26 Methoden zur Identifikation von Mehrgrößensystemen
- F Identifikation nichtlinearer Systeme**
 - 27 Parameterschätzung nichtlinearer Systeme
- G Zur Anwendung der Identifikationsmethoden – Beispiele**
 - 28 Praktische Aspekte zur Identifikation
 - 29 Identifikation von Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik
 - 30 Identifikation von Kraftmaschinen
 - 31 Identifikation von Arbeitsmaschinen
 - 32 Identifikation von Aktoren

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	XV
1 Einführung	1
1.1 Theoretische und experimentelle Systemanalyse	1
1.2 Aufgaben und Probleme der Identifikation dynamischer Systeme	8
1.3 Klassifikation von Identifikationsmethoden	14
1.4 Identifikationsmethoden	17
1.5 Testsignale	19
1.6 Besondere Einsatzfälle	22
1.7 Anwendungsmöglichkeiten	24
1.8 Literatur	26
2 Mathematische Modelle linearer dynamischer Prozesse und stochastischer Signale	29
2.1 Mathematische Modelle dynamischer Prozesse für zeitkontinuierliche Signale	29
2.1.1 Nichtparametrische Modelle, deterministische Signale	29
2.1.2 Parametrische Modelle, deterministische Signale	32
2.1.3 Kennwerte der Übergangsfunktionen einfacher parametrischer Modelle	36
2.2 Modelle für zeitkontinuierliche stochastische Signale	50
2.3 Mathematische Modelle dynamischer Prozesse für zeitdiskrete Signale	63
2.3.1 Nichtparametrische Modelle, deterministische Signale	64
2.3.2 Parametrische Modelle, deterministische Signale	67
2.4 Modelle für zeitdiskrete stochastische Signale	70
<i>A Identifikation mit nichtparametrischen Modellen – zeitkontinuierliche Signale</i>	
3 Fourier-Analyse mit nichtperiodischen Testsignalen	81
3.1 Grundgleichungen	81
3.2 Fourier-Transformierte nichtperiodischer Testsignale	83

3.2.1 Einfache Impulse	84
3.2.2 Doppelimpulse	88
3.2.3 Sprung- und Rampenfunktion	90
3.3 Numerische Berechnung der Fourier-Transformierten und des Frequenzganges.	93
3.3.1 Diskrete Fourier-Transformation	93
3.3.2 Die schnelle Fourier-Transformation	95
3.3.3 Spezielle numerische Verfahren	96
3.4 Einfluß von Störsignalen	99
3.4.1 Fehler durch den gestörten transienten Verlauf	101
3.4.2 Fehler durch falschen Bezugs- und Endwert	103
3.4.3 Verkleinerung der Fehler durch Wiederholung der Messungen	105
3.4.4 Günstige Testsignale für die Fourier-Analyse	107
3.5 Zusammenfassung	112
4 Frequenzgangmessung mit periodischen Testsignalen	114
4.1 Frequenzgangmessung mit sinusförmigen Testsignalen	115
4.1.1 Direkte Auswertung der registrierten Ein- und Ausgangsschwingungen	115
4.1.2 Auswertung durch Kompensationsgerät	116
4.1.3 Auswertung mittels Abtastgerät.	117
4.2 Frequenzgangmessung mit rechteck- und trapezförmigen Testsignalen	118
4.3 Frequenzgangmessung mit Mehrfrequenz-Testsignalen	121
4.4 Frequenzgangmessung mit Korrelationsverfahren	124
4.4.1 Messung der Korrelationsfunktionen	124
4.4.2 Messung mit orthogonaler Korrelation	126
4.5 Zusammenfassung	134
5 Korrelationsanalyse mit zeitkontinuierlichen stochastischen Testsignalen	136
5.1 Schätzung von Korrelationsfunktionen	137
5.1.1 Kreuzkorrelationsfunktion	137
5.1.2 Autokorrelationsfunktion	140
5.2 Korrelationsanalyse dynamischer Prozesse mit stationären stochastischen Signalen.	142
5.2.1 Bestimmung der Gewichtsfunktion durch Entfaltung	142
5.2.2 Weißes Rauschen als Eingangssignal.	144
5.2.3 Natürliches Rauschen als Testsignal	148
5.3 Korrelationsanalyse dynamischer Prozesse mit binären stochastischen Signalen	149
5.4 Korrelationsanalyse am geschlossenen Regelkreis	158

5.5 Spektralanalyse mit stochastischen Signalen	159
5.6 Zusammenfassung	160
B Identifikation mit nichtparametrischen Modellen – zeitdiskrete Signale	
6 Korrelationsanalyse mit zeitdiskreten Signalen	165
6.1 Schätzung der Korrelationsfunktionen	165
6.1.1 Autokorrelationsfunktionen	165
6.1.2 Kreuzkorrelationsfunktionen	168
6.1.3 Rekursive Korrelation	170
6.2 Korrelationsanalyse linearer dynamischer Prozesse	171
6.2.1 Bestimmung der Gewichtsfunktion durch Entfaltung	171
6.2.2 Einfluß stochastischer Störsignale	173
6.3 Binäre Testsignale	178
6.4 Zusammenfassung	183
C Identifikation mit parametrischen Modellen – zeitdiskrete Signale	
1. Teil: Direkte Parameterschätzmethoden	
7 Methode der kleinsten Quadrate für statische Prozesse	189
7.1 Lineare statische Prozesse	190
7.2 Nichtlineare statische Prozesse	195
7.3 Zusammenfassung	200
8 Methode der kleinsten Quadrate für dynamische Prozesse	202
8.1 Nichtrekursive Methode der kleinsten Quadrate (LS)	202
8.1.1 Grundgleichungen	202
8.1.2 Konvergenz	209
8.1.3 Parameter-Identifizierbarkeit	220
8.1.4 Unbekannte Gleichwerte	227
8.1.5 Numerische Probleme	230
8.2 Rekursive Methode der kleinsten Quadrate	235
8.2.1 Grundgleichungen	235
8.2.2 Rekursive Parameterschätzung für stochastische Signale	246
8.2.3 Unbekannte Gleichwerte	248
8.3 Methode der gewichteten kleinsten Quadrate	249
8.3.1 Markov-Schätzung	249
8.3.2 Rekursive Methode der kleinsten Quadrate mit exponentiell nachlassendem Gedächtnis	251
8.4 Zusammenfassung	254

9	Modifikationen der Methode der kleinsten Quadrate	258
9.1	Methode der verallgemeinerten kleinsten Quadrate	258
9.1.1	Nichtrekursive Methode der verallgemeinerten kleinsten Quadrate (GLS).	258
9.1.2	Rekursive Methode der verallgemeinerten kleinsten Quadrate (RGLS)	260
9.2	Methode der erweiterten kleinsten Quadrate (ELS)	261
9.3	Methode der Biaskorrektur (CLS)	263
9.4	Methode der totalen kleinsten Quadrate (TLS)	264
9.5	Zusammenfassung	265
10	Methode der Hilfsvariablen (Instrumental variables)	267
10.1	Nichtrekursive Methode der Hilfsvariablen (IV)	267
10.2	Rekursive Methode der Hilfsvariablen (RIV)	270
10.3	Zusammenfassung	272
11	Methode der stochastischen Approximation (STA)	273
11.1	Der Robbins–Monro-Algorithmus	273
11.2	Der Kiefer–Wolfowitz-Algorithmus	274
11.3	Zusammenfassung	277
	Anhang	278
A1	Fourier- und Laplace-Transformation	278
A1.1	Fourier-Transformation	278
A1.2	Laplace-Transformation	282
A2	Modellstrukturen durch theoretische Modellbildung	284
A2.1	Theoretische Modellbildung und elementare Modellstruktur	284
A2.2	Beispiel für verschiedene Modellstrukturen	286
A3	Einige Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie	292
A4	Grundbegriffe der Schätztheorie	296
A4.1	Konvergenzbegriffe für stochastische Variable	296
A4.2	Eigenschaften von Parameterschätzverfahren	298
A5	Zur Ableitung von Vektoren und Matrizen	302
A6	Satz zur Matrizeninversion	304
A7	Positiv reelle Übertragungsfunktionen	306
A7.1	Kontinuierliche Signale	306
A7.2	Zeitdiskrete Signale	308
	Literaturverzeichnis	309
	Sachverzeichnis	327