

Inhaltsverzeichnis

I	Grundlagen	1
1	Einführung	3
1.1	Zum Inhalt dieses Buches	3
1.2	Warum statistische Signalmodelle?	4
1.3	Kurzer historischer Überblick	4
1.4	Modellbildung	6
1.5	Vorkenntnisse	9
1.6	Formelzeichen	10
2	Wahrscheinlichkeit – Zufallsvariablen	12
2.1	Wahrscheinlichkeit	12
2.1.1	Wahrscheinlichkeitsraum	12
2.1.1.1	Ergebnismenge	12
2.1.1.2	Ereignisfeld	13
2.1.1.3	Definition der Wahrscheinlichkeit	15
2.2	Zufallsvariablen	18
2.2.1	Definition	18
2.2.2	Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichte	20
2.2.3	Gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung und gemeinsame Wahrscheinlichkeitsdichte	24
2.2.4	Erwartungswert	28
2.2.5	Momente, Korrelation	31
2.2.6	Charakteristische Funktion	37
2.2.7	Schätzwert für eine Zufallsvariable	39
3	Zufallsprozesse	41
3.1	Definition und Beispiele	41
3.2	Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichte	45
3.3	Schar- und Zeitmittelwerte	47
3.4	Stationarität	55
3.5	Ergodizität	58
3.6	Korrelation	63
3.6.1	Komplexe Zufallsprozesse	63
3.6.2	Eigenschaften der Autokorrelationsfunktion	64
3.6.3	Eigenschaften der Kreuzkorrelationsfunktion	67

3.6.4	Messung von Korrelationsfunktionen	68
3.6.5	Anwendungen	71
3.7	Spektrale Leistungsdichte	74
3.7.1	Stationäre Zufallsprozesse	75
3.7.2	Instationäre Zufallsprozesse	81
3.8	Spezielle Zufallsprozesse	83
3.8.1	Gaußprozeß	84
3.8.1.1	Gaußdichte	84
3.8.1.2	Zufallsprozeß	89
3.8.2	Poissonprozeß	90
3.8.3	Markovketten	98
3.8.4	ARMA-Prozesse	107
3.8.5	Bandbegrenzte Zufallsprozesse	111
4	Transformation von Zufallsprozessen durch Systeme	115
4.1	Begriff des Systems	115
4.2	Einige Begriffe aus der Systemtheorie	116
4.3	Zeitinvariante gedächtnisfreie Systeme	120
4.3.1	Transformation der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion	120
4.3.2	Transformation der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	123
4.3.3	Transformation der Momente	128
4.4	Zeitinvariante lineare dynamische Systeme	128
4.4.1	Transformation des linearen Mittelwertes	129
4.4.2	Transformation der Autokorrelationsfunktion	131
4.4.3	Transformation des Leistungsdichtespektrums	136
4.4.4	Anwendungsbeispiele	141
4.4.4.1	Systemidentifikation	141
4.4.4.2	Formfilter	144
4.5	Äquivalente Verstärkung	150
II	Anwendungen	157
5	Optimale Systeme	159
5.1	Optimierungskriterien	159
6	Linearer Prädiktor	167
6.1	Problemstellung und Voraussetzungen	167
6.2	Normal-Gleichung	168
6.3	Prädiktionsfehler	173

6.4	Rekursive Berechnung der Prädiktorkoeffizienten (Durbin-Algorithmus)	177
6.5	Prädiktion um M Schritte	184
7	Signalangepaßtes Filter	187
7.1	Einführung	187
7.2	Problemstellung	188
7.2.1	Maximierung eines Quotienten	190
7.2.2	Minimierung eines mittleren quadratischen Fehlers	201
7.3	Zeitdiskretes Filter	202
7.4	Eigenschaften des Ausgangssignals eines signalangepaßten Filters . .	205
7.5	Fehlerwahrscheinlichkeit bei binärer Entscheidung	210
7.6	Impulse verschiedener Form	218
8	Optimalfilter nach Wiener und Kolmogoroff	222
8.1	Problemstellung	222
8.2	Integralgleichung nach Wiener-Hopf	223
8.3	Nichtkausales Filter	226
8.3.1	Optimaler Frequenzgang	226
8.3.2	Minimaler mittlerer quadratischer Fehler	229
8.4	Kausales Filter	232
8.4.1	Optimaler Frequenzgang	232
8.4.2	Minimaler mittlerer quadratischer Fehler	244
8.5	Optimalfilter für pulsamplitudenmodulierte Signale	247
8.6	Zeitdiskretes Filter	258
9	Kalman-Filter	263
9.1	Zustandsvariablen	263
9.2	Der Filteralgorithmus	272
9.3	Verallgemeinerung der Voraussetzungen	284
9.3.1	System- und Meßrauschen mit von Null verschiedenem Mittelwert .	285
9.3.2	Korreliertes System- und Meßrauschen	286
9.3.3	Farbiges Systemrauschen	287
10	Adaptive Filter	290
10.1	Anwendungsbereiche adaptiver Filter	290
10.2	Allgemeine Voraussetzungen	295
10.3	Verfahren der kleinsten Quadrate	297
10.4	Verfahren mit mittlerem quadratischem Fehler	303
10.5	Analyse des LMS-Algorithmus	308
10.5.1	Mittelwerte der Filterkoeffizienten	308

10.5.2	Konvergenz des Verfahrens	309
10.5.3	Geometrische Betrachtung	316
10.5.4	Einfluß einer Störung	320
10.6	Ein allgemeiner Ansatz	322
10.7	Adaption rekursiver Filter	324
10.7.1	Minimaler mittlerer quadratischer Gleichungsfehler	330
10.7.2	Stabilität	337
10.7.3	Der HARF-Algorithmus	339
	Literaturverzeichnis	342
	Namen- und Sachverzeichnis	349