

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	13
2.1	Wahrscheinlichkeit	13
2.1.1	Wahrscheinlichkeitsraum	13
2.1.1.1	Ergebnismenge	13
2.1.1.2	Ereignisfeld	14
2.1.1.3	Definition der Wahrscheinlichkeit	16
2.2	Zufallsvariablen	19
2.2.1	Definition	19
2.2.2	Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichte	21
2.2.3	Gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung und gemeinsame Wahrscheinlichkeitsdichte	25
2.2.4	Erwartungswert	33
2.2.5	Momente, Korrelation	36
2.2.6	Erzeugende Funktionen	43
2.2.6.1	Momenterzeugende Funktion	43
2.2.6.2	Charakteristische Funktion	44
2.2.6.3	Kumulanterzeugende Funktion	47
2.2.7	Schätzwert für eine Zufallsvariable	49
3	Zufallsprozesse	52
3.1	Definition und Beispiele	52
3.2	Wahrscheinlichkeitsverteilung und Wahrscheinlichkeitsdichte	56
3.3	Schar- und Zeitmittelwerte	58
3.4	Stationarität	65
3.5	Ergodizität	69
3.6	Korrelation	74

3.6.1	Komplexe Zufallsprozesse	74
3.6.2	Eigenschaften der Autokorrelationsfunktion	74
3.6.3	Eigenschaften der Kreuzkorrelationsfunktion	79
3.6.4	Messung von Korrelationsfunktionen	80
3.6.5	Anwendungen	83
3.7	Spektrale Leistungsdichte	85
3.7.1	Stationäre Zufallsprozesse	86
3.7.2	Instationäre Zufallsprozesse	93
3.8	Spezielle Zufallsprozesse	95
3.8.1	Gaußprozeß	96
3.8.1.1	Gaußdichte	96
3.8.1.2	Zufallsprozeß	101
3.8.2	Poissonprozeß	102
3.8.3	Erlangprozeß	109
3.8.4	Markovketten	111
3.8.5	ARMA-Prozesse	119
3.8.6	Bandbegrenzte Zufallsprozesse	123
4	Transformation von Zufallsprozessen durch Systeme	127
4.1	Begriff des Systems	127
4.2	Einige Begriffe aus der Systemtheorie	128
4.3	Zeitinvariante gedächtnisfreie Systeme	132
4.3.1	Transformation der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion	133
4.3.2	Transformation der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	135
4.3.3	Transformation der Momente	141
4.4	Zeitinvariante lineare dynamische Systeme	142
4.4.1	Transformation des linearen Mittelwertes	143
4.4.2	Transformation der Autokorrelationsfunktion	145
4.4.3	Transformation des Leistungsdichtespektrums	150
4.4.4	Anwendungsbeispiele	154
4.4.4.1	Systemidentifikation	155
4.4.4.2	Formfilter	157
4.5	Äquivalente Verstärkung	167
4.6	Momente höherer Ordnung	173
4.6.1	Korrelationsfunktionen und Leistungsdichtespektren höherer Ordnung	175
4.6.2	Kumulantfunktionen und Kumulantspektren	179
4.6.3	Identifizierung linearer Systeme mit Hilfe von Spektren höherer Ordnung	182

Inhaltsverzeichnis	XI
II Anwendungen	189
5 Optimale Systeme	191
5.1 Klassifizierung von Schätzwerten	191
5.2 Optimierungskriterien	192
6 Linearer Prädiktor	201
6.1 Problemstellung und Voraussetzungen	201
6.2 Normal-Gleichung	202
6.3 Prädiktionsfehler	207
6.4 Rekursive Berechnung der Prädiktorkoeffizienten (Durbin-Algorithmus)	210
6.5 Prädiktion um M Schritte	217
6.6 Rekursion des Prädiktionsfehlers	219
7 Signalangepaßtes Filter	222
7.1 Einführung	222
7.2 Problemstellung	223
7.2.1 Maximierung eines Quotienten	224
7.2.2 Minimierung eines mittleren quadratischen Fehlers	236
7.3 Zeitdiskretes Filter	237
7.4 Eigenschaften des Ausgangssignals eines signalangepaßten Filters . .	240
7.5 Fehlerwahrscheinlichkeit bei binärer Entscheidung	246
7.6 Impulse verschiedener Form	251
8 Optimalfilter nach Wiener und Kolmogoroff	255
8.1 Problemstellung	255
8.2 Integralgleichung nach Wiener-Hopf	256
8.3 Nichtkausales Filter	260
8.3.1 Optimaler Frequenzgang	260
8.3.2 Minimaler mittlerer quadratischer Fehler	266
8.4 Kausales Filter	269
8.4.1 Optimaler Frequenzgang	269
8.4.2 Minimaler mittlerer quadratischer Fehler	282
8.5 Optimalfilter für pulsamplitudenmodulierte Signale	286
8.6 Zeitdiskretes Filter	299
8.7 Geräuschreduktion	304
9 Kalman-Filter	311
9.1 Zustandsvariablen	311

9.2	Rekursive Schätzung – ein Beispiel	323
9.3	Der Filteralgorithmus	326
9.4	Verallgemeinerung der Voraussetzungen	339
9.4.1	System- und Meßrauschen mit von Null verschiedenem Mittelwert	340
9.4.2	Korreliertes System- und Meßrauschen	341
9.4.3	Farbiges Systemrauschen	342
10	Adaptive Filter	345
10.1	Anwendungsbereiche adaptiver Filter	345
10.2	Allgemeine Voraussetzungen	350
10.3	Verfahren der kleinsten Quadrate	351
10.4	Verfahren mit mittlerem quadratischem Fehler	358
10.5	Analyse des LMS-Algorithmus	363
10.5.1	Mittelwerte der Filterkoeffizienten	363
10.5.2	Konvergenz des Verfahrens	364
10.5.3	Geometrische Betrachtung	372
10.5.4	Einfluß einer Störung	376
10.6	Verfahren mit affiner Projektion	378
10.6.1	Das Adaptionverfahren	378
10.6.2	Affine Projektion	379
10.7	Kompensation akustischer Echos	384
10.7.1	Aufgabe	384
10.7.2	Adaption des Kompensationsfilters	386
10.7.3	Schrittweitensteuerung	387
10.7.3.1	Optimale Schrittweite	387
10.7.3.2	Schätzung des Restechos	389
10.8	Adaption rekursiver Filter	390
10.8.1	Minimaler mittlerer quadratischer Gleichungsfehler	397
10.8.2	Stabilität	402
10.8.3	Der HARF-Algorithmus	405
11	Schätzung von Signalparametern	408
11.1	Schätzung zufälliger Parameter	409
11.1.1	Fehlerfunktion	409
11.1.2	Schätzwert nach Bayes	411
11.1.2.1	Quadratische Fehlerfunktion	413
11.1.2.2	Betrag als Fehlerfunktion	414
11.1.2.3	Einheitliche Fehlerbewertung	415

11.1.3	Invarianz von Schätzwerten	420
11.1.3.1	1. Fall	420
11.1.3.2	2. Fall	423
11.1.4	Eine untere Grenze für die Varianz des Schätzfehlers	430
11.2	Schätzung determinierter Parameter	433
11.2.1	Maximum-Likelihood-Schätzwert	433
11.2.2	Cramér-Rao-Schranke	434
12	Entscheidungsverfahren	444
12.1	Binäre Entscheidung	444
12.1.1	Bayessche Entscheidung	445
12.1.1.1	Minimierung der Fehlerwahrscheinlichkeit	455
12.1.2	Minimax-Test	459
12.1.3	Neyman-Pearson-Test	465
12.1.4	Empfänger-Charakteristik	469
12.2	Mehrwertige Entscheidungen	481
12.3	Entscheidung mit Zurückweisung	490
12.4	Sequenzentscheidung (Viterbi-Algorithmus)	492
	Literaturverzeichnis	501
	Namen- und Sachverzeichnis	509