
Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeine Theorie der Prozesse	13
1.1.	Grundbegriffe	13
1.1.1.	Einführung	13
1.1.2.	Objekt, Struktur und Verhalten	16
1.1.3.	Phasenrelation	19
1.1.4.	Signal- (Phasen-) Relation	23
1.2.	Prozeßklassen	25
1.2.1.	Determinierte Prozesse	25
1.2.2.	Prozesse mit endlicher Nachwirkung	26
1.2.3.	Reversible Prozesse	28
1.3.	Vektor-Prozesse	29
1.3.1.	Multivariable Prozesse	29
1.3.2.	Systeme	30
1.4.	Markow-Prozesse	32
1.4.1.	Phasenrelation	32
1.4.2.	Übergangsoperator	33
1.4.3.	Signalrelation	34
1.4.4.	Zeitinvariante Markow-Prozesse	36
1.4.5.	Determinierte Markow-Prozesse	37
1.4.6.	Markow-Systeme	39
1.5.	Modelle	41
1.5.1.	Zustandsdarstellung	41
1.5.2.	Prozeßmodelle	43
1.5.3.	Systemmodelle	45
1.5.4.	Spezielle Modelle	46
2.	Stochastische Signale	48
2.1.	Grundbegriffe und Klassifikation	48
2.1.1.	Arten von Signalen	48
2.1.2.	Signalraum mit Wahrscheinlichkeitsmaß	49

2.1.3. Vollständige stochastische Signalbeschreibung	49
2.1.4. Charakteristisches Funktional	50
2.1.5. Momentenfunktionen eines stochastischen Signales	51
2.1.6. Signalklassifikation nach stochastischen Charakteristiken	52
2.1.7. Stationarität	52
2.1.8. Ergodizität	53
2.1.9. Starke Mischung	54
2.1.10. Quasideterminierte Signale	55
2.1.11. Orthogonale Zerlegung eines stochastischen Signales	56
2.1.12. Abtaasttheorem	57
2.1.13. Signale mit unabhängigen Werten	58
2.1.14. Durch zweidimensionale Verteilungen vollständig beschriebene Signale	59
2.1.15. Gaußsche Signale	60
2.1.16. Zentraler Grenzwertsatz	61
 2.2. Signale mit unabhängigen Inkrementen	61
2.2.1. Charakteristische Funktion	61
2.2.2. Signale mit Sprüngen zu festen Zeitpunkten	63
2.2.3. Poissonsche Signale	63
2.2.4. Gauß-Signale mit unabhängigen Inkrementen	65
2.2.5. Lévy-Theorem	66
2.2.6. Homogene Signale mit unabhängigen Inkrementen	66
2.2.7. Homogene Poisson-Signale	67
2.2.8. Verallgemeinerte homogene Poisson-Signale	68
2.2.9. Wiener-Prozeß	69
2.2.10. Weißes Rauschen	71
 2.3. Markow-Signale	72
2.3.1. Stochastische Kenngrößen	72
2.3.2. Digitale Markow-Signale (Markow-Ketten)	73
2.3.3. Markow-Signale höherer Ordnung	74
2.3.4. Vektorielle Markow-Signale	74
2.3.5. Gaußsche Markow-Signale	74
2.3.6. Zeitdiskrete Gauß-Markow-Signale	76
2.3.7. Diffusionsprozesse	77
2.3.8. Gaußscher Diffusionsprozeß	78
2.3.9. Wiener-Prozeß als Diffusionsprozeß	78
2.3.10. Vektorielle Diffusionsprozesse	79
2.3.11. Sprungförmige Markow-Prozesse	80
2.3.12. Stückweise stetige Markow-Prozesse	81
 2.4. Dualität der Beschreibung stochastischer Signale	81
2.4.1. Direkte und indirekte Beschreibung	81
2.4.2. Signalanlage und -synthese	82
2.4.3. Signalformierende Systeme	82
2.4.4. Durch stochastische Differentialgleichungen definierte Signale	83
2.4.5. Nichtgaußsche Diffusionsprozesse	84

3.	Stochastische Systeme	86
3.1.	Determinierte Systeme	86
3.1.1.	Statische Systeme	86
3.1.2.	Zustandsmodell zeitdiskreter dynamischer Systeme	88
3.1.3.	Zustandsmodell zeitkontinuierlicher dynamischer Systeme	89
3.1.4.	Lineare Systeme mit verteilten Parametern	90
3.1.5.	Input-Output-Modell dynamischer Systeme	93
3.1.6.	Explizites Input-Output-Modell linearer dynamischer Systeme	94
3.1.7.	Input-Output-Modell eines typischen nichtlinearen Systems	95
3.1.8.	Implizites Input-Output-Modell linearer dynamischer Systeme	96
3.1.9.	Signal-System-Dualismus	97
3.2.	Statische stochastische Systeme	98
3.2.1.	Determinierte und stochastische Systemmodelle	98
3.2.2.	Direkte Beschreibung statischer stochastischer Systeme	99
3.2.3.	Indirekte Beschreibung statischer stochastischer Systeme	100
3.2.4.	Input-Output-Beziehung für mehrdimensionale Dichtefunktionen	102
3.2.5.	Korrelationsfunktion am Systemausgang	103
3.2.6.	Beziehungen zwischen direkter und indirekter Beschreibung bei diskreten statischen Systemen	104
3.2.7.	Beziehungen zwischen direkter und indirekter Beschreibung bei kontinuierlichen statischen Systemen	106
3.3.	Dynamische stochastische Systeme	109
3.3.1.	Direkte Beschreibung dynamischer Systeme	109
3.3.2.	Stochastische Automaten	111
3.3.3.	Indirekte Beschreibung dynamischer zeitdiskreter Systeme	112
3.3.4.	Eindimensionale Zustandsverteilung	114
3.3.5.	Beispiel	116
3.3.6.	Zeitdiskrete stochastische Systeme mit kontinuierlichen Wertmengen	120
3.3.7.	Dynamische stochastische Systeme und Markow-Prozesse	123
3.3.8.	Lineare zeitdiskrete stochastische Systeme	125
3.3.9.	Lineare Systeme mit endlicher Impulsantwort	126
3.3.10.	Stochastische Charakteristiken des Ausgangssignals	127
3.3.11.	Analyse linearer stochastischer Systeme mittels z-Transformation	128
3.3.12.	Beispiel	130
3.3.13.	Weißes Rauschen mit abhängigen Signalwerten	135
3.4.	Dynamische zeitkontinuierliche stochastische Systeme	137
3.4.1.	Grundmodelle	137
3.4.2.	Dynamisches System mit Poissonschem Eingangssignal	139
3.4.3.	System mit zwei Zuständen (direkte Beschreibung)	141
3.4.4.	System mit zwei Zuständen (indirekte Beschreibung)	142
3.4.5.	Analoge dynamische stochastische Systeme (direkte Beschreibung)	144
3.4.6.	Analoge dynamische stochastische Systeme (indirekte Beschreibung)	145
3.4.7.	Beziehung zwischen direkter und indirekter Beschreibung eines analogen Systemes	146

3.4.8. Beispiel eines linearen analogen stochastischen Systemes	147
3.4.9. Mittelwert und Korrelationsfunktion am Ausgang eines linearen Systems	148
3.4.10. Beispiel	151
4. Lineare stochastische Signale und Systeme	154
4.1. Lineare stochastische Signale	154
4.1.1. Definition	154
4.1.2. Charakteristische Funktionale	155
4.1.3. Wahrscheinlichkeitsdichte	158
4.1.4. Kumulanten	159
4.1.5. Lineare Signale und Markow-Signale	161
4.1.6. Lineare stochastische Signale und lineare Systeme	162
4.1.7. Lineares Signal mit Cauchy-Verteilung	164
4.2. Analyse und Synthese linearer Signale	166
4.2.1. Analyse linearer Signale und Systeme	166
4.2.2. Verteilungsdichte am Ausgang eines linearen Systems	167
4.2.3. Gram-Charlier- und Edgeworth-Reihen	168
4.2.4. Entwicklung nach Laguerreschen Polynomen	169
4.2.5. Pearsonsches Kurvensystem	171
4.2.6. Synthese linearer Signale mit vorgeschriebener Korrelationsfunktion und Verteilungsdichte	174
4.2.7. Zeitkontinuierliches Formfilter	175
4.2.8. Zeitdiskretes Formfilter	177
4.2.9. Schlußbetrachtung	178
4.3. Ein nichtlineares signalformendes System	179
4.3.1. Grundstruktur und Problemstellung	179
4.3.2. Analyse der Grundstruktur	179
4.3.3. Analysebeispiel	181
4.3.4. Erzeugung von stochastischen Signalen mit vorgegebener Verteilungsdichte und Korrelationsfunktion	182
5. Methoden der statistischen Synthese und Analyse in Übertragungssystemen	185
5.1. Grundproblem und Lösungsprinzipien	185
5.1.1. Problemformulierung in der Terminologie der statistischen Entscheidungstheorie	185
5.1.2. Signalerkennung im Rauschen	185
5.1.3. Schätzung von Signalparametern	186
5.1.4. Filterung, Interpolation und Extrapolation von Signalen im Rauschen	187
5.1.5. A-priori-Daten	187
5.1.6. Beobachtungsraum	187
5.1.7. Wahrscheinlichkeitsmaß	188
5.1.8. Entscheidungsraum und Gesamtheit von Entscheidungsregeln	188
5.1.9. Verlustfunktion	189
5.1.10. Qualitätskriterium	190

5.1.11. Klassifikation von Entscheidungsalgorithmen	191
5.1.12. Synthese optimaler Algorithmen	192
5.1.13. Analyse der Arbeitscharakteristiken des Algorithmus	192
5.1.14. Grundstruktur der Problemlösung	193
5.1.15. Das Problem der A-priori-Unbestimmtheit	193
5.2. Algorithmen zur Signalerkennung im Rauschen	194
5.2.1. A-priori-Daten	194
5.2.2. Synthese des Bayesschen Algorithmus zur Signaltrennung	195
5.2.3. Optimaler Algorithmus zur Signaltrennung nach dem Kriterium der maximalen A-posteriori-Wahrscheinlichkeit	196
5.2.4. Hinreichende Statistiken	196
5.3. Methoden zur Überwindung der A-priori-Unbestimmtheit	198
5.3.1. Klassifikation der Methoden	198
5.3.2. Qualitätskriterium der Signalentdeckung bei parametrischer A-priori-Unbestimmtheit	198
5.3.3. Exponentielle Klasse parametrischer A-priori-Unbestimmtheit	199
5.3.4. Qualitätskriterium für Algorithmen zur Signalentdeckung bei nichtparametrischer A-priori-Unbestimmtheit	199
5.3.5. Nichtparametrische Algorithmen zur Signalentdeckung	200
5.3.6. Modifizierte nichtparametrische Algorithmen zur Signalentdeckung	201
5.3.7. Vorzeichenalgorithmen	202
5.3.8. Rang-Algorithmen	203
5.3.9. Robuste Algorithmen	204
5.3.10. Adaptive Algorithmen	206
5.4. Asymptotisch optimale Algorithmen zur Signalentdeckung	206
5.4.1. Asymptotisches Optimalitätskriterium	206
5.4.2. Asymptotisch optimaler zeitdiskreter Algorithmus (unabhängige Stichprobe)	207
5.4.3. Asymptotisch optimaler zeitdiskreter Algorithmus (additive Markowsche Störung)	209
5.4.4. Asymptotisch optimale Algorithmen auf der Basis unabhängiger Gruppen korrelierter Stichprobenwerte	210
5.4.5. Asymptotisch optimaler digitaler Algorithmus	211
5.4.6. Allgemeine Anforderungen an Algorithmen zur Signalentdeckung	212
6. Stochastische Steuerung von Systemen	213
6.1. Grundmodelle und Methoden	213
6.1.1. Typische Aufgaben der Steuerung	213
6.1.2. Beispiel für eine determinierte Steuerung	215
6.1.3. Optimaler linearer Regler (deterministischer Entwurf)	217
6.1.4. Stochastischer Entwurf (indirekte Beschreibung)	218
6.1.5. Stochastischer Entwurf (direkte Beschreibung)	220
6.2. Optimale Filterung	221
6.2.1. Problemstellung	221
6.2.2. Orthogonalitätsprinzip und Wiener-Hopf-Gleichung	223

6.2.3. Wiener-Filter	225
6.2.4. Beispiel	227
6.2.5. Kalman-Filter (direkte Beschreibung)	228
6.2.6. Kalman-Filter (indirekte Beschreibung)	230
6.2.7. Kalman-Filter bei stationären Signalen	232
7. Literaturverzeichnis	234
8. Symbolverzeichnis	241
9. Sachwortverzeichnis	243