

Kalman-Bücy-Filter

Deterministische Beobachtung
und stochastische Filterung

von
Dr.-Ing. Karl Brammer
ESG München
und
Dr.-Ing. Gerhard Siffing
Universität Karlsruhe

4., verbesserte Auflage

Mit 22 Bildern und 3 Tabellen

R. Oldenbourg Verlag München Wien 1994

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1. Die Beobachtung des Zustandsvektors	11
1.1 Einleitung	11
1.2 Die Beobachtungsaufgabe	13
1.3 Beobachtbarkeit und Beobachtung in kontinuierlicher Zeit	24
1.4 Das Dualitätsprinzip	36
1.5 Steuerbarkeit in kontinuierlicher Zeit	38
1.6 Beobachtung in diskreter Zeit	43
1.7 Literatur	57
1.7.1 Zitierte Stellen	57
1.7.2 Zusätzliche Bibliographie	59
2. Lineare optimale Filterung	60
2.1 Entstehung der Filtertheorie	60
2.2 Das Verfahren der minimalen Varianz	63
2.3 Das Kaimansche Optimalfilter (diskrete Zeit)	75
2.3.1 Aufgabenstellung	75
2.3.2 Rekursive Gauß-Markoffsche Schätzung	77
2.3.3 Rekursive Schätzung mit minimaler Varianz	83
2.3.4 Bestimmung von $Q^*(k)$	93
2.3.5 Nicht-zentrierte Anfangswerte und bekannte Eingangsgrößen beim beobachteten System	99
2.3.6 Vorhersage (Extrapolation, Prädiktion)	104
2.3.7 Zusammenfassung und Schlußbemerkungen	108
2.4 Das Kalman-Bucy-Filter (kontinuierliche Zeit)	112
2.4.1 Aufgabenstellung	113
2.4.2 Die Matrix-Wiener-Hopf-Gleichung	115
2.4.3 Die Lösung für reine Filterung ($T = t$)	119
2.4.4 Nicht-zentrierte Anfangswerte und meßbare Eingangsgrößen	129
2.4.5 Vorhersage ($T > t$)	131
2.4.6 Schlußbemerkungen	132
2.5 Literatur	133
2.5.1 Zitierte Stellen	133
2.5.2 Zusätzliche Bibliographie	136
3. Praktische Probleme bei der Filtersynthese	137
3.1 Deterministische Regelung mit Rückführung des Zustandsvektors	137

3.2	Beobachter im Regelkreis und algebraische Separation	142
3.3	Filter im Regelkreis und stochastische Separation	145
3.4	Bemerkungen zur Matrix-Riccati-Differentialgleichung	152
3.5	Stationäre Verhältnisse und Wiener-Filter	158
3.6	Formfilter für vektorielle Markoffsche Prozesse	169
3.7	Reduktion der Ordnung des Filters	172
3.8	Ausblick auf den Hörschen Kalkül und die nichtlineare Filterung.	182
	3.8.1 Der Brownsche Prozeß	182
	3.8.2 Stochastische Integration	184
	3.8.3 Stochastische Differentialgleichungen	185
	3.8.4 Stochastische Differentiale entlang einer Lösungskurve	187
	3.8.5 Die Fokker-Planck-Gleichung	190
	3.8.6 Das nichtlineare Filterproblem und die Kushner- Stratonovitch-Gleichung	190
3.9	Literatur	194
	3.9.1 Zitierte Stellen	194
	3.9.2 Zusätzliche Bibliographie	196
Anhang — Einige Grundelemente der Matrizenrechnung		197
A.1	Die Begriffe Vektor und Matrix	197
A.2	Die Gruppenoperation	200
A.3	Die Matrizenmultiplikation	201
A.4	Lineare Gleichungssysteme und die Kehrmatrix	205
	A.4.1 Zur Auflösung einfacher Gleichungssysteme	205
	A.4.2 Die Kehrmatrix oder (multiplikative) Inverse	207
	A.4.3 Mehrfache Gleichungssysteme, Matrizendivision, Rechenaufwand	208
A.5	Eigenwertprobleme	210
	A.5.1 Die charakteristische Gleichung	211
	A.5.2 Das Cayley-Hamilton-Theorem	212
	A.5.3 Der Algorithmus von Souriau-Fadeeva	214
	A.5.4 Die Modalmatrix	214
A.6	Quadratische Formen	217
A.7	Vektor-Normen	219
A.8	Integration und Differentiation bezüglich Skalaren	220
A.9	Differentiation bezüglich Vektoren	222
	A.9.1 Der Gradient	222
	A.9.2 Die Hessesche Matrix	223
	A.9.3 Die Jacobische Matrix	224
A.10	Literatur	225
Sachwortverzeichnis		226

