

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation .....	2
1.2	Zielsetzung .....	3
1.3	Gliederung und Aufbau der Arbeit.....	4
2	Mechatronik.....	5
2.1	Anbindung an die Konstruktionstechnik .....	6
2.2	Rechnerabbildung mechatronischer Systeme.....	7
2.3	Hardware-in-the-Loop-Simulation .....	10
2.4	Laufzeitplattform IPANEMA.....	11
3	Strukturierung mechatronischer Systeme .....	12
3.1	Modular-Hierarchische Strukturierung.....	12
3.2	Operator-Controller-Modul .....	14
3.3	Erweitertes Streckenmodell.....	15
3.3.1	Anregungsmodell.....	15
3.3.2	Bewertungsmodell.....	16
3.4	Verallgemeinerte Kaskade.....	17
4	Grundlagen der Mehrziel-Parameter-Optimierung.....	19
4.1	Problemdefinition .....	19
4.2	Pareto-Optimalität .....	20
4.3	Karush-Kuhn-Tucker-Bedingung .....	20
4.4	Klassifizierung von Optimierungsaufgaben.....	21
4.5	Numerische Lösungsverfahren zur Minimierung von skalaren Funktionalen .....	22
4.6	Lösungsverfahren für Mehrziel-Optimierung .....	23
4.6.1	Gewichtete Summe.....	23
4.6.2	Gewichtungsverfahren mit Lp-Metrik.....	23
4.6.3	'Epsilon-constraint'-Methode.....	24
4.6.4	Multilevel Programming.....	24
4.6.5	Normal-Boundary Intersection .....	24
4.6.6	Gütevektroptimierung.....	25
4.6.7	Homotopie-Verfahren .....	26
4.6.8	Stochastische Verfahren.....	26
4.6.9	Heuristische Verfahren.....	27
4.7	MLaP-Optimierungsverfahren MOPO .....	27
4.7.1	Eigenschaften von Zielfunktionen.....	28
4.7.2	Skalierung.....	28
4.7.3	Erfüllungsgrad von Zielgrößen.....	29
4.7.4	Begrenzung von Parametern.....	29
4.8	MOPO-Gradientenverfahren .....	30
4.8.1	Numerische Gradientenberechnung.....	31
4.8.2	Lokales Problem .....	31
4.8.3	Globales Problem.....	33
4.8.4	Aktive und passive Zielgrößen.....	34
4.9	MOPO Quasi-Newton-Verfahren .....	34
4.9.1	Quadratisches Ersatzproblem .....	35
4.9.2	Definition des Optimierungsziels .....	37
4.9.3	Aktive und passive Zielgrößen für das Quasi-Newton-Verfahren.....	37
4.9.4	Lösen des quadratischen Ersatzproblems .....	38
4.9.5	Konjugiertes Gradientenverfahren.....	39
4.9.6	Zusammenfassung .....	39

<b>5</b>	<b>Verteilte Echtzeitsimulation</b> .....	<b>41</b>
5.1	Differentialgleichungen zur Regler- und Modellbeschreibung.....	41
5.1.1	Echtzeitfähige Verfahren zur numerischen Simulation.....	41
5.1.2	Datenflussgraph zur Nichtlinearen Simulation.....	43
5.1.3	Verteilte Nichtlineare Simulation.....	44
5.2	Laufzeitplattform zur modularen Echtzeit-Simulation.....	46
5.2.1	Verwendete Laufzeitplattform IPANEMA.....	46
5.2.2	Abbildung der IPANEMA-Objekte auf Multitasking.....	47
5.2.3	Scheduling.....	49
5.2.4	IPANEMA-Task-Matrix.....	50
5.3	Parallelverarbeitung auf AMS-/MFM-Ebene.....	52
5.3.1	Parallelisierung von Systemmodellen zur schnellen Simulation.....	52
5.3.2	Analyse von Systemmodellen und Lastverteilung.....	53
5.3.3	Zusammenfassung.....	57
<b>6</b>	<b>Konzept zur verteilten Online-Mehrziel-Optimierung</b> .....	<b>59</b>
6.1	Einleitung.....	59
6.2	Modularität.....	59
6.3	Hierarchie.....	61
6.3.1	Besonderheiten auf VMS1-Ebene.....	62
6.4	Parallelität.....	63
6.4.1	Optimierungsebene.....	63
6.4.2	VMS1-Ebene.....	64
6.5	Echtzeitverarbeitung.....	65
6.5.1	Klassen von Echtzeit-Tasks.....	65
6.5.2	Echtzeitfähigkeit für die Mehrziel-Optimierung.....	66
6.5.3	Laufzeitverhalten des MOPO-Gradientenverfahrens.....	67
6.5.4	Prinzip der Vorausschau.....	70
6.5.5	Verschiedene Taktraten.....	71
6.6	Parallelisierung des MOPO-Verfahrens.....	71
6.6.1	Performance Kriterien.....	72
6.6.2	MOPO-Gradientenverfahren.....	72
6.6.3	MOPO-Quasi-Newton-Verfahren.....	75
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	<b>77</b>
7.1	Kriterien zur Auswahl der Anwendungsbeispiele.....	77
7.2	Regleroptimierung der aktiven Federung an einem Einspurmodell.....	78
7.2.1	Fahrzeugmodell.....	78
7.2.2	Softwarearchitektur.....	80
7.2.3	Optimierungsexperiment.....	82
7.2.4	Optimierungsergebnis.....	85
7.3	Online-Nachoptimierung von Reglerparametern am HIL-Prüfstand.....	88
7.3.1	Operator-Controller-Modul auf MFM-Ebene.....	89
7.3.2	Implementierung.....	91
7.3.3	Parameter und Zielgrößen.....	92
7.3.4	Optimierungsexperiment.....	93
7.3.5	Zusammenfassung.....	95
7.4	Selbstorganisierendes Kreuzungsmanagement.....	97
7.4.1	Neues Kreuzungsmanagement.....	98
7.4.2	Einteilung der Kreuzung in Zonen.....	99
7.4.3	Algorithmus zur Vorfahrtsbestimmung.....	100
7.4.4	Fahrzeugmodelle und Umgebungsmodelle.....	107
7.4.5	Lineares Einspurmodell für die Vorausschau.....	108
7.4.6	Simulator für die VMS0-Ebene.....	112
7.4.7	Evaluator für die Handlungszone.....	113
7.4.8	Fahrzeugprioritäten bei der Vorfahrtsreihenfolge.....	115

	7.4.9	Parallelverarbeitung für die Bewertung der Handlungszone.....	117
	7.4.10	Modellbasierte Online-Optimierung auf VMS1-Ebene.....	119
	7.4.11	Optimierungsergebnisse .....	120
	7.4.12	Zusammenfassung.....	122
8		Zusammenfassung und Ausblick.....	125
9		Anhang A: Grundlagen zur Systembewertung .....	127
	9.1	Wichtige Analyseverfahren für lineare Systeme .....	127
	9.2	Wichtige Analyseverfahren für nichtlineare Systeme .....	130
	9.3	Berechnung von Fehlerflächen.....	131
10		Anhang B: Verwendung von Scilab.....	131
	10.1	Bewertung von Eigenwertlagen .....	131
	10.2	Berechnung von Varianzen.....	134
	10.3	Lineare Simulation (Einspurmodell).....	135
11		Literaturverzeichnis .....	139