

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	v
Bezeichnungen	viii
Einleitung	1
1 Das Problem der optimalen Steuerung	4
1.1 Das Optimalsteuerungsproblem (P)	4
1.2 Die verallgemeinerte Problemstellung (AP)	5
2 Numerische Methoden (Überblick)	7
2.1 Indirekte Verfahren	8
2.2 Direkte Verfahren	9
2.3 Weitere Verfahren	10
3 Diskretisierungen	11
3.1 Stückweise lineare Zustands- und stückweise konstante Steuervariablen (DP1) .	12
3.2 Stückweise kubische Zustands- und stückweise lineare Steuervariablen (DP2) . .	15
3.3 Diskretisierung mit Berücksichtigung der Schaltstruktur	19
3.4 Diskretisierungen in der Literatur	21
4 Konvergenzeigenschaften	22
4.1 Notwendige Bedingungen für das Optimalsteuerungsproblem (P)	22
4.2 Notwendige Bedingungen für endlich-dimensionale Optimierungsprobleme	26
4.3 Punktweise Konvergenzeigenschaften von (DP1)	28
4.4 Punktweise Konvergenzeigenschaften von (DP2)	32
5 Berechnung von Näherungswerten für die adjungierten Variablen	39
5.1 Prinzip	39
5.2 Zustandsbeschränkungen	39
5.3 Beispiele mit zustandsbeschränkten Randstücken	42

5.3.1	Zustandsbeschränkung zweiter Ordnung (Bryson, Denham, Dreyfus) . . .	42
5.3.2	Brachistochrone mit Wegbeschränkung erster Ordnung	45
5.3.3	Zeitoptimale Robotersteuerung mit Beschränkung erster Ordnung	47
5.4	Abschätzung des Optimalitätsfehlers	50
5.5	Die Schätzung von adjungierten Variablen in der Literatur	51
6	Zur Wahl der Gitterpunkte	52
6.1	Überblick	52
6.2	Bewegliche Gitteranpassung zur Minimierung des Kollokationsfehlers	53
6.2.1	Abschätzung des Kollokationsfehlers	53
6.2.2	Minimierung des Kollokationsfehlers	55
6.3	Bewegliche Gitteranpassung zur Gleichverteilung der Variation	60
6.4	Beispiel: Optimale Bahnverfolgung für einen zweiachsigen Modellroboter	61
6.5	Anpassung der Gitterpunkte in der Literatur	64
6.5.1	Statische Gitteranpassung bei Kollokationsverfahren	64
6.5.2	Bewegliche Gitteranpassung	64
7	Implementierung	66
7.1	Angepaßte Problemformulierung	66
7.1.1	Nichtautonome Probleme	66
7.1.2	Unterscheidung expliziter Rand- und Schaltbedingungen	66
7.1.3	Unterscheidung zwischen einfachen Schranken und nichtlinearen Beschrän- kungen	67
7.1.4	Hinzunahme unterer und oberer Schranken	67
7.1.5	Skalierungen	68
7.2	Gradientenberechnung	71
7.3	SQP-Verfahren	72
7.3.1	Prinzip	72
7.3.2	Einige praktische Details	74
7.3.3	(Weitere) Besonderheiten von NPSOL	76
7.4	Ablaufschema	77

8 Probleme aus den Anwendungen	79
8.1 Überblick	79
8.2 Optimale Steuerung einer Boeing 727 beim Auftreten von Fallwinden	81
8.3 Reichweitenmaximaler Flug eines Hängegleiters bei Aufwind	87
8.4 Optimale Steuerung des Industrieroboters Manutec r3	92
8.4.1 Zeit- und energieminimale Punkt-zu-Punkt-Bahnen	95
8.4.2 Berechnung durch Kombination von direkter Kollokations- und Mehrziel- methode	97
8.4.3 Berücksichtigung der Schaltstruktur in der Diskretisierung	107
8.4.4 Implementierung energieminimaler Bahnen – Meßergebnisse	110
8.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse bei der Bahnoptimierung des Manutec r3114	
8.5 Roboterbahnoptimierung: Vergleich mit Verfahren aus der Literatur	115
8.5.1 Zeitminimale Steuerung eines zweiachsigen Roboters	115
8.5.2 Zeitminimale Steuerung des Manutec r3 in drei Freiheitsgraden	117
8.5.3 Zeitminimale Steuerung des Manutec r3 in sechs Freiheitsgraden	120
8.6 Entwurfsoptimierung hochfrequenter Oszillatoren	132
8.7 Weitere Anwendungen	138
9 Zusammenfassung	139
Literaturverzeichnis	140