

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Inhaltsverzeichnis	VII
Symbolverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele	3
1.3 Beiträge	4
1.4 Gliederung	6
2 Stand der Forschung	7
2.1 Autonome Fahrzeuge und Fahrerassistenzsysteme	7
2.1.1 Verhaltensentscheidung für autonome Fahrzeuge	8
2.1.2 Fahrerassistenzfunktionen	8
2.1.3 Wissensrepräsentation	9
2.1.4 Situationserkennung	10
2.1.5 Prädiktion	11
2.2 Kooperation von Fahrzeugen oder Robotern	12
2.2.1 Kommunikationsbasierte Warnsysteme	12
2.2.2 Kooperative Wahrnehmung	13
2.2.3 Kooperative Fahrmanöver	14
2.2.4 Infrastrukturbasierte Verkehrsflussoptimierung	15
2.2.5 Kooperationsmechanismen aus der Robotik	15

2.2.6	Gruppenbildung	17
2.3	Bahn- und Bewegungsplanung	18
2.3.1	Komplexität des Bewegungsplanungsproblems	18
2.3.2	Bahnplanungsalgorithmen aus der Robotik	19
2.3.3	Bahn- und Bewegungsplanung für Einzelfahrzeuge	21
2.3.4	Entkoppelte Bewegungsplanung für mehrere Roboter	22
2.3.5	Kooperative Bewegungsplanung für mehrere Roboter	25
2.3.6	Koordination in Roadmaps	27
2.3.7	Bewegungskoordination als Ressourcenbelegungsproblem	28
2.4	Zusammenfassung	28
3	Kooperation kognitiver Automobile	31
3.1	Begriffsbildung	31
3.1.1	Kognitive Automobile	31
3.1.2	Kooperation und Koordination	32
3.2	Konzept und Systemarchitektur der verteilten Kooperation	34
3.2.1	Realisierung mit Hilfe des Gruppenkoordinators	36
3.2.2	Optimalitätskriterien	37
3.3	Wissensrepräsentation im gemeinsamen Lagebild	38
3.3.1	Verkehrsteilnehmer	38
3.3.2	Infrastruktur	40
3.3.3	Relationen	42
3.3.4	Ontologiemodellierung	43
3.4	Erkennung von Situationsklassen	44
3.5	Erkennung von Gefahrensituationen	46
3.5.1	Prädiktion der Fahrzeugpositionen	46
3.5.2	Situationsbewertung	47
3.5.3	Bestimmung der beteiligten Fahrzeuge	47
3.6	Zusammenfassung	48

4	Bildung kooperativer Gruppen	49
4.1	Konzept der kooperativen Gruppe	49
4.2	Abstandsmaß	50
4.2.1	Anforderungen	50
4.2.2	Straßengraph	51
4.2.3	Definition des Abstandsbegriffs	54
4.2.4	Eigenschaften des Abstandsmaßes	55
4.2.5	Algorithmische Berechnung	56
4.3	Bewertungsfunktion	57
4.4	Berechnung der optimalen Partition	60
4.4.1	Nachbarschaftsbedingung	61
4.4.2	Komplexität der Partitionierung	62
4.4.3	Approximative Partitionierung	62
4.5	Verhandlungsprotokoll	63
4.5.1	Auswahl des Gruppenkoordinators	67
4.5.2	Kommunikationsaufwand	67
4.6	Zusammenfassung	68
5	Bewegungsplanung für kooperierende Fahrzeuge	69
5.1	Formulierung des Bewegungsplanungsproblems	70
5.2	Mögliche Lösungsansätze	73
5.3	Baumsuche mit Vorberechnungen	75
5.3.1	Entscheidungstheoretische Formulierung	75
5.3.2	Modellierung	76
5.3.3	Konstruktion des Baums	90
5.3.4	Wiederverwendung von Zwischenergebnissen	94
5.3.5	Vorberechnung von Schranken	97
5.3.6	Suchstrategien	101
5.3.7	Analyse der Vollständigkeit	104
5.4	Gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung	106

5.4.1	Fahrzeugmodell	107
5.4.2	Kollisionsvermeidung	109
5.4.3	Modellierung der Straßenfläche	113
5.4.4	Erreichbarkeitsbetrachtungen	115
5.5	Elastische Bänder	118
5.5.1	Notation	119
5.5.2	Modellierung der Kräfte	119
5.5.3	Berechnung des Kräftegleichgewichts	126
5.6	Nachverarbeitung der kooperativen Bewegungspläne	129
5.6.1	Interpolation	129
5.6.2	Korrektheitsprüfung	130
5.6.3	Berechnung der Toleranz	131
5.7	Zusammenfassung	132

6 Ergebnisse 135

6.1	Simulationssystem	135
6.2	Kooperative Gruppen	137
6.2.1	Beispielszenarien	137
6.2.2	Vergleichskriterium	138
6.2.3	Parameteroptimierung	140
6.2.4	Partitionierungsalgorithmus	141
6.2.5	Verhandlungsprotokoll	141
6.2.6	Auswertung von simulierten Unfällen	142
6.3	Experimentelle Analyse des Baumsuchverfahrens	144
6.3.1	Einfluss der Vorberechnung und Zwischenspeicherung	145
6.3.2	Einfluss der Handlungsmenge und des Verlustfunktionalis	145
6.3.3	Einschränkung auf das Problem der Kollisionsvermeidung	147
6.3.4	Beschleunigung durch Verzicht auf Optimalität	148
6.3.5	Vergleich von Branch-and-Bound- und A*-Suche	149
6.4	Vergleich der Algorithmen zur Bewegungsplanung	151

6.4.1	Parametrierung der Algorithmen	151
6.4.2	Simulationsszenarien	157
6.4.3	Auswertung des Planungserfolgs	161
6.4.4	Auswertung des Rechenaufwands	168
6.4.5	Vergleichende Bewertung	172
6.5	Varianten und Erweiterungen der Bewegungsplanung	177
6.5.1	Heterogene Fahrzeugtypen	177
6.5.2	Gemischter Verkehr	177
6.5.3	Planung bis zum Stillstand	178
6.5.4	Iterierte Planung und Ausführung	179
6.5.5	Minimierung der Kollisionsschwere	180
6.6	Gesamtsystem der verteilten Kooperation	183
6.7	Zusammenfassung	187
7	Zusammenfassung und Ausblick	189
7.1	Zusammenfassung der Beiträge und Ergebnisse	189
7.2	Ausblick	190
A	Algorithmen	193
A.1	Abstandsberechnung für die Gruppenbildung	193
A.2	Partitionierung in kooperative Gruppen	196
A.3	Baumsuchalgorithmus zur Bewegungsplanung	197
A.3.1	Datenstruktur	197
A.3.2	Vorberechnung von unteren Schranken	198
A.3.3	Branch-and-Bound-Suche	200
A.3.4	A*-Suche	202
	Literaturverzeichnis	205