

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis	I
Verzeichnis der Listings.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Einleitung	1
2 Problemstellung.....	7
2.1 Abbildung der Verhaltensplanung auf die Planung in der KI.....	10
2.1.1 Modellierung mithilfe der PDDL.....	11
2.1.2 Modellierung einer mechatronischen Domäne	14
2.1.3 Modellierung einer Beispieldomäne	17
2.2 Integration kontinuierlicher Prozesse.....	20
2.3 Unsicherheit und unvollständige Information.....	20
2.4 Interaktion zwischen mechatronischen Systemen.....	23
2.5 Aufbau der Arbeit.....	27
3 Integration kontinuierlicher Prozesse in eine Verhaltensplanung auf Basis der PDDL ..	29
3.1 Stand der Technik zur diskret-kontinuierlichen Planung	29
3.1.1 Modellierung kontinuierlicher Planungsaspekte	29
3.1.2 Planungsverfahren mit quasi-kontinuierlichen Prozessen.....	32
3.1.3 Optimale Steuerung und kontinuierliche Mehrzieloptimierung.....	33
3.1.4 Fazit zum Stand der Technik in diskret-kontinuierlicher Planung.....	34
3.2 Integration kontinuierlicher Verläufe in die Planung.....	35
3.2.1 Modellierung kontinuierlicher Verläufe mithilfe vorgelagerter Optimierung ...	35
3.2.2 Modellierung kontinuierlicher Verläufe mittels Fuzzy-Approximation	37
3.2.3 Fazit zur Integration kontinuierlicher Prozesse.....	40
4 Planung unter Unsicherheit	43
4.1 Stand der Technik zur Behandlung von Unsicherheit.....	43
4.1.1 Modellierung von Unsicherheit.....	44
4.1.2 Modelle und Verfahren zur Analyse von Unsicherheit.....	46
4.1.3 Planungssprachen für Unsicherheit und unvollständige Information	51
4.1.4 Planungsverfahren zur Behandlung von Unsicherheit	54
4.1.5 Fazit zum Stand der Technik Planung unter Unsicherheit	59
4.2 Planung unter Unsicherheit für mechatronische Systeme.....	60
4.2.1 Planungsverfahren auf Basis bedingter Wahrscheinlichkeiten	62
4.2.2 Umplanungsverfahren auf Basis von Echtzeitsuche	84
5 Planung von Systeminteraktionen	87
5.1 Stand der Technik zur Planung von Systeminteraktionen	90
5.1.1 Modellierung der Planung von Systeminteraktionen	90
5.1.2 Phasenmodelle zur Planung von Systeminteraktionen.....	91
5.1.3 Verfahren zur Berücksichtigung von Interaktion.....	93
5.1.4 Fazit zum Stand der Technik zur Interaktionsplanung.....	103
5.2 Planung der Interaktion bei gemeinsamer Hauptaufgabe.....	104
5.2.1 Mögliche Koordinationsaktionen	105
5.2.2 Blackbox-Modellierung der Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen	108
5.2.3 Koordination vor der Planung	115
5.2.4 Koordination nach der lokalen Planung	116
5.2.5 Berücksichtigung gemeinsamer Ressourcen	119
5.2.6 Ablauf der Koordination	119
5.3 Planung der Interaktion bei individueller Hauptaufgabe	121

5.3.1	Mögliche Kooperationsaktionen	121
5.3.2	Modellierung von Kooperationsaktionen	122
5.3.3	Durchführung der Abgabe von Aufträgen	124
5.3.4	Durchführung der Abgabe von Teilfunktionen	126
5.3.5	Abstimmung von Aktivitäten	129
5.3.6	Gesamtablauf	130
6	Integrationsszenario für die Planungsprozesse	135
7	Anwendungsbeispiele	139
7.1	Integration kontinuierlicher Verläufe für die aktive Federung	141
7.2	Planung unter Unsicherheit	143
7.2.1	Probabilistische Routenplanung für bedarfsorientierten Schienentransport	143
7.2.2	Die Agentenklasse Track-Experte	143
7.2.3	Erweiterung des Fahrzeugagenten	145
7.2.4	Experimente und Ergebnisse	146
7.3	Planung von Systeminteraktionen	153
7.3.1	Planung bei gemeinsamer Hauptaufgabe	153
7.3.2	Planung bei individueller Hauptaufgabe	161
8	Zusammenfassung und Ausblick	169
8.1	Zusammenfassung	169
8.2	Ausblick	171
	Literaturverzeichnis	173
A.	Modellierungsmethoden im Entwurf mechatronischer Systeme	181
B.	Planungsverfahren der Künstlichen Intelligenz	182
C.	XML-Format der Bayes-Netzwerke	183
D.	Versuchsaufbau Belief-Dijkstra	185

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Darstellung einer Aufgabe mithilfe einer Funktionshierarchie	2
Abbildung 1-2: Gliederung eines komplexen mechatronischen Systems [LHL+01]	5
Abbildung 2-1: Verknüpfung eines mechatronischen Systems mit seinem Umfeld	7
Abbildung 2-2: Planungsproblem für mechatronische Systeme als Baum	9
Abbildung 2-3: Struktur der Planungsaufgabe für mechatronische Systeme	10
Abbildung 2-4: Das PDDL-Planungsproblem als Planbaum	13
Abbildung 2-5: Vergleich von Teilfunktionslösung und PDDL-Aktion	15
Abbildung 2-6: Funktionshierarchie mit Teilfunktionslösungen	16
Abbildung 2-7: Planungsbaum unter Unsicherheit	21
Abbildung 2-8: Zwei mechatronische Systeme in einem Umfeld	23
Abbildung 2-9: Planungsproblem bei zwei mechatronischen Systemen	25
Abbildung 3-1: Modellierung kontinuierlicher Verläufe mit vorgelagerter Optimierung	35
Abbildung 3-2: Modellierung kontinuierlicher Verläufe mittels Fuzzy-Approximation	37
Abbildung 3-3: Integrationsszenario für Fuzzy-Approximation	40
Abbildung 4-1: Skizze des Planungsverfahrens für Unsicherheit	61
Abbildung 4-2: Bedingte Planung und reaktive Umplanung im Energiemanagement	62
Abbildung 4-3: Allgemeine Struktur eines Bayes-Netzwerks für probabilistische Effekte	67
Abbildung 4-4: Beispiel Netzwerk aus der Aktion <i>Drive</i>	68
Abbildung 4-5: Planbaum nach der probabilistischen Analyse	70
Abbildung 4-6: Struktur der probabilistischen Planrepräsentation	71
Abbildung 4-7: Zustandsautomat der erweiterten probabilistischen Analyse	73
Abbildung 4-8: Erweiterte probabilistische Analyse	75
Abbildung 4-9: Darstellung einer Vorbedingung als Planungsbaum	76
Abbildung 4-10: Propagation der Wahrscheinlichkeiten im Vorbedingungsbaum	76
Abbildung 4-11: Bewertung zusammengesetzter Ereignisse	78
Abbildung 4-12: Zustandstrajektorie zu einer nicht ausführbaren Aktivität	80
Abbildung 4-13: Gesamtablauf der bedingten Planung	84
Abbildung 5-1: Betrachtete Modi des Antriebs	87
Abbildung 5-2: Struktur des Planungsproblems für den Antrieb	88
Abbildung 5-3: Wechselwirkung zwischen Antrieb und Luftspaltverstellung	89
Abbildung 5-4: Skizze der Interaktionsplanung bei gemeinsamer Hauptaufgabe	104
Abbildung 5-5: Mögliche Plananpassung im Planungsproblem des Antriebs	106
Abbildung 5-6: Einbettung einer alternativen Teilfunktionslösung	107
Abbildung 5-7: Planung beim Verschieben einer Teilaktion aus einem Zeitfenster	107
Abbildung 5-8: Planung beim Verschieben einer Teilaktion in ein Zeitfenster	107
Abbildung 5-9: Umplanung	118
Abbildung 5-10: Ablauf der Interaktionsplanung bei gemeinsamer Hauptaufgabe	120
Abbildung 5-11: Einbettung alternativer Pläne als Ersatz für abzugebende Teilfunktionen ..	128
Abbildung 5-12: Hierarchische Beziehung zwischen Kooperationsgegenständen	131
Abbildung 5-13: Ablauf der Interaktionsplanung bei individueller Hauptaufgabe	132
Abbildung 6-1: Integrationsszenario für die Planungsverfahren	137
Abbildung 7-1: Planungshierarchie im RailCab-Beispiel	139
Abbildung 7-2: Vereinfachte Darstellung der Abläufe im RailCab-MAS	140
Abbildung 7-3: Pareto-Mengen im Bildraum für die Federung [VT08]	141
Abbildung 7-4: Zwei mit einem Fahrzeugagenten kommunizierende Track-Experten	144
Abbildung 7-5: Klassendiagramm des Packages PNS	145
Abbildung 7-6: Ergebnisse bei exakten Prognoseverteilungen	148
Abbildung 7-7: Ergebnisse bei einer Variation μ von -8%	148
Abbildung 7-8: Ergebnisse bei einer Variation μ von +5%	149

Abbildung 7-9: Ergebnisse bei einer Variation μ von +15%	149
Abbildung 7-10: Ergebnisse bei einer Variation +5% aller Parameter	150
Abbildung 7-11 Ergebnisse bei einer Variation von -10% aller Parameter	150
Abbildung 7-12: Fahrzeiterparnis durch den BeliefDijkstra	151
Abbildung 7-13: Fahrzeiterparnis bei Variation aller Verteilungsparameter um +10%	151
Abbildung 7-14: Ergebnisse bei 70% Anteil ungenauer Streckenabschnitte.....	159
Abbildung 7-15: Ergebnisse in allen Testszenarien	159
Abbildung 7-16: Ergebnisse der Umplanung.....	160
Abbildung 7-17: Dauer der Iterationen der Umplanung	161
Abbildung 7-18: Beispiele für Wegeinsparungen durch die Abgabe von Aufträgen	162

Verzeichnis der Listings

Listing 2-1: Kopf der RailCab-Domäne.....	17
Listing 2-2: Funktionen der RailCab-Domäne.....	17
Listing 2-3: Fahraktion mit aktiver Federung.....	18
Listing 2-4: Definition des Planungsproblems.....	18
Listing 2-5: Initialisierung in der Problemdatei.....	19
Listing 2-6: Zielzustand des Beispielproblems.....	19
Listing 2-7: Drei alternative Planungsmetriken.....	19
Listing 3-1: Fuzzy Definition der numerischen Variablen.....	38
Listing 4-1: Funktion in der probabilistischen Domänendefinition für das RailCab.....	64
Listing 4-2: Ausschnitt einer probabilistischen Problemdefinition des RailCab-Szenarios....	69
Listing 4-3: Planmetrik in der probabilistischen Problemdefinition.....	69
Listing 4-4: Probabilistische Analyse eines Plans.....	72
Listing 4-5: Ableitung relevanter Ereignisse aus einer Aktivität.....	77
Listing 4-6: Einfügen proaktiver Verzweigungen in einen Plan.....	80
Listing 5-1: Bedingte Aktion mit zeitabhängigem Nutzenwert.....	113
Listing 5-2: Berechnung der Funktion $req(s_i)$	127
Listing 7-1: Aus der Optimierung abgeleitete Aktionsdefinition.....	142
Listing 7-2: Pseudo-Code des BeliefDijkstra.....	146
Listing 7-3: Planungsalgorithmus für den Antrieb in Pseudo-Code.....	156
Listing 7-4: Anpassungsalgorithmus in Pseudo-Code.....	157
Listing 7-5: Suche nach abzugebenden Transportaufträgen.....	163
Listing 7-6: Fahraktionen mit Berücksichtigung der Kooperationsform "Konvoi".....	165
Listing C-1: DTD des eXtended Bayesian Network Interchange Format.....	183
Listing C-2: Beispiel einer XBIF Beschreibung eines Experten-Netzwerks.....	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Berechnung der Schrankenwerte für antizipierende Verzweigung.....	79
Tabelle 5-1: Interaktionsplanungsparameter als Bayes-Netzwerke.....	115
Tabelle 7-1: Funktionswerte von $XEG(tfl)$ und $XUG(tfl)$	154
Tabelle 7-2: Funktionswerte von $XEL(tfl)$ und $XUL(tfl)$	154
Tabelle 7-3: Funktionswerte von $Hu\omega(tfl tfl')$	155
Tabelle 7-4: Situationsabhängiger mittlerer Luftspalt auf einem Streckenabschnitt.....	158
Tabelle C-1: Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Variablen C mit Elternknoten A und B..	184
Tabelle D-1: Schablonen für die Bayes-Netzwerke der Track-Agenten.....	185
Tabelle D-2: Weiche Evidenzen für den Knoten Humidity.....	186
Tabelle D-3: Zufallsvariablen der beiden verwendeten Netztypen.....	186
Tabelle D-4: Mittlere Geschwindigkeiten zur Generierung der Erwartungswerte.....	187
Tabelle D-5: Anteile zur Bestimmung der Standardabweichungen.....	187