

Dipl.-Inform. Thomas Wolfgang Längle,
Eggenstein-Leopoldshafen

Verteiltes Steuerungs- konzept für komplexe inhomogene Roboter- systeme

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **614**

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG	2
1.2 ZIELSETZUNG UND LÖSUNGSANSATZ	4
1.3 AUFBAU UND KAPITELÜBERSICHT	5
2 PROBLEMSTELLUNG	7
2.1 ANFORDERUNGEN AN DEN ENTWURF VON STEUERUNGSARCHITEKTUREN.....	7
2.1.1 MODULARITÄT ZUR BEHERRSCHUNG DER KOMPLEXITÄT	8
2.1.2 FLEXIBILITÄT BEI ERWEITERUNG UM NEUE KOMPONENTEN.....	9
2.1.3 WIRTSCHAFTLICHKEIT UND OPTIMALITÄT.....	10
2.1.4 ROBUSTHEIT UND FEHLERTOLERANZ	11
2.2 PROBLEME BEIM ENTWURF VON STEUERUNGSARCHITEKTUREN	13
2.2.1 AUFGABENVERTEILUNG.....	13
2.2.2 VERTEILTE WISSENSBASEN	14
2.2.3 KOMMUNIKATION	15
2.2.4 KOOPERATION.....	16
2.2.5 KOORDINATION	17
2.2.6 AUFGABENÜBERWACHUNG UND OPTIMIERUNG	18
2.3 THEMENSTELLUNG	19
2.4 ZUSAMMENFASSUNG.....	20
3 STAND DER TECHNIK	21
3.1 KLASSIFIKATION VON STEUERUNGSARCHITEKTUREN.....	21
3.2 ZENTRALE SYSTEME.....	23
3.2.1 DER KAMRO-ROBOTER.....	23
3.2.2 LERNVERFAHREN FÜR ZENTRALE, AUTONOME ROBOTER	25

3.3 VERTEILE ROBOTERSYSTEME.....	26
3.2.1 DAS ROBOTERSYSTEM ACTRESS.....	26
3.3.2 MICRO-ROBOT-SYSTEMS AM ETL	27
3.3.3 REDUNDANTE MANIPULATOREN.....	28
3.3.4 VERTEILTE ANSÄTZE IN DER FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG	29
3.3.5 VERTEILTE ANSÄTZE ZUR SENSORAUSWAHL.....	30
3.4 DEZENTRALE ROBOTERSYSTEME.....	30
3.4.1 DAS ROBOTERSYSTEM CEBOT	31
3.4.2 SWARMS.....	32
3.4.3 STEUERUNG VON ROBOTERGREIFERN.....	33
3.4.4 DEZENTRALE ANSÄTZE IN DER LOGISTIK	34
3.5 ROBOTERSYSTEME MIT DEZENTRALER AKTIONSAUSWAHL.....	34
3.5.1 DIE ROBOTERARCHITEKTUR AURA	35
3.5.2 DIE SUBSUMPTIONARCHITEKTUR.....	36
3.6 ENTWURFSUMGEBUNGEN FÜR AGENTENSYSTEME.....	37
3.7 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG.....	38
<u>4 KARLSRUHER MULTI-AGENTEN ROBOTER-ARCHITEKTUR</u>	<u>40</u>
4.1 BETRACHTETE ASPEKTE DES ENTWURFPROBLEMS.....	40
4.1.1 ANSÄTZE FÜR DIE VERBESSERUNG	40
4.1.2 AUSGEKLAMMERTE AUFGABEN.....	41
4.1.3 UNBERÜCKSICHTIGTE AUFGABEN	41
4.2 GRUNDPRINZIPIEN DES GEWÄHLTEN ANSATZES.....	42
4.3 DAS AGENTENMODELL	43
4.3.1 DER AGENTENBEGRIFF.....	44
4.3.2 AGENTENTYPEN	45
4.3.3 MODULSTRUKTUR EINES AGENTEN	46
4.3.4 PROZESSSTRUKTUR EINES AGENTEN	48
4.4 AUFGABENAUSFÜHRUNG (AGENTENKÖRPER)	50
4.5 AUFGABENPLANUNG (AGENTENKOPF).....	51
4.6 KOMMUNIKATION (AGENTENKOMMUNIKATOR).....	52
4.7 ZUSAMMENFASSUNG.....	54
<u>5 KOMMUNIKATION ZWISCHEN DEN AGENTEN</u>	<u>55</u>
5.1 GRUNDFORMEN DER KOMMUNIKATION.....	55
5.2 DELEGATION UND VERHANDLUNG	57
5.3 DAS VERWENDETE VERTRAGSNETZPROTOKOLL	58
5.4 AUFGABENREPRÄSENTATION	60
5.5 GROBBLAUF DES PROTOKOLLS.....	61

5.6 FUNKTIONSBESCHREIBUNGEN DES PROTOKOLLS	64
5.6.1 AUSSCHREIBUNG EINER AUFGABE	64
5.6.2 BEWERBUNG UM EINE AUFGABE	65
5.6.3 BEWERTUNG DER LÖSUNGSFÄHIGKEIT	67
5.6.4 LESEN DER WETTBEWERBSMENGE	67
5.6.5 EINTRAGEN DES VERMITTLUNGSERGEBNISSES	69
5.6.6 WARTEN AUF AUSFÜHRUNGSENTSCHEIDUNG	69
5.6.7 AUFRUF DES PLANENDEN KOPFES	70
5.6.8 EINTRAGEN DES PLANENDEN KOPFES.....	71
5.6.9 EINTRAGEN DER LÖSUNG	72
5.6.10 LESEN VON LÖSUNGEN.....	73
5.7 PROZESSSTRUKTUREN.....	74
5.7.1 DIE PROZESSSTRUKTUR DES KOMMUNIKATORS	74
5.7.2 DIE PROZESSSTRUKTUR DES BEWERTENDEN KOPFES	75
5.7.3 DIE PROZESSSTRUKTUR DES PLANENDEN KOPFES	75
5.7.4 DIE PROZESSSTRUKTUR DES KÖRPERS.....	76
5.8 ZUSAMMENFASSUNG.....	77
6 KOOPERATION ZWISCHEN DEN AGENTEN	79
6.1 INTERAKTIONSRÄUME VON AGENTEN UND AGENTENSYSTEMEN	79
6.2 GRUNDFORMEN DER KOOPERATION.....	83
6.2.1 AUTONOME KOOPERATION (AUTONOME KOPPLUNG)	84
6.2.2 LOSE KOOPERATION (LOSE KOPPLUNG)	84
6.2.3 ENGE KOOPERATION (ENGE KOPPLUNG).....	85
6.3 VERKLEMMUNGEN ZWISCHEN AGENTEN.....	85
6.3.1 VERKLEMMUNGSKLASSIFIKATION	86
6.3.2 VERKLEMMUNGSBEHANDLUNG	87
6.3.3 VERKLEMMUNGSBEDINGUNGEN	88
6.4 DER SPEZIALAGENT	90
6.5 DAS AGENTENTEAM.....	92
6.6 EIN-AGENTEN-KOOPERATION.....	93
6.6.1 EIN-AGENTEN-KOOPERATION OHNE EBM-ANFORDERUNG	93
6.6.2 EIN-AGENTEN-KOOPERATION MIT EBM-ANFORDERUNG	93
6.7 TEAM-AGENTEN-KOOPERATION	94
6.7.1 TEAM-AGENTEN-KOOPERATION OHNE EBM-ANFORDERUNG	96
6.7.2 TEAM-AGENTEN-KOOPERATION MIT EBM-ANFORDERUNG	97
6.8 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION.....	98
6.8.1 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION OHNE EBM-ANFORDERUNG.....	99
6.8.2 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION MIT EBM-ANFORDERUNG.....	99
6.9 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION.....	100
6.9.1 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION OHNE EBM.....	100
6.9.2 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOOPERATION MIT EBM.....	101
6.10 ZUSAMMENFASSUNG	102

7 KOORDINATION ZWISCHEN DEN AGENTEN	104
7.1 GRUNDFORMEN DER KOORDINATION	104
7.2 EIN-AGENTEN-KOORDINATION	106
7.2.1 EIN-AGENTEN-KOORDINATION OHNE EBM-ANFORDERUNG	106
7.2.2 EIN-AGENTEN-KOORDINATION MIT EBM-ANFORDERUNG	107
7.3 TEAM-AGENTEN-KOORDINATION	107
7.3.1 TEAM-AGENTEN-KOORDINATION OHNE EBM-ANFORDERUNG	108
7.3.2 TEAM-AGENTEN-KOORDINATION MIT EBM-ANFORDERUNG	109
7.4 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION	109
7.4.1 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION OHNE EBM-ANFORDERUNG	110
7.4.2 EIN-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION MIT EBM-ANFORDERUNG.....	111
7.5 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION	111
7.5.1 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION OHNE EBM.....	111
7.5.2 TEAM-SPEZIALAGENTEN-KOORDINATION MIT EBM.....	112
7.6 ZUSAMMENFASSUNG	113
8 AUFGABENÜBERWACHUNG UND OPTIMIERUNG	115
8.1 HIERARCHISCHE FORTSETZUNG DES AGENTENANSATZES	115
8.1.1 HIERARCHIE IN MEHR-AGENTEN-SYSTEMEN	116
8.1.2 INTEGRATION DES HIERARCHIEKONZEPTES.....	117
8.2 AUFGABENÜBERWACHUNG	118
8.2.1 DIE AUFGABENÜBERWACHUNG	119
8.2.2 AUFGABENKLASSEN DER AUFGABENÜBERWACHUNG	120
8.3 DEZENTRALES SCHEDULING UND OPTIMIERUNG	122
8.3.1 DAS ZEITLICHE ZUORDNUNGSPROBLEM.....	123
8.3.2 LÖSUNG DES ZEITLICHEN ZUORDNUNGSPROBLEMS	124
8.3.3 INTEGRATION EINER UNTERBRECHUNGSBEHANDLUNG	125
8.4 ZUSAMMENFASSUNG	126
9 ANWENDUNG DER VERTEILTEN ARCHITEKTUR	128
9.1 AGENTEN IN KACOR	128
9.2 KOOPERATIVE PLANUNG AM BEISPIEL MONTAGE	131
9.2.1 PLANSKELETTE ZUR KOOPERATIVEN MONTAGE	131
9.2.2 ABBILDUNG AUF ELEMENTAROPERATIONEN	135
9.2.3 VORWÄRTS- UND RÜCKWÄRTSPLANUNG	137
9.3 KOOPERATIONSMUSTER IN KACOR	138
9.3.1 DER MANIPULATOR-MANIPULATOR-SPEZIALAGENT	138
9.3.2 DAS MANIPULATOR-MANIPULATOR-TEAM	139
9.3.3 DAS MANIPULATOR-PLATTFORM-TEAM.....	141
9.3.4 DER MANIPULATOR-HANDKAMERA-SPEZIALAGENT.....	143

9.4 KOORDINATIONSMUSTER IN KACOR	143
9.4.1 INTERNE BETRIEBSMITTEL.....	144
9.4.2 KOORDINATION VON MANIPULATOR-TEAMS.....	144
9.5 HIERARCHIE IN KACOR.....	147
9.6 DIE AUFGABENÜBERWACHUNG IN KACOR.....	149
9.7 VERGLEICH DER VERTEILTEN UND ZENTRALEN ARCHITEKTUR.....	150
9.8 ZUSAMMENFASSUNG.....	153
<u>10 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</u>	156
10.1 DIE AUSGANGSFRAGESTELLUNG	156
10.2 ANGEWANDTE METHODEN	156
10.3 BEWERTUNG DES KONZEPTES	157
10.4 NEUE BEITRÄGE ZUM STAND DER FORSCHUNG	158
10.5 WEITERENTWICKLUNG DES KONZEPTES	159
<u>FORMELVERZEICHNIS</u>	161
<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	165
<u>INDEXVERZEICHNIS</u>	167
<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	170