

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	5
2.1	Definition der Begriffe	5
2.2	Anthropomorphe Kinematiken als Schlüsselentwicklung der Robotik	6
2.2.1	Anthropomorphe Roboter in der Forschung	6
2.2.2	Anthropomorphe Mehrrobotersysteme in der Industrie	16
2.3	Simulation manueller Arbeitsplätze in der „Virtuellen Produktion“	21
2.3.1	Der Begriff der „Virtuellen Produktion“	21
2.3.2	Simulation manueller Arbeitsplätze	23
2.4	Multi-Agentensysteme als Steuerungsansatz in der Robotik	25
2.4.1	Koordination von Multi-Agentensystemen	26
2.4.2	Kommunikation in Multi-Agentensystemen	27
2.4.3	Kooperation und Konkurrenz in Multi-Agentensystemen	28
2.5	Auswahl des Simulations- und Visualisierungssystems	29
2.5.1	Überblick über Simulations- und Visualisierungssysteme	30
2.5.2	Überblick über VEROSIM	31
2.5.3	Struktur der Datenhaltung	33
2.5.4	Programmierung in C/C++ und SOML++	35
3	Konzept	37
3.1	Grundidee der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	37
3.2	Matrixarchitektur der übergreifenden Steuerung	39
3.2.1	Steuerung der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	39
3.2.2	Simulation der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	43
3.2.3	Programmierung der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	45
3.3	Weitere Aspekte des Konzeptes der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	49
3.3.1	Eingliederung der Matrixarchitektur in das IRCS	49
3.3.2	Erweiterte Analyse anthropomorpher Kinematiken	51
3.3.3	Trennung von Steuerung und Visualisierung	53
3.3.4	Interaktion der Multi-Agentensysteme mit der Umwelt	55
4	Bewegungssteuerung	57
4.1	Bewegungssteuerung des einzelnen Agenten	57
4.1.1	Definition von Trajektorien zur Bahninterpolation	58
4.1.2	Parametrisierung und Aufbau des einzelnen Agenten	79

4.1.3	Bahninterpolation für anthropomorphe Kinematiken	95
4.2	Konzept der „Multiplen Redundanz“	106
4.2.1	Kinematische Kopplungen in anthropomorphen Kinematiken	107
4.2.2	Bewegungskoordination mittels mehrfach-redundanter Kinematiken	108
4.2.3	Praktische Realisierung der „Multiplen Redundanz“	109
4.3	Kinematische Koordination von Gehbewegungen	115
4.3.1	Berechnung von Bein- und Körperbewegungen	116
4.3.2	Praktische Realisierung der Gehbewegungen	121
5	Simulation und Programmierung	125
5.1	Integration in das umgebende Simulationssystem	125
5.1.1	Analyse der Multi-Agentensysteme als ereignisdiskrete Systeme	126
5.1.2	Zustandsorientierte Modellierung im Sinne der „Supervisory Control“	128
5.1.3	Modellierung von Umwelt und Ressourcen	131
5.2	Programmierung der anthropomorphen Multi-Agentensysteme	135
5.2.1	Konzept der Aktionen und Aktionsnetze	136
5.2.2	Ebenen der Programmierung mit Aktionsnetzen	142
6	Steuerung realer Mehrrobotersysteme	149
6.1	Rekombination des Steuerungskonzeptes für reale Mehrrobotersysteme	149
6.1.1	Anforderungen an Mehrrobotersteuerungen	149
6.1.2	Konzept zur Herstellung der Echtzeitfähigkeit	151
6.1.3	Konzept zur Integration von Simulation und Steuerung	153
6.2	Anwendung des Steuerungskonzeptes auf reale Mehrrobotersysteme	155
6.2.1	Beschreibung des Versuchsstandes CIROS	155
6.2.2	Beschreibung der Architektur IRCS	156
6.2.3	Einsatz des Steuerungskonzeptes im Versuchsstand CIROS	157
7	Analyse und Anwendungen	161
7.1	Ergonomische Analysen des „Virtuellen Menschen“	161
7.1.1	Statische ergonomische Untersuchungen	161
7.1.2	Dynamische ergonomische Untersuchungen	170
7.2	Ergonomische Anwendungen für anthropomorphe Roboter	175
7.2.1	Zusammenhang von Ergonomie und anthropomorpher Robotik	176
7.2.2	Ergonomisch motivierte Bewegungssteuerung von JUSTIN	178
7.3	Weitere Anwendungen der erzielten Ergebnisse	188
7.3.1	PRODEMO – Roboterprogrammierung „by Demonstration“	188
7.3.2	INVENTOR – „Addin“ zur Roboterprogrammierung	189
7.3.3	FASTMAP – Vorbereitungen zur Planetenexploration	189
7.3.4	DASA – Exponat der „Arbeitswelt Ausstellung“	190
7.3.5	SCALAB – Skalierbare Automation durch MAS	192
8	Zusammenfassung	195
	Literaturverzeichnis	201