

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Kooperierende Roboter	1
1.2. Aufbau der Arbeit	2
1.3. Hinweise für den Leser.....	4
2. Grundlagen und Stand der Forschung bei kooperierenden Robotersystemen	5
2.1. Überblick.....	5
2.2. Abstecken des Problemfelds kooperativer, mobiler Systeme	6
2.2.1. Welche Formen der Kooperation gibt es ?	6
2.2.2. Die Dualität der Ansätze bei der koordinierten Kollisionsvermeidung....	8
2.2.3. Die Rolle der Inter-Roboter-Kommunikation	10
2.3. Modelle und Repräsentationen zur Kollisionsvermeidung.....	11
2.3.1. Konfigurationsraum, Potentialfeld und Kachelmodelle	12
2.3.2. Raumzeit-Modelle.....	15
2.4. Quellen von Unsicherheiten und ihre Behandlung	16
2.4.1. Räumliche Unsicherheiten.....	17
2.4.2. Multiagentensysteme und zeitliche Unsicherheiten	20
2.5. Kollisionsfreie Steuerung von Fahrzeugen	21
2.5.1. Ansätze aus Schifffahrt und Luftfahrt.....	21
2.5.2. Analyse des Kollisionsrisikos bei mobilen Robotern.....	23
2.5.3. Die Adaption der Geschwindigkeit.....	27
2.5.4. Die Adaption der Trajektorie	29
2.5.5. Die Adaption der Geschwindigkeit und der Trajektorie	31
2.6. Analyse des gegenwärtigen Stands der Forschung	33
2.6.1. Rückblick	33
2.6.2. Offene Fragen und der aktuelle Bedarf an Forschungsaufgaben	34
2.6.3. Zukünftige Entwicklungen	34
2.7. Zusammenfassung	35
3. Die Aufgabe: Koordinierte Steuerungsmanöver	37
4. Der Lösungsansatz	43
4.1. Überblick.....	43
4.2. Das Konzept koordinierter Steuerungsmanöver.....	44
4.2.1. Die Drift der Bezugssysteme als Kommunikationsproblem	44
4.2.2. Das Kollisionsrisiko bei zwei Robotern	49
4.2.3. Die Festlegung der Priorität	56
4.2.4. Die Kollisionsvermeidung	59
4.2.5. Die Bestimmung des Driftvektors	62
4.2.6. Priorität und Kollisionsvermeidung bei mehr als zwei Robotern	64
4.3. Die quantitative Durchführung der Steuerungsmanöver	65
4.3.1. Die Ereignistransformation.....	65
4.3.2. Die Berechnung des Kollisionsvektors und des Auslenkvektors	71

4.3.3.	Die Meßwertvorhersage.....	76
4.3.4.	Die Berechnung des Driftvektors.....	79
4.3.5.	Die Abstands-Ortskurven	80
4.4.	Einordnung der Arbeit	81
4.5.	Zusammenfassung	81
5.	Realisierung eines Systems mit Infrarot-Kommunikation und Ultraschall-Sensorik	85
5.1.	Überblick.....	85
5.2.	Die Hardware-Architektur.....	85
5.2.1.	Die omnidirektionalen Fahrzeuge Stan und Ollie.....	85
5.2.2.	Das VMEbus-System	87
5.2.3.	Die Infrarot-Kommunikationsstrecke	87
5.2.4.	Das rotationsfähige Stereo-Ultraschall-Sensorsystem	88
5.2.5.	Das globale Zeitmodul	89
5.3.	Die Software-Architektur	90
5.3.1.	Das raumzeitliche Weltmodell.....	91
5.3.2.	Das Modul Modellsteuerung	94
5.3.3.	Das Modul Roboterzustandsprozessor	94
5.3.4.	Das Modul Bewegungssteuerung	95
5.3.5.	Das Modul Kommunikationsprozessor.....	95
5.3.6.	Das Modul Sensorprozessor	96
5.4.	Zusammenfassung	96
6.	Ergebnisse aus Experimenten und Simulationen	99
6.1.	Überblick.....	99
6.2.	Berechnung einer künstlich erzeugten Drift	99
6.3.	Berechnung der absoluten Drift	103
6.4.	Vermeidung von Kollisionen mit statischen Hindernissen	105
6.5.	Simulation der koordinierten Kollisionsvermeidung.....	107
6.6.	Zusammenfassung	111
7.	Ausblick	113
7.1.	Bewertung des Ansatzes	113
7.2.	Der Einsatz des Steuerungssystems im EU-Projekt MARTHA.....	114
7.3.	Andere Einsatzgebiete	114
8.	Zusammenfassung	117
9.	Anhang	119
9.1.	Notation	119
9.2.	Glossar.....	122
10.	Literatur	127