

Dipl.-Ing. Ralf Hoelper, Pottum

**Intelligentes, flexibel
konfigurierbares
Steuerungssystem für
mobile Serviceroboter**

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

Nr. **608**

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Service-Robotik im Bereich der Rehabilitation | 2 |
| 1.2 | Steuerungssysteme - Stand der Forschung | 4 |
| 1.3 | Anforderungen an Steuerungssysteme | 5 |
| 1.4 | Zielsetzung und Aufbau der Arbeit | 6 |
| 2 | Konzepte der Verteilten Künstlichen Intelligenz | 8 |
| 2.1 | Motivation und Anwendungsbereiche verteilter KI | 8 |
| 2.2 | Architektur und Funktionsweise wissensbasierter Systeme | 10 |
| 2.3 | Wissensrepräsentation | 12 |
| 2.4 | Agentensysteme | 14 |
| 2.4.1 | Schichtenkonzept von Agentensystemen | 14 |
| 2.4.1.1 | Interaktionsschicht | 15 |
| 2.4.1.2 | Aufgabenschicht | 15 |
| 2.4.1.3 | Problemschicht | 16 |
| 2.4.2 | Funktionale Struktur eines Agenten | 17 |
| 2.4.3 | Koordination in Agentensystemen | 18 |
| 2.4.3.1 | Organisationsstrukturen | 18 |
| 2.4.3.2 | Metawissen | 19 |
| 2.4.3.3 | Probleme und Grenzen der Koordination | 20 |
| 2.4.4 | Wesentliche Eigenschaften von Agentensystemen | 20 |
| 2.5 | Zusammenfassung | 21 |
| 3 | Intelligentes Steuerungssystem | 22 |
| 3.1 | Systemarchitektur | 22 |
| 3.2 | Modulstruktur | 25 |
| 3.2.1 | Lokale Wissensbasis | 26 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.2.1.1 | Datenbasis | 26 |
| 3.2.1.2 | Regelbasis | 28 |
| 3.2.2 | Problemlösungskomponente | 29 |
| 3.2.3 | Interaktionskomponente | 31 |
| 3.2.4 | Aufgabenkomponente | 33 |
| 3.2.5 | Erklärungskomponente | 34 |
| 3.2.5.1 | Modulmonitor | 34 |
| 3.2.5.2 | Nachrichtenmonitor | 35 |
| 3.2.6 | Wissenserwerbskomponente | 35 |
| 3.2.6.1 | Regeleditor | 35 |
| 3.2.6.2 | Objekteditor | 36 |
| 3.3 | Modulinteraktion | 37 |
| 3.3.1 | Aufbau der Modul-Kommunikation | 37 |
| 3.3.2 | Aspekte der Modul-Koordination | 38 |
| 3.3.3 | Flexible Konfiguration | 41 |
| 3.4 | Zusammenfassung | 43 |
| 4 | Anwendung – omnidirektionaler Rollstuhl | 44 |
| 4.1 | Anforderungen | 44 |
| 4.2 | Rollstuhl-Prototyp | 47 |
| 4.2.1 | Antriebstechnik | 48 |
| 4.2.2 | Sensorik | 49 |
| 4.3 | Steuerungsarchitektur | 51 |
| 4.4 | Funktionalität der Steuerungsmodule | 53 |
| 4.4.1 | Bewegungssteuerung | 53 |
| 4.4.1.1 | Antriebsregelung | 54 |
| 4.4.1.1.1 | Kinematische Gleichungen | 54 |
| 4.4.1.1.2 | Reglerstruktur | 59 |
| 4.4.1.2 | Odometrie | 61 |
| 4.4.1.3 | Monitor | 62 |
| 4.4.2 | Sensorsystem | 64 |
| 4.4.2.1 | Sensordatenfusion | 64 |
| 4.4.2.1.1 | Ultraschallsensoren | 65 |
| 4.4.2.1.2 | Infrarotsensoren | 67 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 4.4.2.1.3 | Sensormodell | 67 |
| 4.4.2.1.4 | Sensordatenerfassung | 69 |
| 4.4.2.2 | Sensorkarte | 71 |
| 4.4.2.3 | Kollisionsvermeidung | 75 |
| 4.4.2.3.1 | Kollisionsüberprüfung der Sensorkarte | 76 |
| 4.4.2.3.2 | Reaktive Kollisionsvermeidungsstrategie | 78 |
| 4.4.3 | Lokale Navigation | 79 |
| 4.4.3.1 | Lokale Ausweichplanung | 79 |
| 4.4.3.2 | Objekterkennung und -strategie | 82 |
| 4.4.3.3 | Bahnaufzeichnung | 84 |
| 4.4.3.3.1 | Generierung der Bahnpunkte | 85 |
| 4.4.3.3.2 | Bahnapproximation | 86 |
| 4.4.3.4 | Trajektorien-Planung | 88 |
| 4.4.3.4.1 | Geschwindigkeitsverlauf | 88 |
| 4.4.3.4.2 | Generierung von Bahninkrementen | 90 |
| 4.4.3.5 | 'Play-back'/'Back-tracing' - Funktionalität | 93 |
| 4.4.4 | Globale Planung | 94 |
| 4.4.4.1 | Aufgabenplanung | 94 |
| 4.4.4.2 | Umweltmodell | 98 |
| 4.4.4.2.1 | Hindernismodellierung | 98 |
| 4.4.4.2.2 | Robotermodellierung | 99 |
| 4.4.4.3 | Wegplanung | 100 |
| 4.4.4.3.1 | Planungsverfahren | 100 |
| 4.4.4.3.2 | Kostenmodell | 104 |
| 4.4.4.3.3 | Planungsvorgang | 105 |
| 4.4.4.3.4 | Planungsergebnisse | 107 |
| 4.4.5 | Mensch-Maschine-Schnittstelle | 110 |
| 4.4.5.1 | Fahrhebel | 111 |
| 4.4.5.2 | Graphische Bedienoberfläche | 112 |
| 4.5 | Realisierung der Steuerungsebenen | 113 |
| 4.5.1 | Direkt-gesteuertes Fahren | 113 |
| 4.5.2 | Sensorgestütztes Fahren | 114 |
| 4.5.3 | Sensorgeführtes Fahren | 115 |
| 4.5.4 | Situationsbasiertes Fahren | 116 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.5.5 | Aufgabenorientiertes Fahren | 117 |
| 4.6 | Zusammenfassung | 119 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 120 |
| A | Mathematische Grundlagen | 123 |
| A.1 | Homogene Transformationsmatrizen | 123 |
| A.2 | Lösung von Gleichungssystemen | 124 |
| B | Grundlagen der Splineinterpolation | 125 |
| B.1 | Mathematischer Ansatz für die Splinefunktionen | 125 |
| B.2 | Spezielle problemangepaßte Randbedingungen | 126 |
| B.3 | Gleichungen zur Koeffizientenbestimmung | 127 |
| B.4 | Vorgabe von drei Randbedingungen | 128 |
| B.5 | Vorgabe von vier Randbedingungen | 131 |
| B.6 | Auflösung des linearen Gleichungssystems | 134 |
| B.7 | Faktorisierung | 136 |
| B.8 | Vorwärtselimination | 137 |
| B.9 | Rückwärtselimination | 138 |
| | Literaturverzeichnis | 139 |