

Kollisionsfreie Routenplanung autonomer Fahrzeuge

Carsten Schulz
INF-M3 - Seminar/Ringvorlesung - Wintersemester 2007/2008
14. Dezember 2007

Agenda

- ▶ Motivation
- ▶ Existierende Ansätze und Lösungen
- ▶ Simulationsergebnisse mit AGV-Simulator
- ▶ Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

Agenda

- ▶ **Motivation**
- ▶ Existierende Ansätze und Lösungen
- ▶ Simulationsergebnisse AGV-Simulator
- ▶ Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

Motivation

- ▶ **STILL-LASER-NAVIGATOR**
 - ▶ Automatisierung von Serienflurförderzeugen
 - ▶ Autonome Bearbeitung von Transportaufträgen
 - ▶ Bedienung von Hochregalen
 - ▶ Kooperative Nutzung der Umgebung mit weiteren FTS
 - ▶ Kooperation mit der Universität Hannover

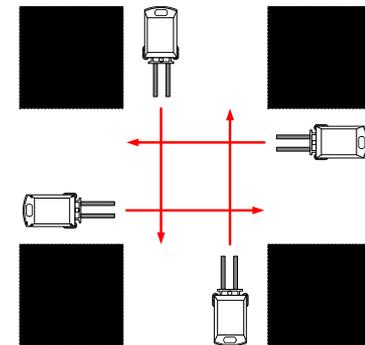
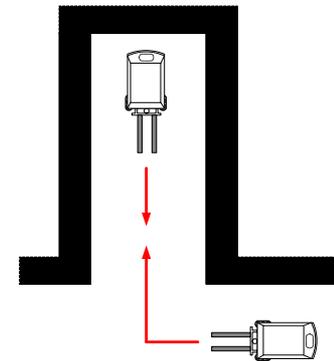
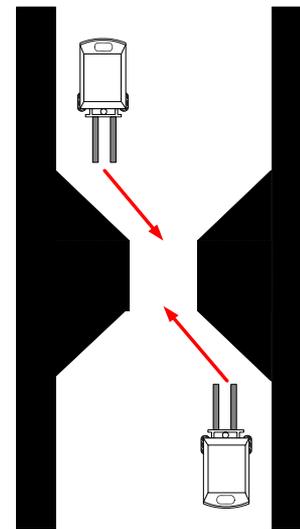
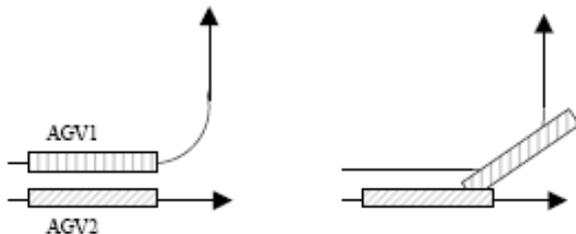


Ziel

- ▶ **Entwicklung einer Lösung zur Kollisionsbehandlung von autonomen Fahrzeugen**
 - ▶ Dezentrales System zur Fahrzeugsteuerung
 - ▶ Nutzung einer zentralen Instanz möglichst vermeiden
 - ▶ Deadlocks müssen vermieden werden

Typische Betriebsituationen

- ▶ Kreuzungsbereiche
- ▶ Fahrbahnverjüngung / Einspurig
- ▶ Sackgassen
- ▶ Überlappungen



Deadlocks

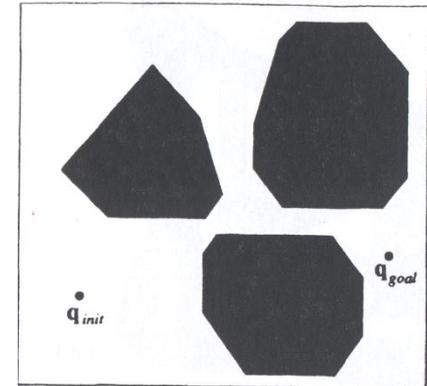
- ▶ **Bedingungen für das Auftreten von Deadlocks**
 - ▶ “*mutual exclusion*”: Eine Ressource kann nur exklusiv von einem Prozess benutzt werden.
 - ▶ “*wait for*”: Prozesse blockieren einmal zugewiesene Ressourcen, während sie auf weitere Ressource warten.
 - ▶ “*no preemption*”: Ressourcen sind nicht verfügbar, bevor sie nicht von dem Prozess freigegeben werden, der sie gerade benutzt.
 - ▶ “*circular wait*”: Es gibt einen *Zyklus* von Prozessen, so dass jeder Prozess innerhalb dieses *Zyklus* eine oder mehrere Ressourcen blockiert, die von anderen Prozessen benötigt werden.

Strategien der Deadlock-Behandlung

- ▶ **Deadlock-Prevention**
 - ▶ Offline-Strategie: sicherstellen, dass nicht alle 4 Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein können
- ▶ **Deadlock-Avoidance**
 - ▶ *Entscheiden ob die Zuteilung eines Betriebsmittels sicher ist*
- ▶ **Deadlock-Detection-and-Resolution**
 - ▶ versucht nicht, Deadlocks im Voraus zu verhindern
 - ▶ Matrix- / Graphbasierte Lösungsansätze

Bedingungen für den Fz-Betrieb

- ▶ Umgebungsplan
 - ▶ Streckennetz / Gerichteter Graph
 - ▶ Hinderniskarte
- ▶ Positionsbestimmung
 - ▶ Laserscanner
 - ▶ GPS
- ▶ Kommunikation
 - ▶ WLAN
 - ▶ Infrarot



Agenda

- ▶ Motivation
- ▶ Existierende Ansätze und Lösungen
- ▶ Simulationsergebnisse AGV-Simulator
- ▶ Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

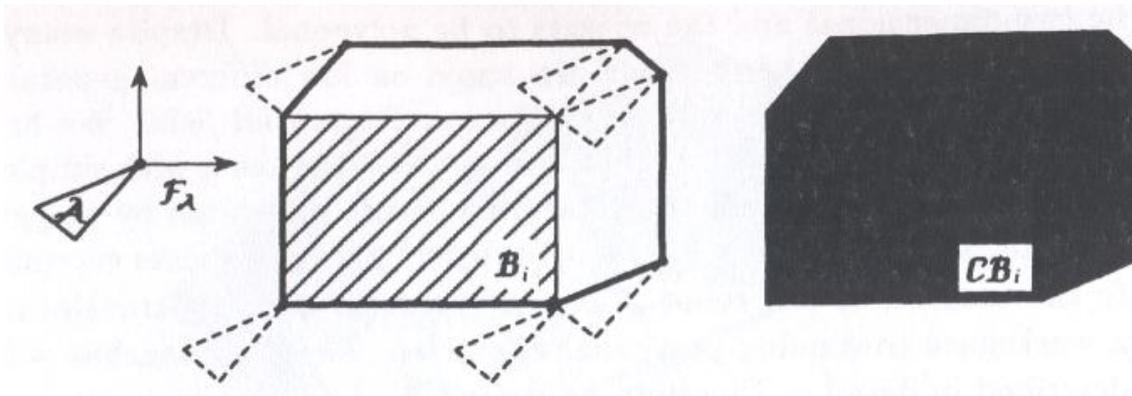
Existierende Ansätze und Lösungen

- ▶ **Freie Routenplanung**
 - ▶ Approximate Cell Decomposition
 - ▶ Dezentrale Reservierung vom Arbeits-Zeit-Raum

- ▶ **Graphenbasierte Routenplanung**
 - ▶ FIRST - Friendly Interactive Robot for Service Tasks
 - ▶ FTS in Seehafen-Containerterminals
 - ▶ Signaltafelprinzip

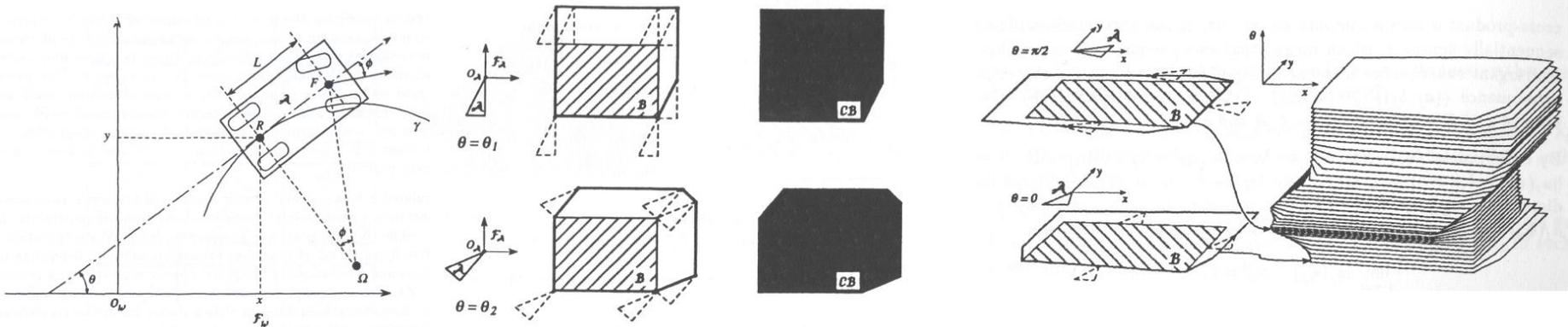
Freie Routenplanung

- ▶ FTS kann in seiner Umgebung frei navigieren
- ▶ Erstellung des Arbeitsraums
 - ▶ Erweiterung der Hindernisse um die Abmessungen der Fahrzeugkontur



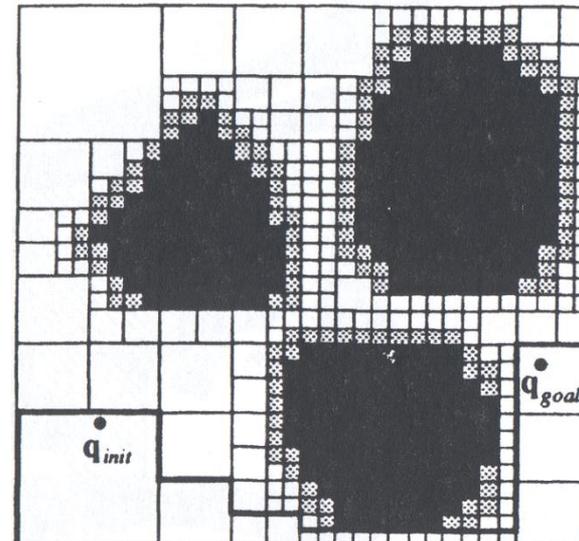
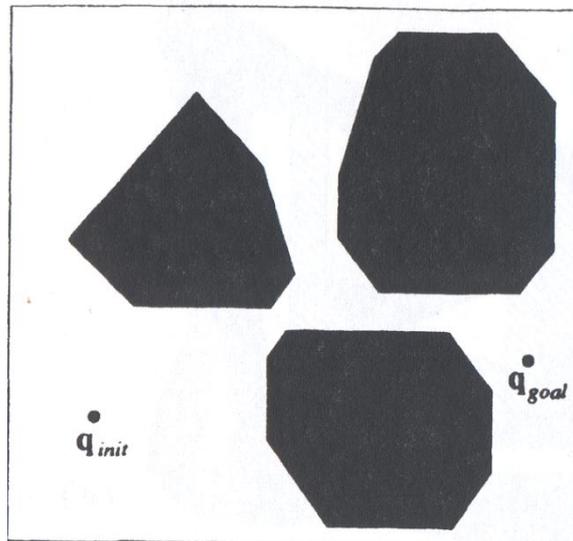
Nicht holonome Fahrzeuge

- ▶ Eingeschränkte Bewegungsfreiheit
- ▶ Erweiterung des Arbeitsraums um 1-Dimension:
 - ▶ Lenkwinkel – Fz-Drehung – Var.Kontursicht



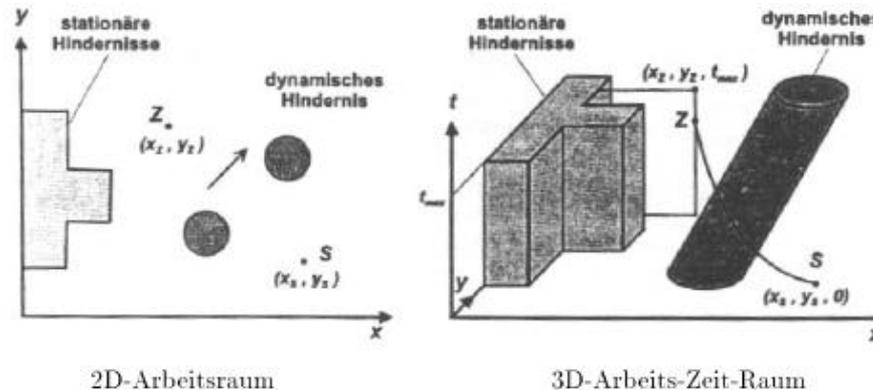
Routenfindung

- ▶ **Approximate Cell Decomposition**
 - ▶ Quad-Tree-Zerlegung
 - ▶ Aufbau eines Verbindungsgraphen
 - ▶ Routenfindung mittels A*-Algorithmus

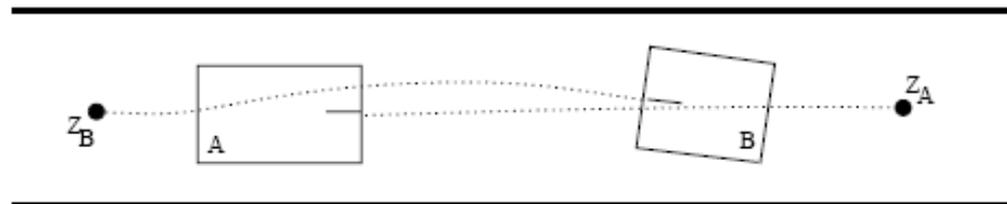


Multiroboter Planungsverfahren

► Erweiterung des Arbeitsraum um die Zeit



► Mit dezentralen Ansätzen nicht ohne Probleme Lösbar



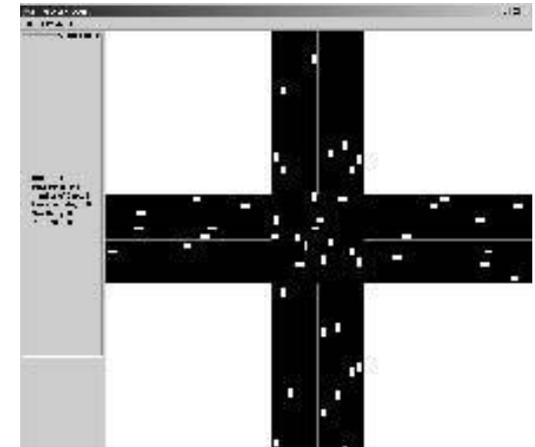
Multiroboter Planungsverfahren

- ▶ **Verfahren mit zentralem Ansatz:**
 - ▶ Die Wege aller Fahrzeuge sind gleichzeitig von einer zentralen Einheit zu planen.

- ▶ **Verfahren mit dezentralem Ansatz:**
 - ▶ Die Wege aller Fahrzeuge sind nacheinander zu planen und anschließend anzupassen.
 - ▶ Verfahren:
 - ▶ Velocity Tuning
 - ▶ Prioritizing

Kreuzungsbereiche reservieren

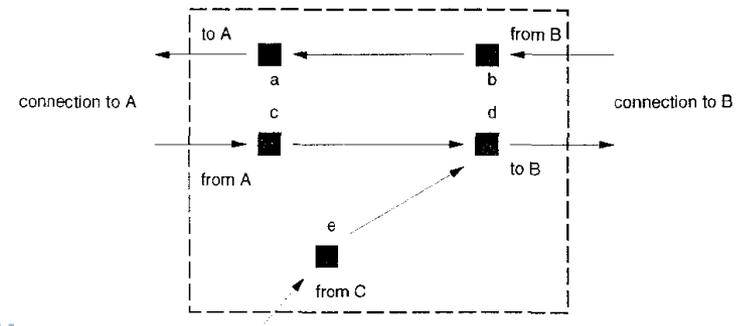
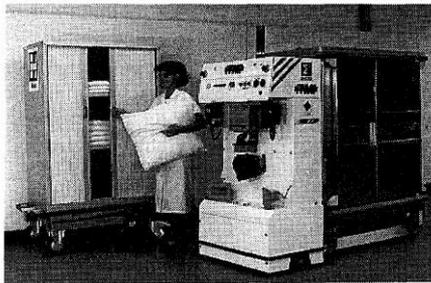
- ▶ **Gerasterter Kreuzungsbereich**
 - ▶ Anpassung der Rastergröße möglich
- ▶ **Anmeldung der Fahrzeuge bei der Ampel**
 - ▶ Ampelsteuerung berechnet freien Pfad im Zeit-Raum
 - ▶ Geschwindigkeitsanpassung
- ▶ **Nachteil:**
 - ▶ Fzg. müssen Reservierung einhalten
 - ▶ Zentrale Instanz notwendig



FIRST

▶ **F**riendly **I**nteractive **R**obot for **S**ervice **T**asks

- ▶ Verteilte Routenplanung auf Graphen
- ▶ Maximal ein FTS pro Fahrsegment
- ▶ Zentrales Managementsystem
 - ▶ Behandlung von Ressourcenkonflikten
 - ▶ Konfliktzonen sind in Datenbank hinterlegt
 - ▶ Regelbasierte Lösung von Konflikten

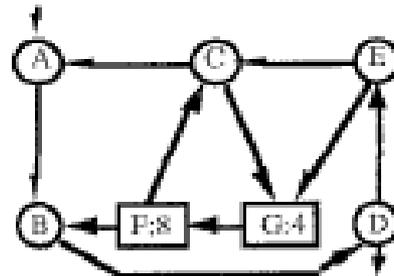
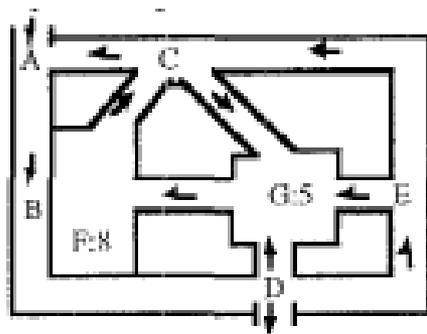


FTS in Seehafen-Containerterminals

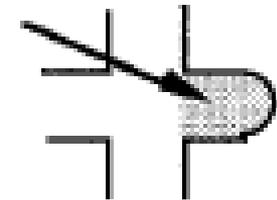
- ▶ **Komplexe Wegstrecken**
- ▶ **Übliche Lösungsansätze:** *Claiming*-Konzept
- ▶ **Meist zentrale Lösungen**
- ▶ **FTS nicht intelligent**
 - ▶ **Sendet Sensordaten an zentralen Planner**
 - ▶ **zentraler Planner entscheidet über FTS-Bewegung**
- ▶ **Verlagerung der Problemstellung auf Scheduler und Deadlockbehandlung**

Signaltafelprinzip: Verteilte Verkehrsregelung

- ▶ Reservieren von unidirektionalen Fahrsegmenten
- ▶ Informationsaustausch: Signaltafelprinzip
- ▶ Dezentrale Deadlockerkennung
- ▶ Deadlockauflösung mit Hilfe von Buffer-Zonen
 - ▶ Gruppenbildung beteiligter FTS



buffering area



Zusammenfassung der Lösungen

| Kriterien | Cell Decomposition | Raum-Zeit-Reservierung | FIRST | Signaltafelprinzip |
|--------------------|---|------------------------|---|-------------------------------------|
| Steuerung | zentral / dezentral | dezentral | zentral | dezentral |
| Navigation | Hinderniskarte | 3D-Raster | Graph | Graph |
| Deadlockbehandlung | zentral / dezentral | Global, zentral | Lokal, zentral | lokal, dezentral |
| Rechenaufwand | -- | - | ++ | + |
| Pro | Sehr flexibel, Nutzung Arbeitsbereich | Velocity Tuning | Regeln können schnell angepasst werden | nur unidirektionale Fahrsegmente |
| Contra | sehr komplexe Berechnungen aller Routen | 1 Kreuzungsbereich | Regeln können sehr Komplex werden | benötigt Puffer Bereiche |

Agenda

- ▶ Motivation
- ▶ Existierende Ansätze und Lösungen
- ▶ **Simulationsergebnisse AGV-Simulator**
- ▶ Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

Simulationsergebnisse AGV-Simulator

- ▶ **Fahrspuren als gerichteter Graph**
 - ▶ Pro Fahrsegment sind mehrere FTS erlaubt
 - ▶ **Kritische Bereiche**
 - ▶ Vermeidung von Deadlocks durch sichere offline Planung
 - ▶ In kritischen Bereichen ist maximal ein FTS erlaubt
 - ▶ Kritische Bereiche bestehen aus einer Menge von Fahrsegmenten
 - ▶ **Dezentrale Routenplanung der FTS**
-

Simulationsergebnisse AGV-Simulator

- ▶ **Überwachung der Route**
 - ▶ Rechtzeitiges anfordern / freigeben der benötigten Kritischen Bereiche von einem zentralen System

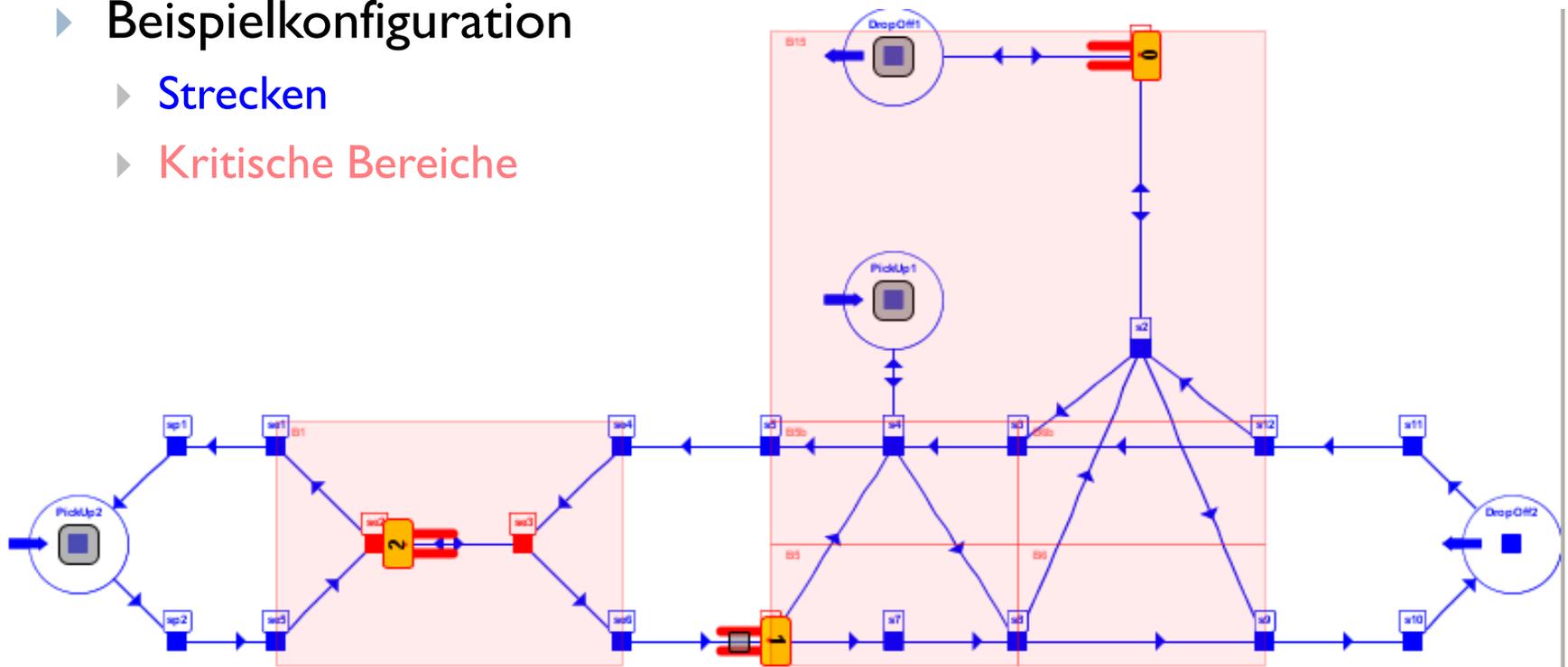
- ▶ **Weitere Aufgaben**
 - ▶ Implementierung von Scheduling / Priorisierung
 - ▶ Erweiterung um Dealockerkennung / Deadlockvermeidung
 - ▶ Effizienz der Kritischen Bereiche verbessern

Simulationsergebnisse AGV-Simulator

► Erweiterung AGV-Simulator

► Beispielkonfiguration

- Strecken
- Kritische Bereiche



Ausblick

- ▶ **Projekt: Zentralgestützte Referenzimplementierung**
 - ▶ Dezentrale Ressourcen-Anforderungen
 - ▶ Zentrale Ressourcen-Freigabe
 - ▶ Deadlockfreiheit sicherstellen durch Deadlock-Avoidance

- ▶ **Masterarbeit**
 - ▶ Erweiterung der Simulation
 - ▶ Priorisiertes Scheduling
 - ▶ Vollständig dezentrale Implementierung
 - ▶ Portierung auf FTS

Literatur

- ▶ J.C. Latombe: Robot Motion Planning, Kluwer Academic Publishers 2007, ISBN 0-7923-9129-2
- ▶ A. Helleboogh, T. Holvoet, Y. Berbers: Testing AGVs in Dynamic Warehouse Environments, Environments for Multi-Agent Systems II, 2006
- ▶ K.Dressner, P.Stone: Multiagent Traffic Management: An Improved Intersection Control Mechanism, ACM 2005
- ▶ K.Dressner, P.Stone: Multiagent Traffic Management: A Reservation-Based Intersection Control Mechanism, ACM 2004
- ▶ O.Cause, L.H.Pampagnin: Management of a multi-robot system in a public environment, IEEE 1995

Literatur

- ▶ K.Moorthy, W.Guan: Deadlock Prediction and Avoidance in an AGV System. Masterarbeit Singapore-MIT Alliance 2007
- ▶ H.G.Filipp: Kooperative Navigation in einem Multiagentensystem, Diplomarbeit Universität Stuttgart 1996
- ▶ A.S.Tannenbaum: Moderne Betriebssysteme, Carl Hanser Verlag 1995. ISBN 3-446-18402-3
- ▶ A.S.Tannenbaum: Distributed Systems, Pearson 2007. ISBN 0-13-239227-5
- ▶ A.S.Tannenbaum: Verteilte Betriebssysteme, Prentice Hall 1995. ISBN 3-930436-23-X

Literatur

- ▶ T.Lüth: Technische Multi-Agenten-Systeme, Carl Hanser Verlag 1998. ISBN 3-446-19468-1
- ▶ M. Lehmann: Einsatzplanung von Fahrerlosen Transportsystemen in Seehafen-Containerterminals, Dissertation TU-Berlin 2006
- ▶ V.Viereck: Dezentrale kooperative Planung für mobile Robotersysteme, Diplomarbeit TU-Berlin 2001

Kollisionsfreie Routenplanung autonomer Fahrzeuge

Carsten Schulz

INF-M3 - Seminar/Ringvorlesung - Wintersemester 2007/2008

14. Dezember 2007