

# AW2

## Koordination von autonomen Fahrzeugen

Johann Heitsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Science

31. August 2009

# Übersicht

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 Related Work
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
    - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 Related Work
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Koordination von autonomen Fahrzeugen

Aufgaben [5][10]

- Planen der kürzesten Route vom aktuellen Standpunkt zum Ziel
- Vermeiden von Kollisionen mit anderen Fahrzeugen oder statischen Hindernissen
- Vermeiden von Deadlocks

# Koordination von autonomen Fahrzeugen

## Probleme

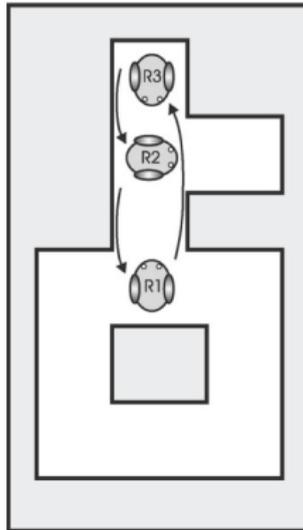


Abbildung: Zu lösender Konflikt [8]

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 Related Work
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Zentrale Planung [8]

### Idee:

- eine zentrale Einheit berechnet die Wege aller Fahrzeuge voraus

### Vorteile:

- Vollständigkeit
- Optimalität
- Fahrzeuge brauchen keine interne Repräsentation über die Umgebung

### Nachteile:

- hohe Komplexität (wächst stark mit der Anzahl der Fahrzeuge)
- Infrastruktur notwendig

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Zentrale Planung [8]

### Idee:

- eine zentrale Einheit berechnet die Wege aller Fahrzeuge voraus

### Vorteile:

- Vollständigkeit
- Optimalität
- Fahrzeuge brauchen keine interne Repräsentation über die Umgebung

### Nachteile:

- hohe Komplexität (wächst stark mit der Anzahl der Fahrzeuge)
- Infrastruktur notwendig

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Zentrale Planung [8]

### Idee:

- eine zentrale Einheit berechnet die Wege aller Fahrzeuge voraus

### Vorteile:

- Vollständigkeit
- Optimalität
- Fahrzeuge brauchen keine interne Repräsentation über die Umgebung

### Nachteile:

- hohe Komplexität (wächst stark mit der Anzahl der Fahrzeuge)
- Infrastruktur notwendig

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Dezentrale Planung [8]

### Idee:

- Fahrzeuge planen unabhängig und autonom ihre Route
- Kollisionsvermeidung lokal zwischen den beteiligten Fahrzeugen

### Vorteile:

- geringe Komplexität bei der Routenberechnung (unabhängig von der Anzahl der Fahrzeuge)
- kein "single point of failure"

### Nachteile:

- Algorithmen für die lokale Kollisionsvermeidung
- Erkennung von Deadlocks notwendig
- sichere Kommunikation zwischen Robotern
- mehr Wissen des Fahrzeuges über die lokale Umwelt

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Dezentrale Planung [8]

### Idee:

- Fahrzeuge planen unabhängig und autonom ihre Route
- Kollisionsvermeidung lokal zwischen den beteiligten Fahrzeugen

### Vorteile:

- geringe Komplexität bei der Routenberechnung (unabhängig von der Anzahl der Fahrzeuge)
- kein “single point of failure”

### Nachteile:

- Algorithmen für die lokale Kollisionsvermeidung
- Erkennung von Deadlocks notwendig
- sichere Kommunikation zwischen Robotern
- mehr Wissen des Fahrzeuges über die lokale Umwelt

# Verfahren zur Koordinierung von Fahrzeugen

## Dezentrale Planung [8]

### Idee:

- Fahrzeuge planen unabhängig und autonom ihre Route
- Kollisionsvermeidung lokal zwischen den beteiligten Fahrzeugen

### Vorteile:

- geringe Komplexität bei der Routenberechnung (unabhängig von der Anzahl der Fahrzeuge)
- kein “single point of failure”

### Nachteile:

- Algorithmen für die lokale Kollisionsvermeidung
- Erkennung von Deadlocks notwendig
- sichere Kommunikation zwischen Robotern
- mehr Wissen des Fahrzeuges über die lokale Umwelt

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 **Related Work**
  - **Anbieter kommerzieller Produkte**
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Anbieter

- STILL GmbH (Hamburg)
- E&K Automation (Rosengarten/Nenndorf)
- MLR System GmbH (Ludwigsburg)
- Frog AGV Systems B.V. (Niederlande)
- ...

## Produkte der STILL GmbH [4]

- zentrales Transport- /Staplerleitsystem MMS.i



Abbildung: Autonome Stapler von STILL

## Produkte von E&K Automation [3]

- zentrales Leitsystem



Abbildung: Autonome Fahrzeuge ausgerüstet von E&K Automation



# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 **Related Work**
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - **Kommunikationstechniken**
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]



# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]

### Ziele:

- Entwicklung eines Standards für die C2C Kommunikation in Europa
- Entwicklung von sicherheitsrelevanten Anwendungen
- Reservierung eines exklusiven Frequenzbandes
- Ausbreitung des Standards über die gesamte Welt
- Erstellung von Entwicklungsstrategien und Business Modellen für eine schnelle Markteinführung

# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]

### Szenarios:

- Safety
  - Cooperative Forward Collision Warnung
  - Pre-Crash Sensing/Warning
  - Hazardous Location V2V Notification
- Traffic Efficiency
  - Enhanced Route Guidance and Navigation
  - Green Light Optimal Speed Advisory
  - V2V Merging Assistance
- Infotainment and Others
  - Internet Access in Vehicle
  - Point of Interest Notification
  - Remote Diagnostics

# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]

### Szenarios:

- Safety
  - Cooperative Forward Collision Warnung
  - Pre-Crash Sensing/Warning
  - Hazardous Location V2V Notification
- Traffic Efficiency
  - Enhanced Route Guidance and Navigation
  - Green Light Optimal Speed Advisory
  - V2V Merging Assistance
- Infotainment and Others
  - Internet Access in Vehicle
  - Point of Interest Notification
  - Remote Diagnostics

# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]

### Szenarios:

- Safety
  - Cooperative Forward Collision Warnung
  - Pre-Crash Sensing/Warning
  - Hazardous Location V2V Notification
- Traffic Efficiency
  - Enhanced Route Guidance and Navigation
  - Green Light Optimal Speed Advisory
  - V2V Merging Assistance
- Infotainment and Others
  - Internet Access in Vehicle
  - Point of Interest Notification
  - Remote Diagnostics

# Kommunikation

## Car2Car Communication Consortium [1]

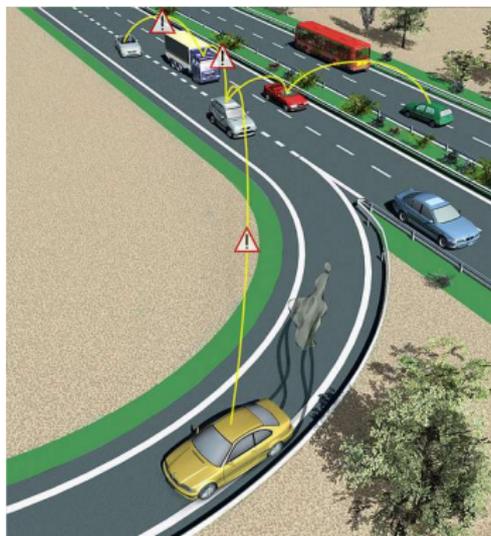


Abbildung: Ein Szenario des C2C Consortiums

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 **Related Work**
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - **Sonderforschungsbereich TR 28**
  - Sensortechniken
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# TR 28

## Cognitive Automobiles [2]

### Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft

- Research area A: Distributed Sensorial Perception
  - A1: Attention driven mono-/stereoscopic Perception of Complex Traffic Environments
  - A2: Detection, Classification and State Estimation of Traffic related Objects
  - A3: Integration of complementary Sensors and Data Fusion
  - A4: Cooperative Perception of communicating Vehicles

# TR 28

## Cognitive Automobiles [2]

- Research area B: Behavior Decision, Generation and Contribution
  - B1: Interpretation of Traffic situations and Recognition of Behaviors
  - B2: Cognitive Behavior Decision and Path Planning
  - B3: Distributed Cooperation
  - B7: Safety assessment of autonomous decisions with methods of hybrid verification

# TR 28

## Cognitive Automobiles [2]

- Research area C: Automobiles and IT Basis System
  - C1: Vehicle Dynamics and Control Concepts
  - C2: Vehicle Dynamics and Control Strategies with detailed Trajectory Planning
  - C3: Hardware and Software- Architecture
  - C4: Car-to-Car Communication

# TR 28

## Cognitive Automobiles [2]

Ziel: autonom fahrende Fahrzeuge in einer stadtähnlichen Umgebung



Abbildung: Mitglieder des TR 28

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 **Related Work**
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - **Sensortechniken**
  - Algorithmen
- 3 Zusammenfassung

# Sensoren

## Navigation und Ortsbestimmung

Sensoren für die Ortsbestimmung:

- Odometrie
- Spurführung mit kontinuierlicher Linie
- Rasternavigation
- Lasernavigation
- Bildverarbeitungs-basierte Navigation
- GPS (outdoor)

# Sensoren

## Navigation und Ortsbestimmung

Sensoren für die Personensicherheit:

- Laserscanner
- Bildverarbeitungs-basierte Systeme

# Sensoren

Sensorfusion [6][9][11]

- einzelne Sensoren sind fehleranfällig
- die Fusion von mehreren Sensordaten erhöht die Qualität der Daten
- mehrere Fahrzeuge haben verschiedenen Sichten
- Gesamtheit der Ansichten einer Situation enthält mehr Informationen

# Sensoren

Sensorfusion [6][9][11]

- einzelne Sensoren sind fehleranfällig
- die Fusion von mehreren Sensordaten erhöht die Qualität der Daten
- mehrere Fahrzeuge haben verschiedene Sichten
- Gesamtheit der Ansichten einer Situation enthält mehr Informationen

# Outline

- 1 Einführung
  - Koordination von autonomen Fahrzeugen
  - zentrale vs. dezentrale Verfahren
- 2 **Related Work**
  - Anbieter kommerzieller Produkte
  - Kommunikationstechniken
  - Sonderforschungsbereich TR 28
  - Sensortechniken
  - **Algorithmen**
- 3 Zusammenfassung

# Conflict-Free Motion of Multiple Mobile Robots Based on Decentralized Motion Planning and Negotiation

Azarm, K. & Schmidt, G. (IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, 1997) [5]

- komplett dezentraler Ansatz
- lokale Konfliktbehebung durch Verhandlung
- dynamische Vergabe von Prioritäten
- kooperative Strategie

# Distributed Route Planning for Multiple Mobile Robots Using an Augmented Lagrangian Decomposition and Coordination Technique

Nishi, T.; Ando, M. & Konishi, M. (IEEE Transactions on Robotics, 2005) [7]

- komplett dezentraler Ansatz
- keine lokale Konfliktbehebung
- Routenplanung durch Constrains
- gelöst durch “Lagrangian Decomposition”

# Zusammenfassung

was ist bereits möglich?

- zentrale Planung von verschiedenartigen Fahrzeugen
- dezentrale Planung von gleichartigen Fahrzeugen
- Strategien für die Bewegungsplanung von autoähnlichen Fahrzeugen
- Navigation in bekannten Umgebungen

# Zusammenfassung

was ist bereits möglich?

- zentrale Planung von verschiedenartigen Fahrzeugen
- dezentrale Planung von gleichartigen Fahrzeugen
- Strategien für die Bewegungsplanung von autoähnlichen Fahrzeugen
- Navigation in bekannten Umgebungen

# Zusammenfassung

was ist bereits möglich?

- zentrale Planung von verschiedenartigen Fahrzeugen
- dezentrale Planung von gleichartigen Fahrzeugen
- Strategien für die Bewegungsplanung von autoähnlichen Fahrzeugen
- Navigation in bekannten Umgebungen

# Zusammenfassung

was ist bereits möglich?

- zentrale Planung von verschiedenartigen Fahrzeugen
- dezentrale Planung von gleichartigen Fahrzeugen
- Strategien für die Bewegungsplanung von autoähnlichen Fahrzeugen
- Navigation in bekannten Umgebungen

# Zusammenfassung

## offene Probleme

- nicht omnidirektionalen Fahrzeugen
- nicht einheitliche Fahrzeuge
- Kartenbasierte Navigation und Planung
- Kamera- und Odometriebasierte Lokalisierung

# Zusammenfassung

## offene Probleme

- nicht omnidirektionalen Fahrzeugen
- nicht einheitliche Fahrzeuge
- Kartenbasierte Navigation und Planung
- Kamera- und Odometriebasierte Lokalisierung

# Schluß

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

# Literatur I



Car 2 car communication consortium, 2007.



Cognitive automobiles, 2009.



E&k automation, 2009.



Still gmbh, 2009.



K. Azarm and G. Schmidt.

Conflict-free motion of multiple mobile robots based on decentralized motion planning and negotiation.  
volume 4, pages 3526–3533 vol.4, Apr 1997.



A. Barth and U. Franke.

Where will the oncoming vehicle be the next second?  
pages 1068–1073, June 2008.

## Literatur II



T. Nishi, M. Ando, and M. Konishi.

Distributed route planning for multiple mobile robots using an augmented lagrangian decomposition and coordination technique.

*Robotics, IEEE Transactions on*, 21(6):1191–1200, Dec. 2005.



M. Peasgood, C.M. Clark, and J. McPhee.

A complete and scalable strategy for coordinating multiple robots within roadmaps.

*Robotics, IEEE Transactions on*, 24(2):283–292, April 2008.

## Literatur III

-  R. Pepy, A. Lambert, and H. Mounier.  
Reducing navigation errors by planning with realistic vehicle model.  
pages 300–307, 0-0 2006.
-  R. Regele and P. Levi.  
Cooperative multi-robot path planning by heuristic priority adjustment.  
pages 5954–5959, Oct. 2006.
-  Huijing Zhao, Jinshi Cui, Hongbin Zha, K. Katabira, Xiaowei Shao, and R. Shibasaki.  
Monitoring an intersection using a network of laser scanners.  
pages 428–433, Oct. 2008.