

Automatisch fahrende Fahrzeuge

Ziele:

- Erreichen einer vorgegebenen Zielposition ohne Verlassen der Fahrbahn
- Berechnung optimaler Trajektorien im dynamischen Grenzbereich für reale Kraftfahrzeuge
- Optimale Steuerung eines autonom fahrenden Fahrzeugs in einem Straßenverkehrsszenario

Modell-prädiktive Steuerung

- Berechnung optimaler Steuerungen und Trajektorien für einen vorgegebenen Zeithorizont ausgehend vom aktuellen Zustand
- Fahren mit der berechneten Steuerung für ein festes Zeitintervall führt auf einen neuen Zustand
- Erneute Berechnung optimaler Steuerungen und Trajektorien für den Zeithorizont ausgehend vom dann aktuellen Zustand

Fahrzeugmodelle

Kinematisches Modell

$$\begin{aligned} x' &= v \cos(\psi) \\ y' &= v \sin(\psi) \\ \psi' &= \frac{v}{l} \tan(\delta) \\ v' &= a \\ \delta' &= w_\delta \end{aligned}$$

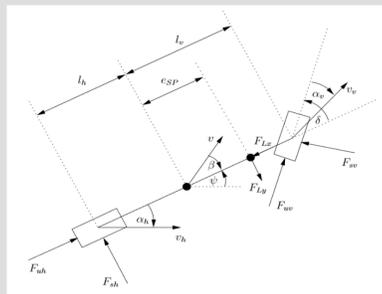
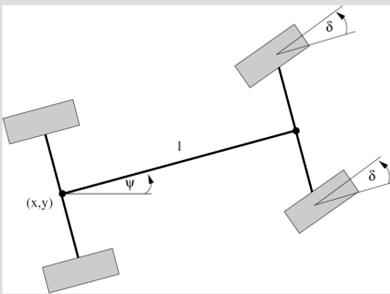
Steuerung der Lenkwinkel-änderung w_δ und der Beschleunigung a

Modellierung des Kraftfahrzeugs durch ein Einspurmodell:

$$\begin{aligned} x' &= v_x \\ y' &= v_y \\ \psi' &= w_\psi \\ v_x' &= \frac{1}{m} [F_x \cdot \cos(\psi) - F_y \cdot \sin(\psi)] \\ v_y' &= \frac{1}{m} [F_x \cdot \sin(\psi) + F_y \cdot \cos(\psi)] \\ w_\psi' &= \frac{1}{I_{zz}} [F_{sv} \cdot l_v \cdot \cos(\delta) - F_{sh} \cdot l_h - F_{Ay} \cdot e_{sp} + F_{sv} \cdot l_v \cdot \sin(\delta)] \\ \delta' &= w_\delta \end{aligned}$$

Steuerung der Lenkwinkeländerung w_δ und der Brems- bzw. Antriebskraft F_B

In die internen Fahrzeugkräfte gehen die Reifenkennlinien, ein Reibmodell und ein Antriebsmodell ein.



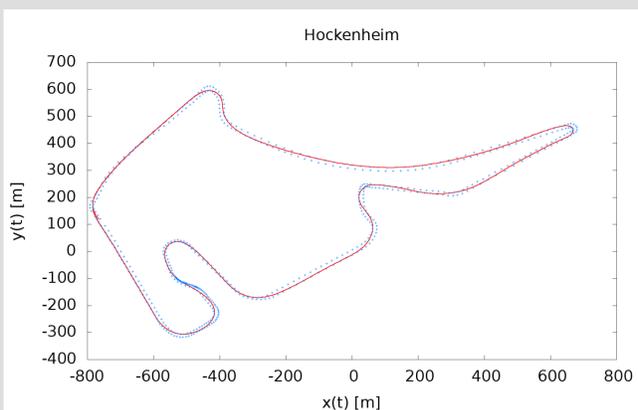
Berechnung einer optimalen Rennlinie

Mathematische Herausforderungen

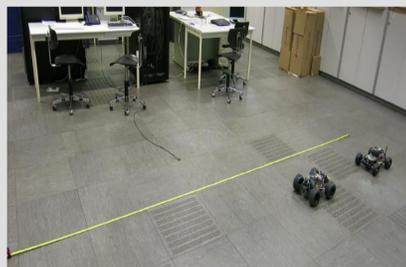
- Entwicklung robuster Lösungsverfahren
- Auffinden geeigneter Koordinatenparametrisierungen
- Identifikation passender Optimierungsparameter

Lösungskonzept

- Optimierung der Fahrzeugtrajektorie mit einem festen Zeithorizont
- maximaler Streckenfortschritt in Bezug auf die Mittellinie als Optimalitätskriterium
- Zusätzliche Bestrafung der Lenkwinkeländerung und des Rückstellmoments
- Lösung der Optimalsteuerungsprobleme, z.B. mit dem Softwarepaket OCPIID-DAE1



Validierung mit Modellfahrzeugen



Kontakt

Prof. Dr. Matthias Gerds
Institut für Mathematik und Rechneranwendung (LRT1)
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

**Ingenieur
Mathematik**
email: matthias.gerds@unibw.de
WWW: <http://www.unibw.de/lrt1/gerds>

Autonome kommunizierende Fahrzeuge

Ziele:

- Alle Fahrzeuge erreichen ihre vorgegebenen Zielposition ohne Verlassen der Fahrbahn
- Vermeidung von Kollisionen mit anderen Fahrzeugen
- Optimale Steuerung aller am Verkehrsszenario beteiligten autonom fahrenden Fahrzeuge

Hierarchische Steuerung

- Autos übermitteln Daten, wie Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung
- Basierend auf diesen Daten werden eindeutige Hierarchien für jedes Auto durch vorher festgelegte Regeln bestimmt (Straßenverkehrsregeln etc.)
- Autos mit höherer Hierarchie müssen in der Optimierung beachtet werden (Kollisionsvermeidung)
- Autos mit niedrigerer Hierarchie werden ignoriert

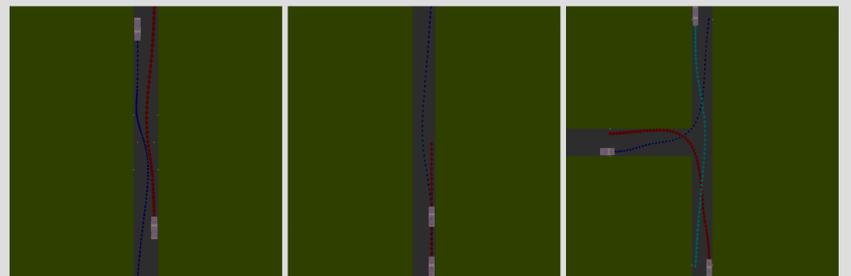
Mathematische Herausforderungen

- Optimalsteuerungsprobleme mit entkoppelten Dynamiken und Zielfunktionen
- Gekoppelte (dynamische) Zustandsbeschränkungen
- Nichtkonvexe Restriktionen

Lösungskonzept

- Approximation des Optimalsteuerungsproblems durch direkte Diskretisierung
- Lösen des diskretisierten Problems mit verteilter modell-prädiktiver Regelung

Verkehrsszenarien mit mehreren Fahrzeugen



Nash-Gleichgewichte in den Fahrstrategien

- Keine Vorgabe von Vorfahrtsregeln von außen
- Die berechneten optimalen Trajektorien garantieren, dass kein Fahrzeug besser vorankommen kann, wenn es sich nicht an die für alle optimale Gleichgewichtsbahn hält

Mathematische Herausforderungen

- Kollisionsvermeidung liefert nicht konvexe Optimalsteuerungsprobleme
- Berechnung von verallgemeinerten Nash-Gleichgewichten erfordert die Lösung von gekoppelten Optimalsteuerungsproblemen
- Häufig keine Eindeutigkeit der Lösung

Lösungskonzept

- Direkte Diskretisierung der Optimalsteuerungsprobleme aller Fahrzeuge und Verwendung von Algorithmen für endlich-dimensionale verallgemeinerte Nash-Gleichgewichtsprobleme
- Umformulierung der gekoppelten Probleme als ein einziges Optimalsteuerungsproblem mit Hilfe von normalisierten Nash-Gleichgewichten; dann Lösung mit vorhandener Software, wie OCPIID-DAE1
- Entwicklung neuer Algorithmen unter Verwendung der besten Antwort auf die aktuelle Fahrstrategie der anderen Verkehrsteilnehmer

