

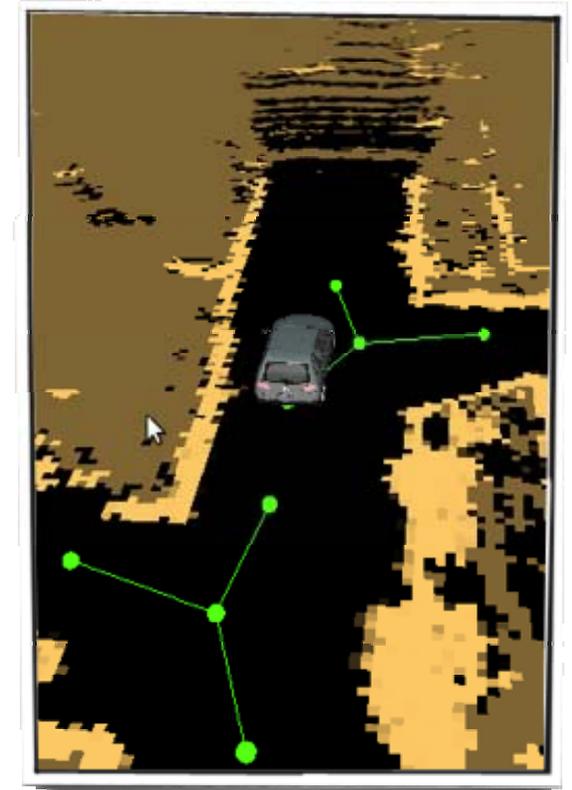
---

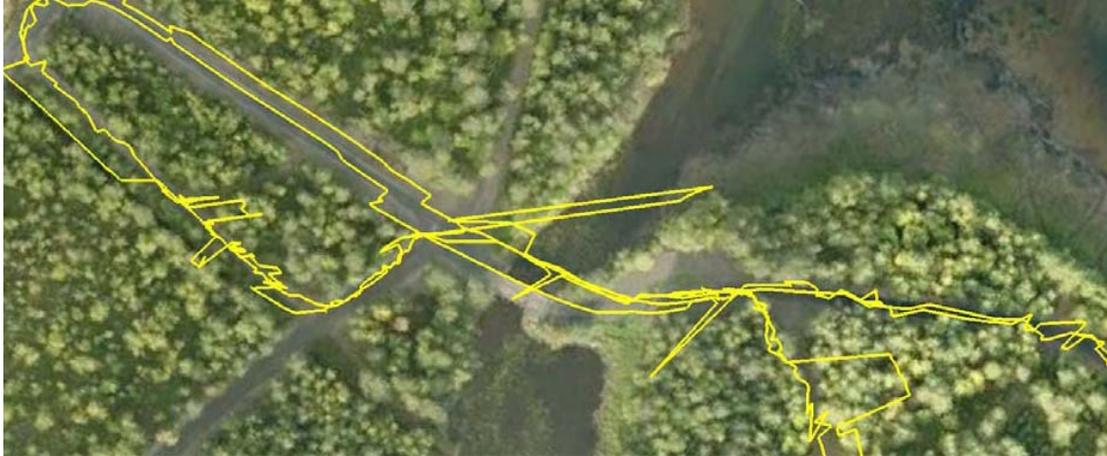
# GIS-basierte topologische Fahrzeuglokalisierung durch LIDAR Kreuzungserkennung

André Müller, Hans-Joachim Wünsche

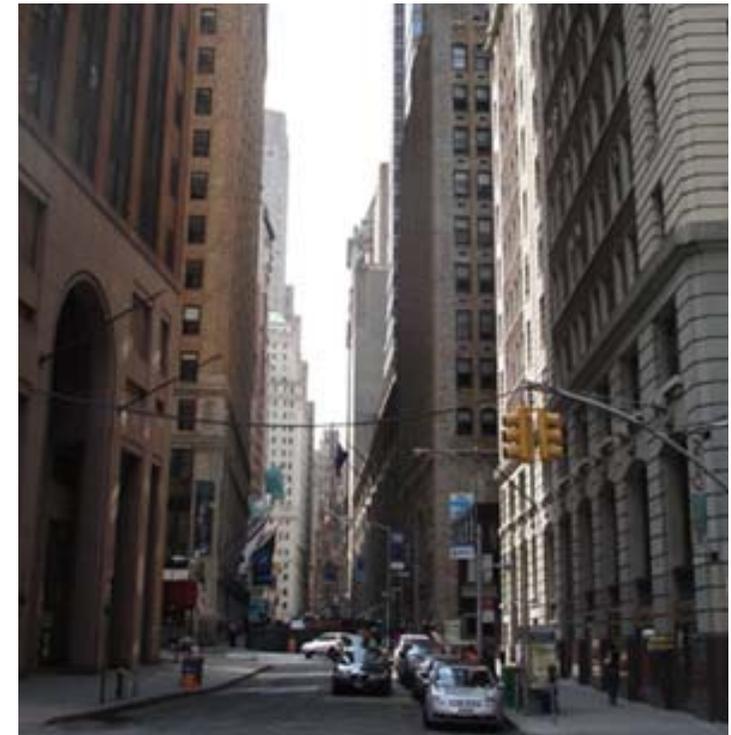
Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik  
**Institut für Technik Autonomer Systeme (TAS)**  
**Universität der Bundeswehr München**

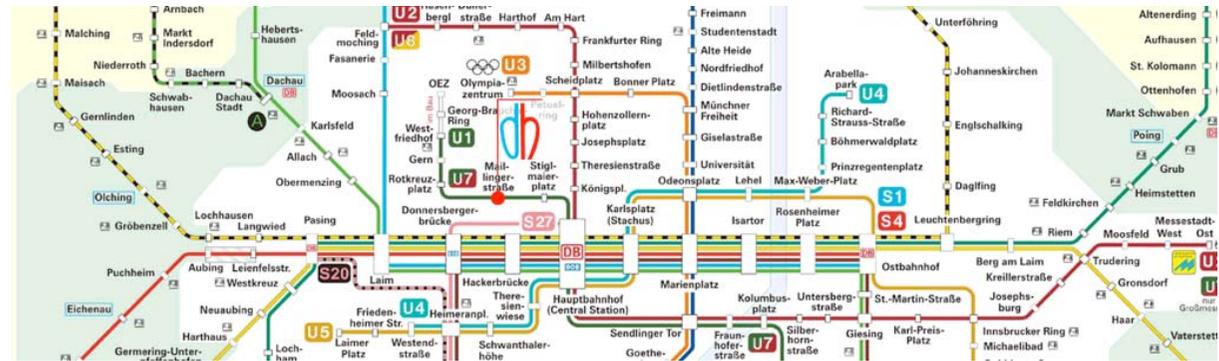
- Einleitung
  - Motivation
  - Autonomes Fahrzeug MuCAR-3
- Umgebungsrepräsentation
- Kreuzungserkennung
- GIS-Daten / Topologische Karten
- Lokalisierung
- Ausblick





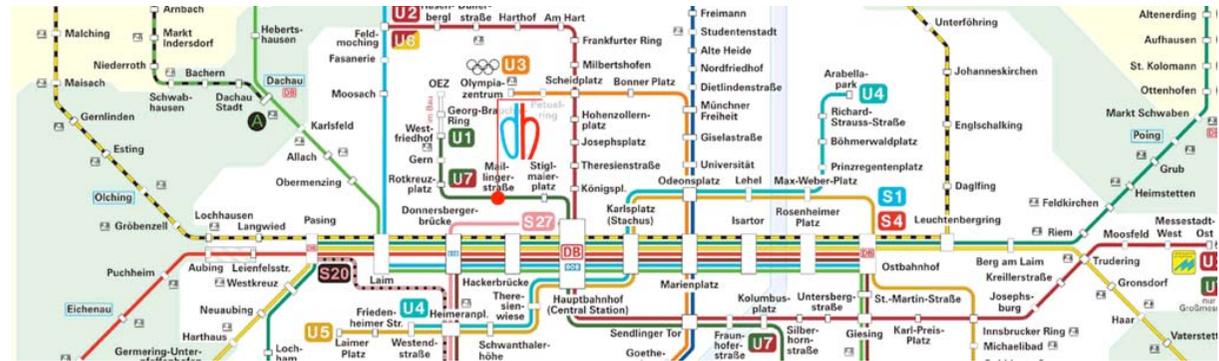
- Oft sind nur fehlerhafte GPS Signale vorhanden (Wälder, “urban canyons”) → fehlerhafte Lokalisierung, selbst bei hochwertigen GPS Empfängern
- Daher wird in Navigationssystemen kartenbasiert auf den nächsten Weg “gematcht”
- Hierzu sind notwendig:
  - 1) gute metrische Karten und
  - 2) hinreichend guter GPS Empfang





- Auch in der Robotik sind koordinaten-basierte, metrische Lokalisierungs- und Navigationsansätze üblich
- Dagegen können Menschen auch gut mit einfachen topologischen Karten navigieren und sich in diesen Karten lokalisieren, aber unter **Einbezug wahrgenommener Objekte**
- Wir Menschen konnten bis vor Kurzem **ganz ohne GPS** navigieren !
- Typische menschliche Navigationsanweisungen sind z.B.:  
“Biegen Sie an der nächsten Kreuzung links ab, dann an der dritten Kreuzung rechts, ...”
- **Voraussetzung: Wahrnehmbarkeit der entsprechend. Landmarken**





- **Frage: können diese Prinzipien menschlicher Orientierung zur Lokalisierung von Fahrzeugen verwendet werden?**

- **Wenn ja, wie ?**

- Erste Voraussetzung ist, dass das Fahrzeug die zur Navigation und Lokalisation notwendigen Landmarken wahrnehmen können muss

Hierzu wird im Folgenden:

- Das Umgebungsmodell aufgestellt

- Ein Algorithmus zur Kreuzungserkennung in unstrukturierter Umgebung vorgestellt

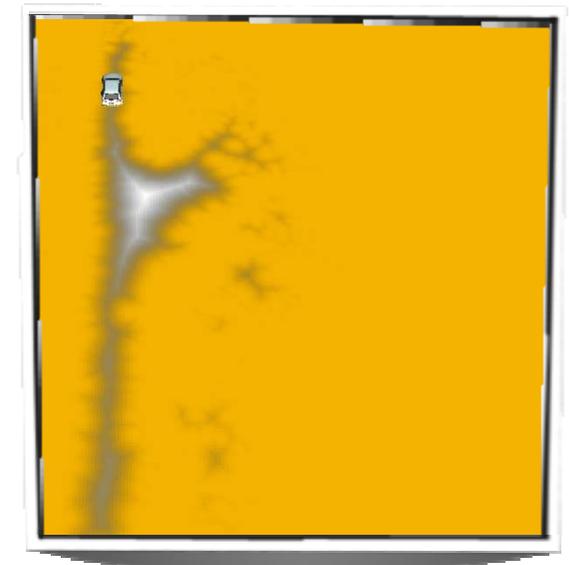
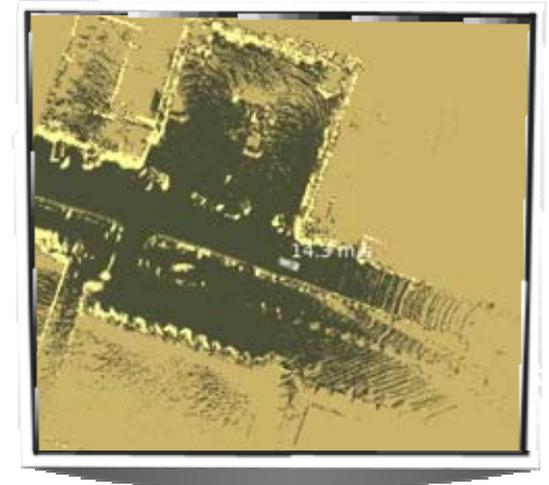
- Eine Lokalisierung auf (ungenauen) topologischen Karten durchgeführt



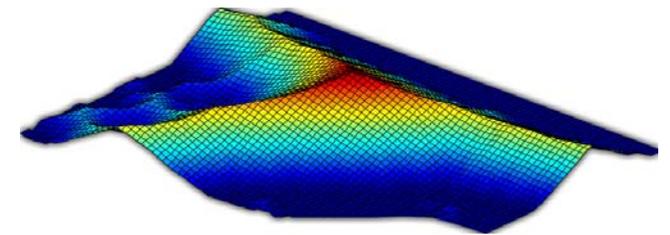
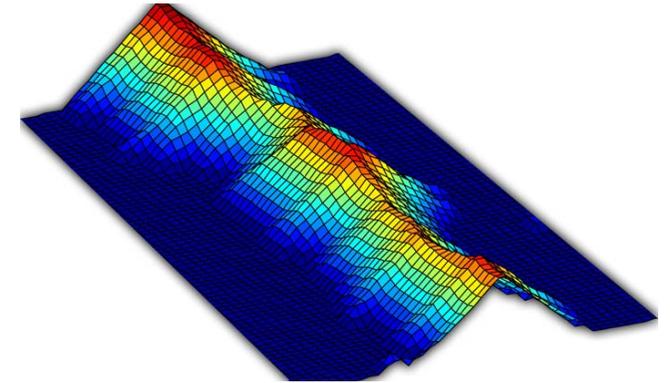
- **Munich Cognitive Autonomous Robot Car 3rd Generation**
- Inertiales-Navigations-System
  - INS = IMU + (D)GPS
- Multifokale Kamera Plattform
  - Schnelle Sakkaden in der Gierachse
  - Inertiale Nickwinkelstabilisierung
- Velodyne HDL-64 SE2 High Def. LIDAR
  - 64 Strahlen, Rotation mit 10Hz
  - 1.3 Mio. 3D Punkte pro Sekunde



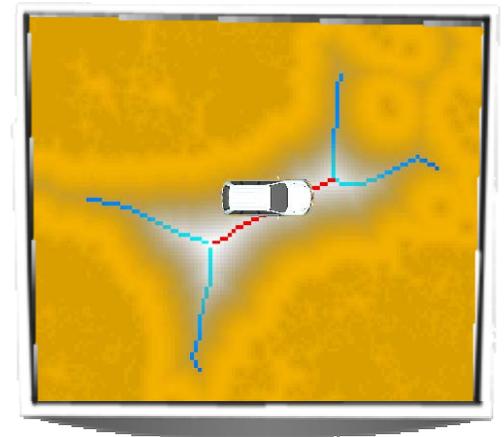
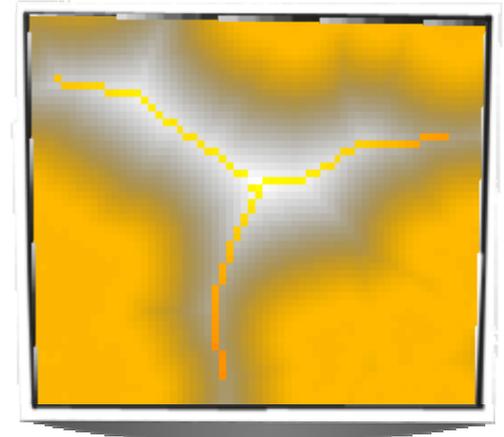
- 2.5D Fahrzeug-zentriertes Belegtheitsgitter
  - Inertial-korrigierte LIDAR-Abtastungen, durch Auswertung von IMU und Odometrie.
  - Akkumulierte Hindernisse über eine Menge von LIDAR-Abtastungen
  - Belegtheitswahrscheinlichkeit einer Gitterzelle  $0 \leq C_{\text{Pocc}} \leq 1$
- Distanz-Gitter
  - Stellt die Distanz jeder Gitterzelle zum nächsten Hindernis dar
  - Hier: je "weißer" eine Zelle, desto größer ihr Abstand zum nächsten Hindernis
  - Dient uns als Basis zur Kreuzungserkennung



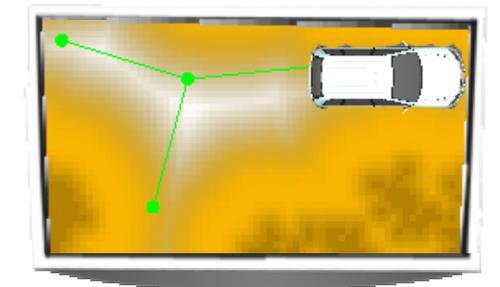
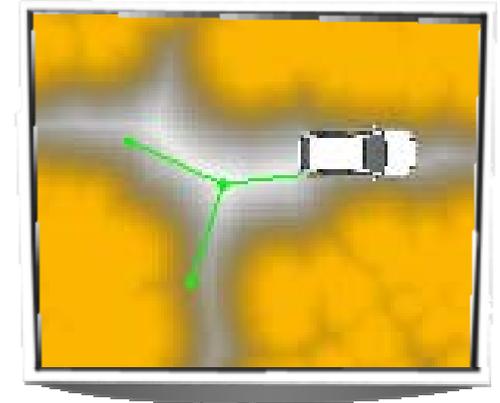
- Straßen werden im Distanz-Gitter durch einen Maximalwertverlauf repräsentiert.
- Kreuzungen sind in dieser Darstellung klar an ihrer eindeutigen Struktur zu erkennen, einem hervorstechendem Maximalwert.
- Der Maximalwert dient als erste Hypothese für das Zentrum einer Kreuzung.
- Im Gitter werden daher zuerst Regionen mit alleinstehenden Maximalwerten gesucht und dort Kreuzungsmittelpunkte angenommen.



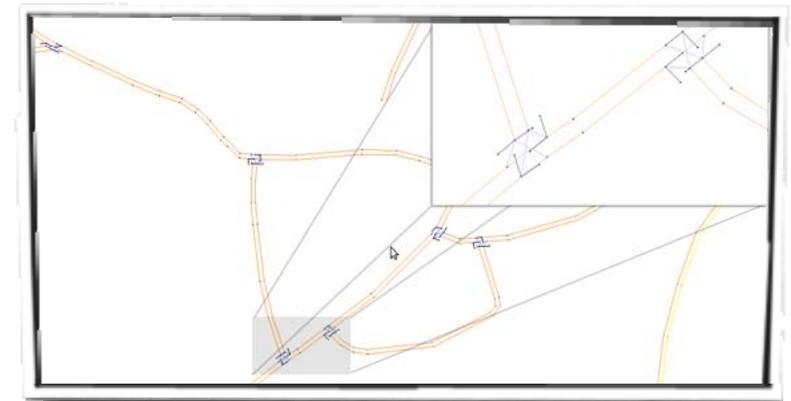
- Nun wird für jeden extrahierten Kreuzungsmittelpunkt versucht die Kreuzungstopologie zu finden.
- Dazu wird vom Mittelpunkt („Gipfel“) aus die „Gipfelgrate“ entlang gewandert um die Kreuzungsäste zu finden
- Überleben während des Expansionsprozesses mehr als zwei Äste, so wird eine Kreuzungshypothese an dieser Stelle erzeugt.
- Eine Hypothese enthält Informationen über die Position der Kreuzung im Fahrzeugkoordinatensystem, über die Anzahl der Äste und über die Winkel zwischen den Ästen.



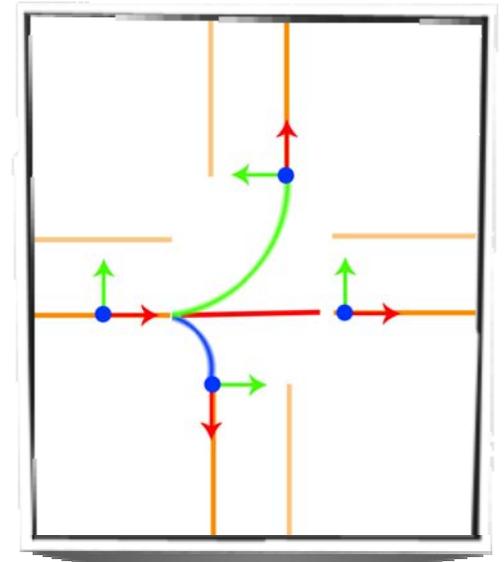
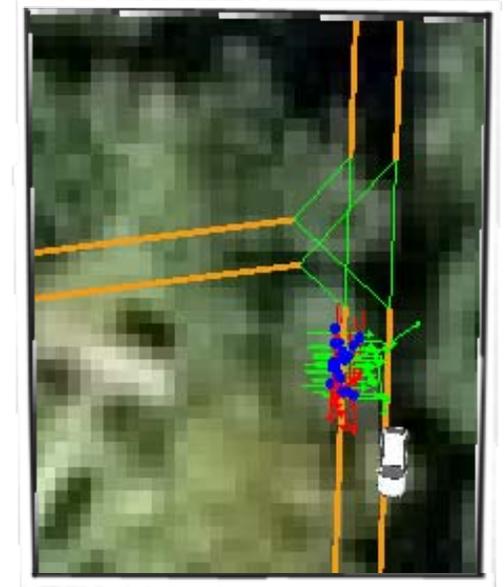
- Optimierung der Kreuzungstopologie über Levenberg-Marquardt, da das gefundene Maxima der Kreuzung nicht den wirklichen Schnittpunkt der Äste darstellt.
- Resultiert in genaueren Topologien
- Einmal aufgestellte Kreuzungshypothesen werden über einen Kalman-Filter unter Verwendung der Fahrzeugbewegung zeitlich verfolgt und verbessert
- Bereits bestehende Hypothesen werden zusätzlich mit neu erkannten Kreuzungen probabilistisch assoziiert um Fehldetektionen auszuschließen.



- Geo-Informationssystem
  - Reichhaltige Umgebungs-informationen, annotiert mit GPS oder UTM Daten.
  - Gegliedert in Ebenen mit Informationen zu bestimmten Umgebungsklassen (Bewuchs, hervorstechende Merkmale, ...)
- Topologische Karten
  - Auswertung der Straßenebenen von gegebenen GIS-Daten
  - Extraktion von Kreuzungstopologien (Anzahl der Äste, Winkel zwischen den Ästen) und den Entfernungen zwischen Kreuzungen



- Verwendung eines Partikelfilters mit 500 Partikeln.
- Initialisierung bei erster erkannter Kreuzung
  - Suche der erkannten Kreuzungstopologie im gesamten Straßennetzwerk.
  - Verteilung der Partikel in den Ästen der Kreuzungen, die der aktuellen Wahrnehmung entsprechen.
- Zwischen den Kreuzungen wird jedes Partikel nur Anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit auf dem Straßennetz weiterbewegt.
- An Kreuzungen wird unter Verwendung von Drehrate und Kreuzungstopologie eine Neuverteilung der Partikel bewirkt.



- Einbezug visueller Merkmale um das Verfahren ebenso in flachen Gebieten (Feldwege, Landstraßen, ...) zu verwenden.
- Kreuzungserkennung in dynamischen Umgebungen
- Verwendung preiswerter „Serien-“Sensorik und damit ungenauerer Umgebungs- und Bewegungsdaten
- Implementierung auf Systemen mit wenig Rechenleistung
- Einbezug wahrgenommener Kreuzungen in die aktuelle Navigation (z.B. wenn durch Baumaßnahmen die Struktur einer Kreuzung verändert wurde und der Fahrer nun nicht mehr rechts abbiegen kann).
- Kartenupdate des Navigationssystems anhand wahrgenommener Kreuzungen
- Benachrichtigung des Fahrers bei einem Update.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Fragen?**

