

# Technische Übersicht: Kartographie in der Robotik

Kaiserslautern

Robotics Research Lab

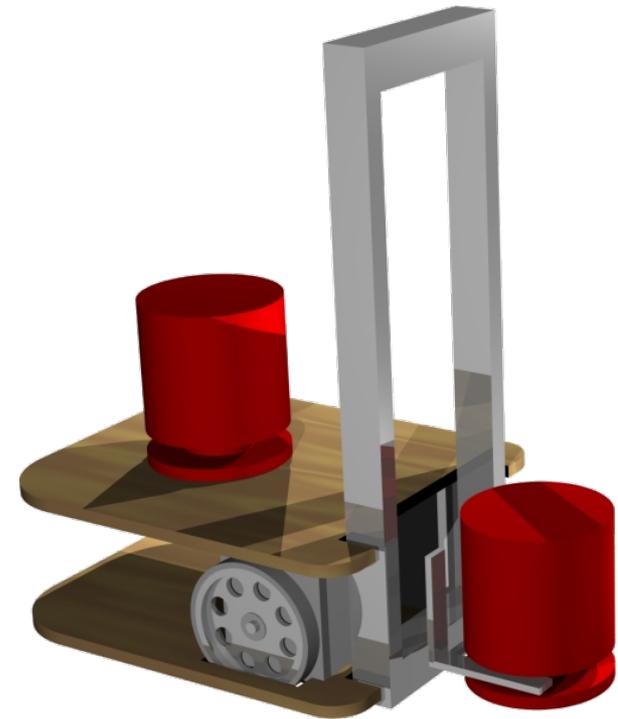
Department of Computer Science

Technische Universität Kaiserslautern

Jonas Mitschang, 30.6.2007

# Inhalt

- Einleitung
  - Motivation
  - Historische Übersicht
- Probleme beim Mapping
- Typen von Karten
  - Metrische Karten
  - Topologische Karten
  - Metrisch-Topologische Hybriden
- Zusammenfassung



# Einleitung: Motivation

- Probleme lösen / Navigation in der Umgebung
- Sensoren
- Idee, Wissen zu speichern
  - Autonom Karte bauen, in Echtzeit
- Sehr aktives Gebiet in der Robotik und künstlichen Intelligenz
  - Viel erreicht in den letzten Jahrzehnten
  - Aber noch viele Probleme zu lösen

# Einleitung: Historische Übersicht

- Mapping seit 1970er
- Unterteilung:
  - Metrisch und Topologisch
    - Heute: fließender Übergang
    - Verschiedene Vor- und Nachteile
    - Heute Hybriden
  - Robot-Centric und World-Centric
    - Robot-Centric: Einfacher, da keine Transformation
    - World-Centric: Stärker abstrahiert, Globale Karte
    - Heute: World-Centric
- Seit 1990er: Wahrscheinlichkeitstheoretische Techniken
- Gleichzeitig Karte aufbauen und Roboterposition feststellen (simultaneous localization and mapping, SLAM)

# Herausforderungen beim Mapping

- Henne-Ei-Problem:
  - Roboterposition finden auf bekannter Karte
  - Karte erstellen bei bekannter Position
- Dimension der Algorithmen
  - Begrenzte Rechenleistung
  - Abhängig von
    - Anzahl der Objekte auf der Karte
    - Kartentyp (Metrisch / Topologisch)
  - Beliebig komplex (bis zu grafischen 3D Karten)



# Herausforderungen beim Mapping

- Dynamische Umgebung
  - Roboter ist nicht einziges bewegliches Objekt
  - Hypothesen über Umgebung bei Veränderung (z.B. Menschen, offene und geschlossene Türen)
  - Häufige Annahme: Roboter ist einziges bewegliches Objekt (trifft für sehr kurze Zeitfenster zu => statische Welt)
- Erkundung und Wegfindung
  - Sehr gute Algorithmen für bekannten Karten (z.b. A\*)  
Aber nicht für unvollständige
  - Kartierungsalgorithmus muss in Echtzeit arbeiten
  - Informationsverlust bei jeder Bewegung des Roboters

# Kartentypen

- Unterteilung in Topologisch und Metrisch:

	<b>Topologisch</b>	<b>Metrisch</b>
Größenordnung	groß	klein
Sensoreingaben	abstrahiert	direkt gespeichert
Rechenzeit	gering	hoch
Speicherverbrauch	gering	hoch
Messrauschen	weniger Anfällig	stark Anfällig
Echtzeit	ja	Abhängig von Rechenleistung
Auflösung	Sehr gering	hoch

- Wahl abhängig vom Einsatzgebiet

# Metrische Karten

- Objekte (z.B. Gitter, Umrisse) mit metrischen Koordinaten
- Hochauflösender als Topologische Karten
- Mehr Rechenaufwand
- Heute: Meist zweidimensionale Gitter

## SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

- Unbekannte Umgebung, gleichzeitig:
  - Karte bauen
  - Roboterposition verfolgen
- Wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze, z.B.:
  - Kalman Filter (Bayes Filter)
  - Monte Carlo Methoden

# Metrische Karten

- Kalman Filter
  - 1960 von Rudolf Kálmán erfunden
  - Zustand eines Systems mit unvollständigen (fehlerhaften) Messungen beschreiben
  - Linearer Rekursiver Filter (LQE): Fehler minimieren
  - Effiziente rekursive (Bayes) Filter
  - Inkrementell (SLAM)
  - Nachteil: Löst das correspondence Problem nicht

# Metrische Karten

- Expectation Maximization Algorithmus (EM)
  - SLAM Alternative zu Kalman Filter
  - Erwartungswert der Karte und Roboterposition Maximieren
  - Speichert alle Sensoreingaben
  - Daten werden mehrfach bearbeitet
  - Daher: nicht inkrementell, keine Echtzeit
  - abwechselnd folgende Schritte:
    - Expectation Step: Mögliche Roboterpositionen bestimmen
    - Maximization Step: Wahrscheinlichste Karte für diese Positionen bestimmen.

# Metrische Karten

- Incremental Maximum Likelihood Method
  - Vereinigt EM und Kalman stärken
  - Einfach und weit verbreitet
  - Inkrementell => Echtzeit Kartierung
  - Nachteil: Keine zyklischen Karten



# Metrische Karten

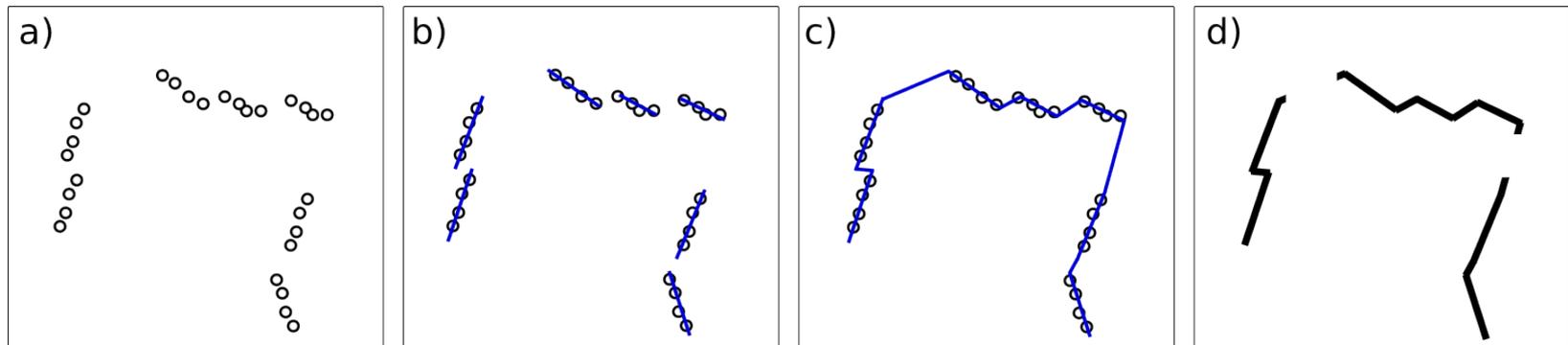
- Hybrid-Ansätze
  - Zyklische Karten möglich
  - Bei Inkonsistenz: Karten rücksetzen auf früheren Zeitpunkt
  - Nachteile:
    - Komplexe Doppeldeutigkeiten nicht möglich
    - i.A. nicht Echtzeitfähig



# Metrische Karten

## Discrete Segment Evolution

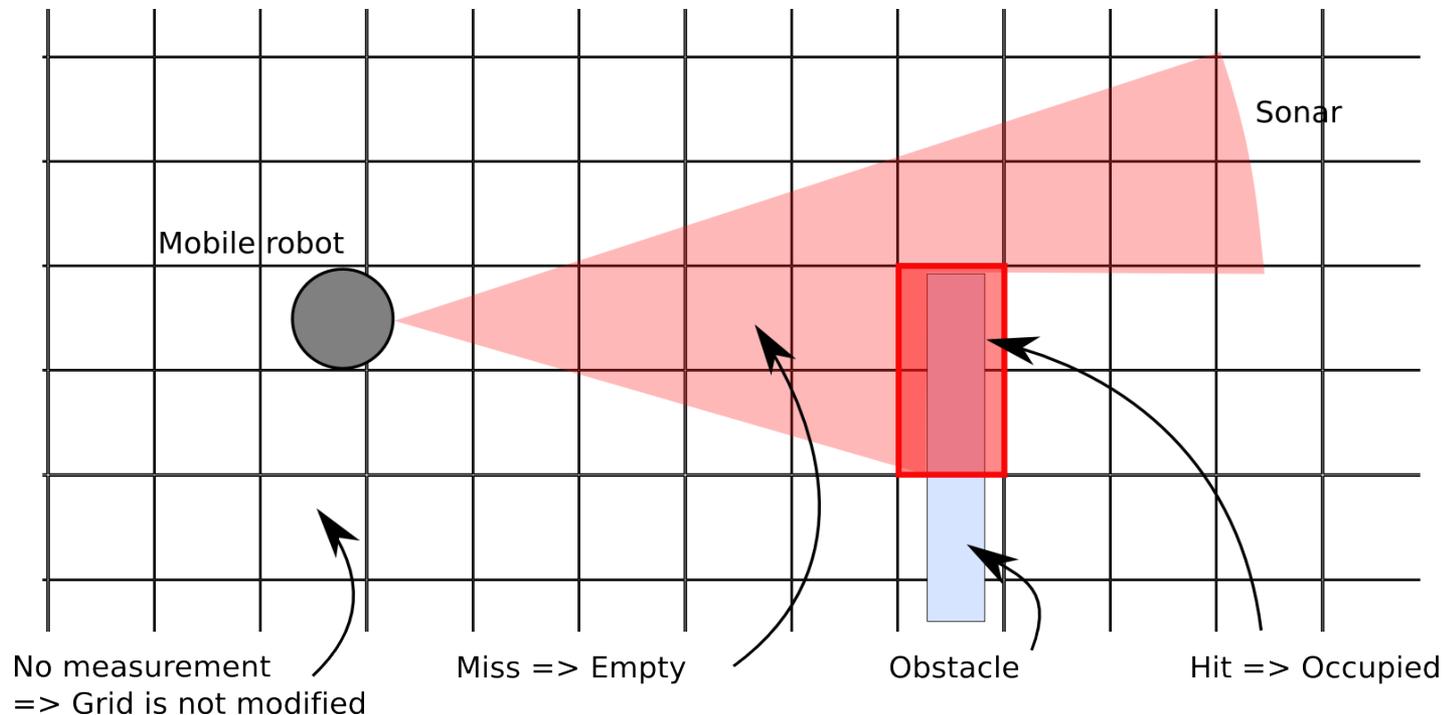
- Vorteil: Vermeidung von Odometriedaten
- Speziell für 2D-Abstandssensoren:
  - 1) Approximierung in Liniensegmente
  - 2) Liniensegmente sortieren und verbinden
  - 3) Aufsplitten der Segmente bei Scanpunkten großer Entfernung
- Erstellung der Karte durch Überlagerung und Matching



# Metrische Karten

## Occupancy Grid Maps

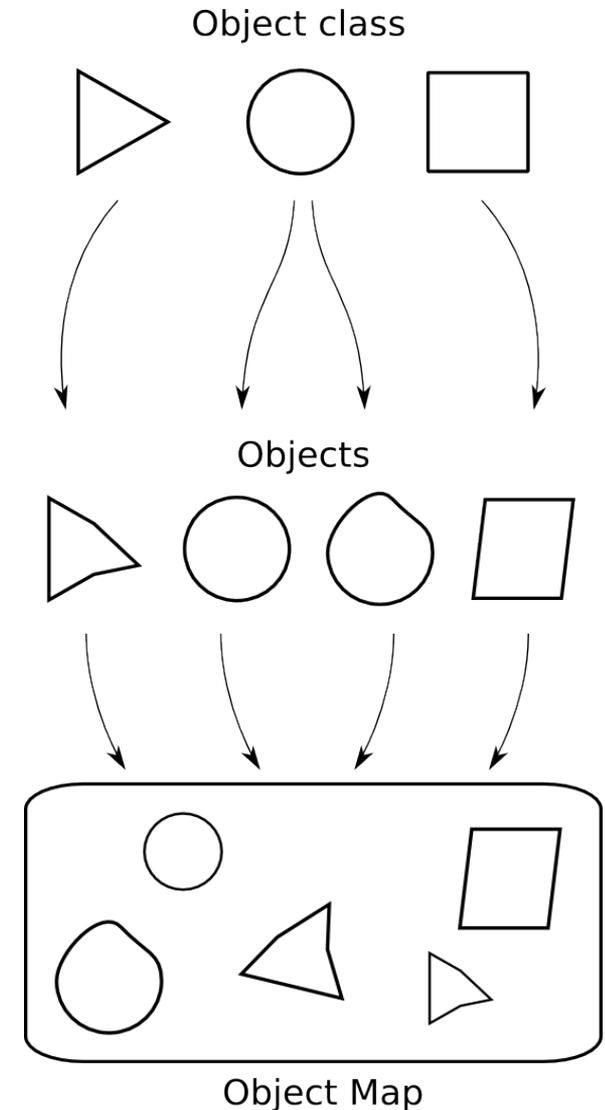
- Bekannte Roboterposition (meist kein SLAM)
- Zwei- oder dreidimensionales Gitter
- Robust, Einfach zu implementieren



# Metrische Karten

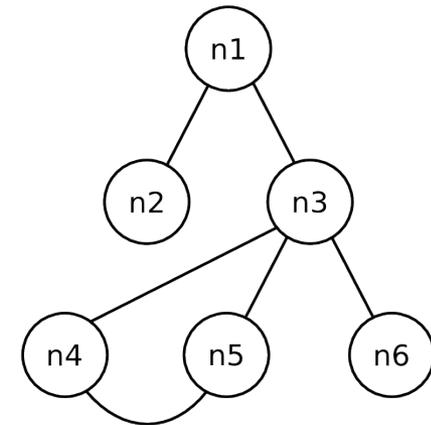
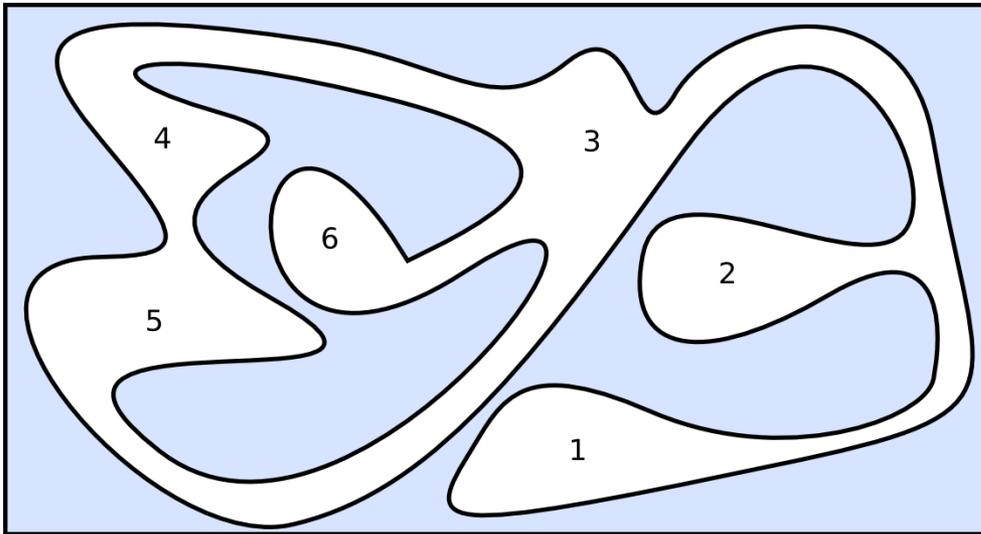
## Objekt Karten (Object Maps)

- Geometrische Objekte speichern
- Genauer
  - Vordefinierte Objekte (Klassen)
  - Modifikationen der Klassen
- Dynamische Umgebung:  
Objekt-Eigenschaften bleiben bestehen,  
auch wenn sie ihre Position ändern
- Kompakter
- bessere Human Computer Interaction



# Topologische Karten

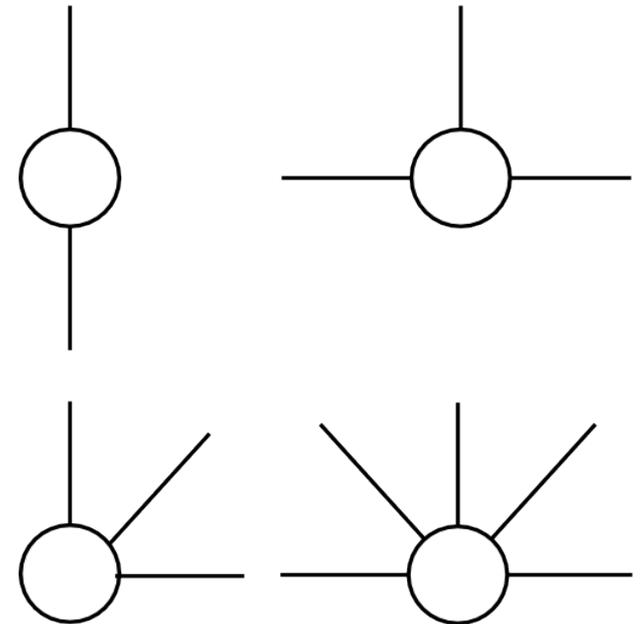
- Umgebung als Graph
  - Navigationsinformationen auf Kanten
- Großer Maßstab
- Verifizierung der korrekten Karte
- Weniger Rechen- und Speicheraufwand



# Topologische Karten

## TOUR Modell

- Einer der ersten topologischen Ansätze (Kuipers, 1977)
- Raum wird mit fünf Objekten beschrieben:
  - Routen von einem Platz zu einem anderen
  - Straßen-Netzwerke
  - Relative Vektoren zwischen Plätzen
  - Abgrenzungen
  - Regionen / Gruppierung

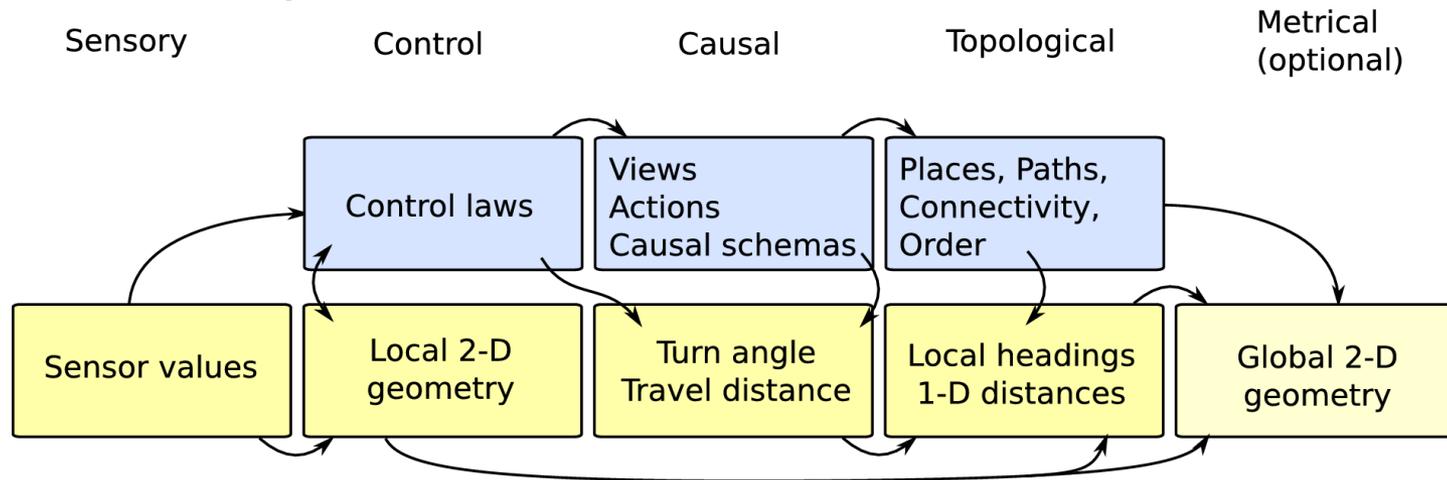


Straßen-Netzwerk-Signaturen

# Topologische Karten

## Spatial Semantic Hierarchy (SSH)

- Einteilung in fünf Ebenen:
  - *Sensory*: Kontinuierliche Welt
  - *Control*: Kontrollgesetze
  - *Causal*: Wegbeschreibungen zwischen bekannten Plätzen
  - *Topological*: Topologische Karte (Plätze, Wege, Regionen)
  - *Metrical*: Optionale metrische Karte



# Metrisch-Topologische Hybriden

## Kognitive Karten (cognitive mapping)

- 2D lokale Karten: „Map in the Head“
- Topologische Verbindung: „Atlas in the Head“
  - Nach und nach verstärkt
  - Fehlerhafte topologische Verbindungen verändern
  - Wenn stark genug: Verbinden
  - Anzahl gespeicherter Daten abhängig von verfügbaren Ressourcen

## Hybrid SSH

- Erweiterung um LPM (Local Perceptual Map):
  - SLAM
  - Lokale Pfadplanung
  - Hindernisvermeidung

Bei Speicher- oder Rechenzeitmangel: LPM verwerfen

# Zusammenfassung

- Alle Algorithmen: Vor- und Nachteile
  - z.B. setzen viele eine statische Welt voraus
- In letzten Jahrzehnten stark verbessert
- Aber noch viel zu tun:
  - Unstrukturierte Umgebungen
    - outdoor: Vegetation, Unterwasser usw.
    - indoor: (sich bewegende) Menschen
  - Andere Einsatzgebiete wie „multi Robot mapping“
- “Do the right thing” Funktion

# Quellen

- Gregory Dudek, Paul Freedman, Souad Hadjres. Using Local Information in a Non-Local Way for Mapping Graph-Like Worlds. 1993.
- B. J. Kuipers. The Spatial Semantic Hierarchy. Artificial Intelligence, 119, 2000.
- Benjamin Kuipers. The Skeleton in the Cognitive Map: A Computational Hypothesis. 2001.
- B. Kuipers, J. Modayil, P. Beeson, M. MacMahon, F. Savelli. Local metrical and global topological maps in the hybrid spatial semantic hierarchy, 2004.
- Benjamin Kuipers. Modeling Spatial Knowledge. In IJCAI, 1977.
- B. J. Kuipers. The cognitive map: Could it have been any other way? 1983b
- S. Thrun. Robotic Mapping: A Survey. In G. Lakemeyer, B. Nebel (Hrsg.), Exploring Artificial Intelligence in the New Millenium. Morgan Kaufmann, 2002. to appear.

# Quellen

- Rolf Lakaemper, Longin Jan Latecki, Xinyu Sun, Diedrich Wolter. Geometric Robot Mapping, 2005.
- Sidomar T. Monteiro, Hideichi Nakamoto, Hideki Ogawa, Nobuto Matsuhira. Robust mobile robot map building using sonar and vision. 2005.
- E. Remolina, B. Kuipers. Towards a general theory of topological maps, 2004.
- A. Scott. Quantitative and qualitative comparison of three laser-range mapping algorithms using two types of laser scanner data, 2000.
- Benjamin Kuipers, Yung-Tai Byun. A Robot Exploration and Mapping Strategy Based on a Semantic Hierarchy of Spatial Representations. Technischer Bericht AI90-120, 1, 1990.

Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!