

# **Fahrspur- und Odometrie-basierte Selbstlokalisierung und Kartierung (SLAM)**

HAW Hamburg  
Anwendung 2 - Vortrag  
Andrej Rull  
25.06.2009

# Gliederung

---

- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS Framework
- Abgrenzung der eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



## Wofür überhaupt Kartierung?

- ▣ Orientierung nur anhand von Kameradaten praktisch solange die Strecke erkannt wird
- ▣ Hinderniserfassung praktisch, solange die Fahrgeschwindigkeit nicht zu hoch ist
- ▣ System stabil, solange Kamera und Sensoren Werte liefern
- ▣ Ausfall der Kamera und der Sensoren führt zum Totalausfall des Systems

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



## Simultaneous Localization and Mapping

- ▣ Fahrzeug braucht genaue Position um korrektes Weltmodell zu erzeugen
- ▣ eine genaue Position, kann nur durch ein korrektes Weltmodell bestimmt werden
- ▣ benötigten Größen für die Weltmodellierung:

$$X_T = \{x_0, x_1, x_2, \dots, x_T\} \rightarrow \textit{Positionsdaten}$$

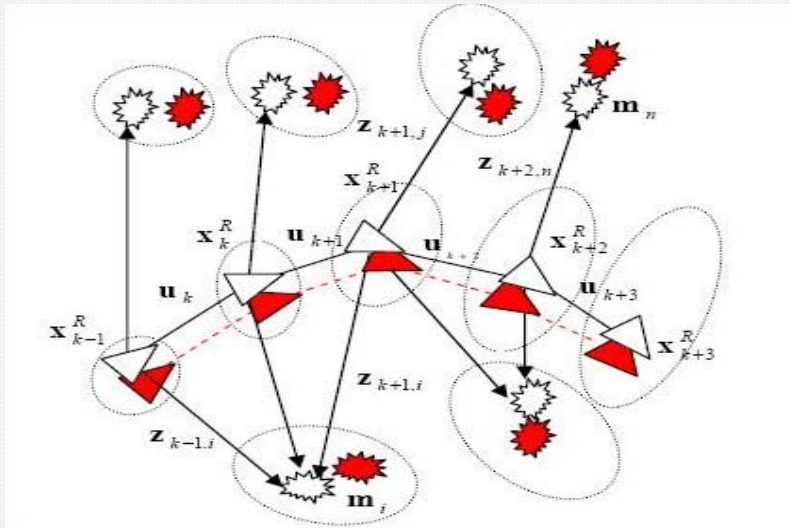
$$U_T = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_T\} \rightarrow \textit{Odometriedaten}$$

$$Z_T = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_T\} \rightarrow \textit{Messdaten}$$

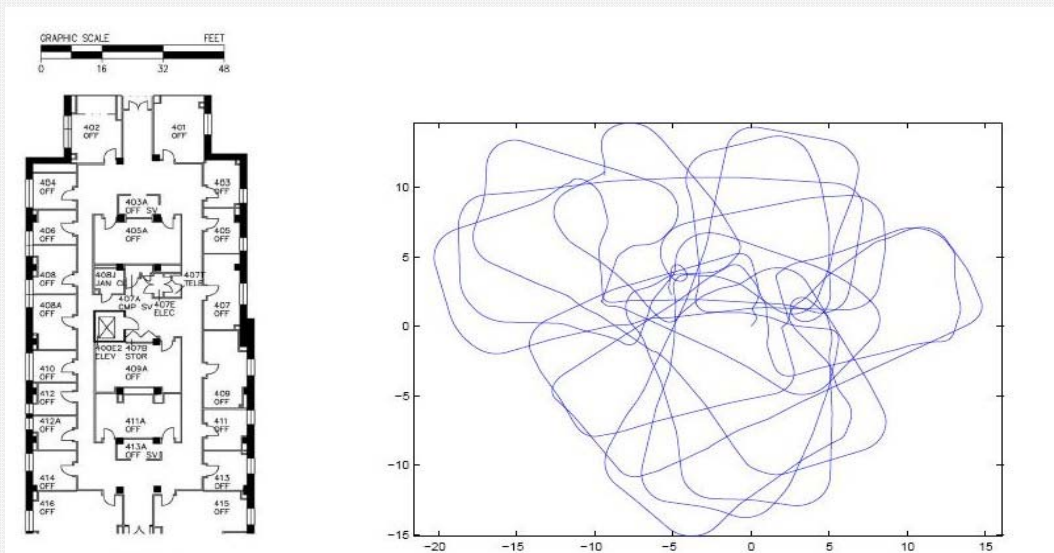
- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



## Simultaneous Localization and Mapping



[6]



[1]

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



*Alle beruhen auf stochastische Berechnungen  
und Schätzungen*

## Lösungsansätze

- ▣ Extended Kalman Filter - vSLAM
- ▣ Partikel Filter - Fast SLAM
- ▣ Bearing only SLAM
- ▣ ATLAS Framework

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- **Related Works**
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



▣ Erforscht in [Benmessaoud 2008]

▣ Positionsberechnung  
mittels Odometrie

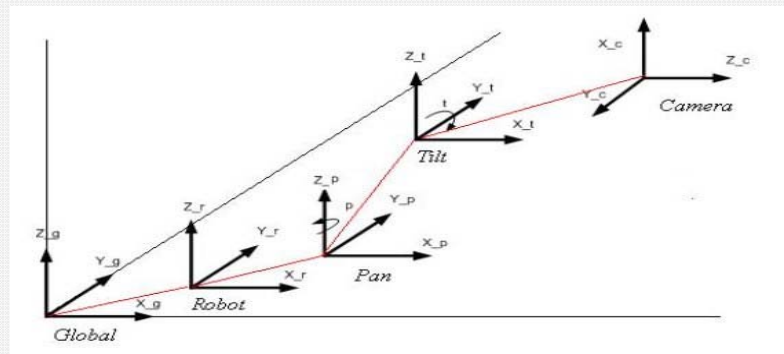
$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \phi(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) + v_k \cos \phi(k)T \\ y(k) + v_k \sin \phi(k)T \\ \phi(k) + w_k T \end{bmatrix}$$

▣ Nutzung der Visualisierung als Sensor

- Landmarken = invariante Kanten, Ecken, Regionen im Bild
- Projektionen um Kartendaten in Kameradaten zu überführen
- zwei Bilder um globale Landmarkenposition zu schätzen

$$I = h(R, L^g)$$

$$L^g = h^{-1}(R, I_1, R', I_2)$$



[2]

➤ Gliederung

➤ Motivation

➤ Das SLAM Problem

➤ Related Works

❖ vSLAM - EKF

❖ FAST SLAM

❖ Bearing only SLAM

❖ ATLAS - Framework

➤ Abgrenzung zur eigenen  
Problemstellung

➤ Zusammenfassung



- ▣ Beschreibung des Systems durch den Systemzustandsvektor und Kovarianzmatrix

- Systemzustand:  $y_k = \begin{pmatrix} R_k \\ L^{g.k} \end{pmatrix}$   $\Sigma_k = \begin{bmatrix} \sigma_{pp} & \sigma_{p1} & \cdot & \cdot & \sigma_{pn} \\ \sigma_{1p} & \sigma_{11} & \cdot & \cdot & \sigma_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sigma_{np} & \sigma_{n1} & \cdot & \cdot & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$

- ▣ Phasen der Abarbeitung

- Prediction: Voraussage des Systemzustandes durch das Motion-Model:

$$y_{k+1} = g(y_k, u_k)$$

- Update: Aktualisieren des Systemzustandes mittels Observation-Model

$$y_{k+1} = y_{k+1} + Ka(I_k - \bar{I}_k)$$

- Map-Management: Aufnahme neuer Landmarken

$$L^g = h^{-1}(R, I_1, R', I_2)$$

- ▣ bei jeder Phase auch Aktualisierung der Kovarianzmatrix

➤ Gliederung

➤ Motivation

➤ Das SLAM Problem

➤ Related Works

❖ vSLAM - EKF

❖ FAST SLAM

❖ Bearing only SLAM

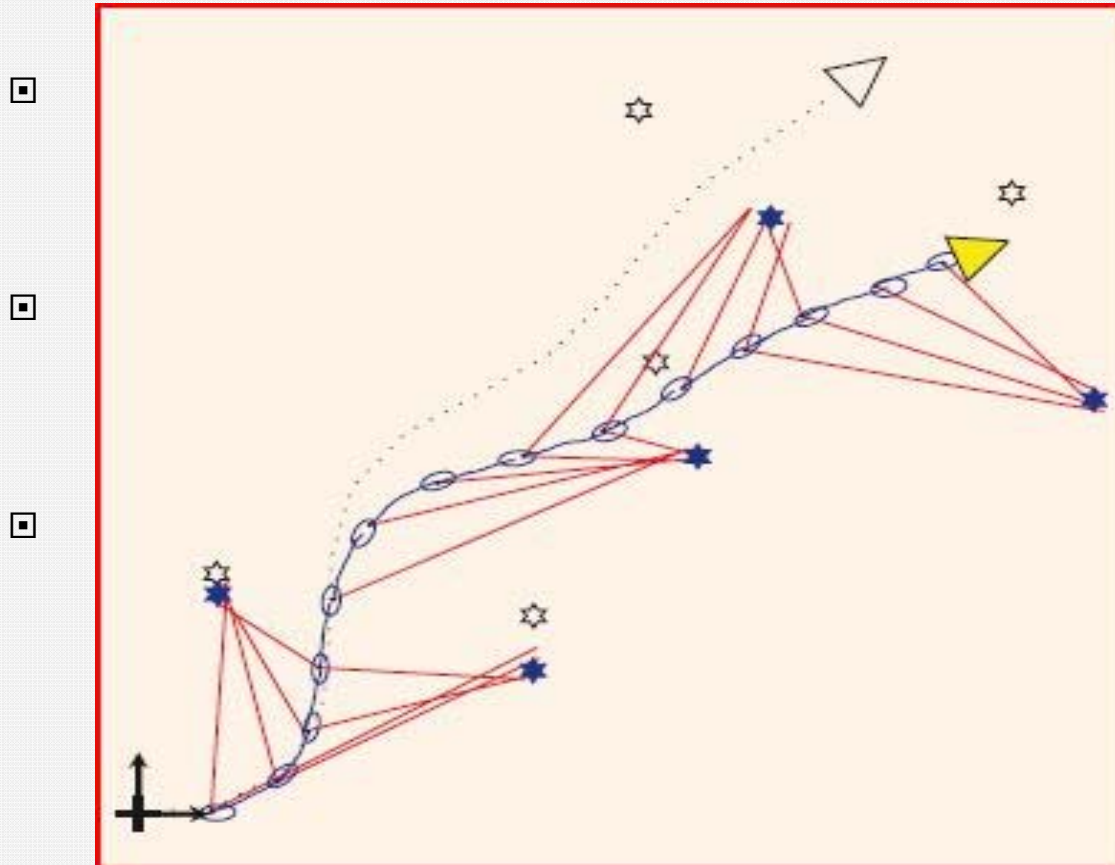
❖ ATLAS - Framework

➤ Abgrenzung zur eigenen Problemstellung

➤ Zusammenfassung



- erforscht von Michael Montemerlo und Sebastian Thun (University Pittsburg) 2003



Multi-

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



## ▣ Partikel enthält:

- Position + N-EKFs der N Landmarken

	Robot Pose	Landmark 1	Landmark 2		Landmark N
Particle 1:	$s_t^1(x, y, \psi)$	$\mu_1 \Sigma_1$	$\mu_2 \Sigma_2$	...	$\mu_N \Sigma_N$
Particle 2:	$s_t^2(x, y, \psi)$	$\mu_1 \Sigma_1$	$\mu_2 \Sigma_2$	...	$\mu_N \Sigma_N$
⋮					
Particle M:	$s_t^M(x, y, \psi)$	$\mu_1 \Sigma_1$	$\mu_2 \Sigma_2$	...	$\mu_N \Sigma_N$

## ▣ Ablauf:

- Positionsbestimmung bzw. Positionsabfrage
- Aktualisierung der Landmarkenabschätzung
- Einfluss der Gewichtung bestimmen
- Feature-Management

## ▣ Fast SLAM 2:

- Optimierung durch Zunahme aktueller Messungen in die Positionsberechnung

➤ Gliederung

➤ Motivation

➤ Das SLAM Problem

➤ Related Works

❖ vSLAM - EKF

❖ FAST SLAM

❖ Bearing only SLAM

❖ ATLAS - Framework

➤ Abgrenzung zur eigenen Problemstellung

➤ Zusammenfassung

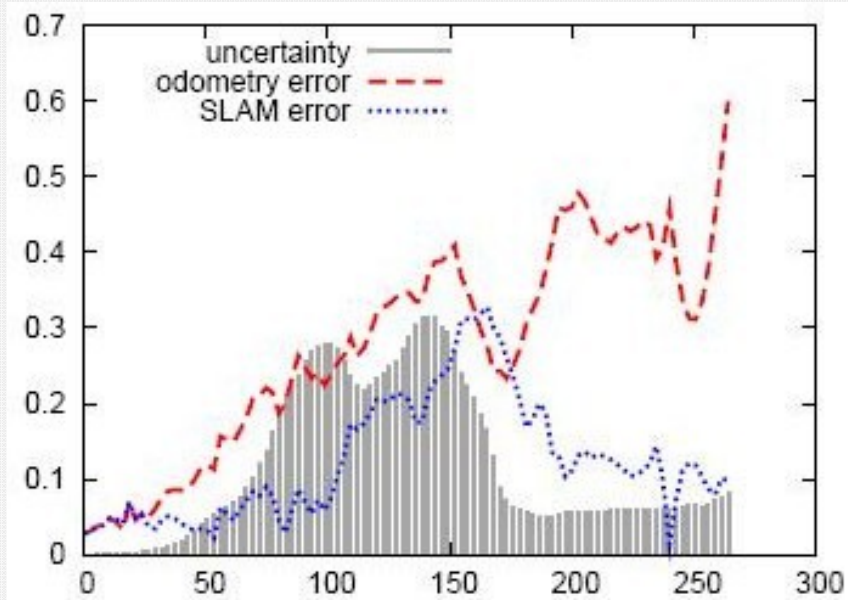
# Bearing only SLAM – Partikel Filter



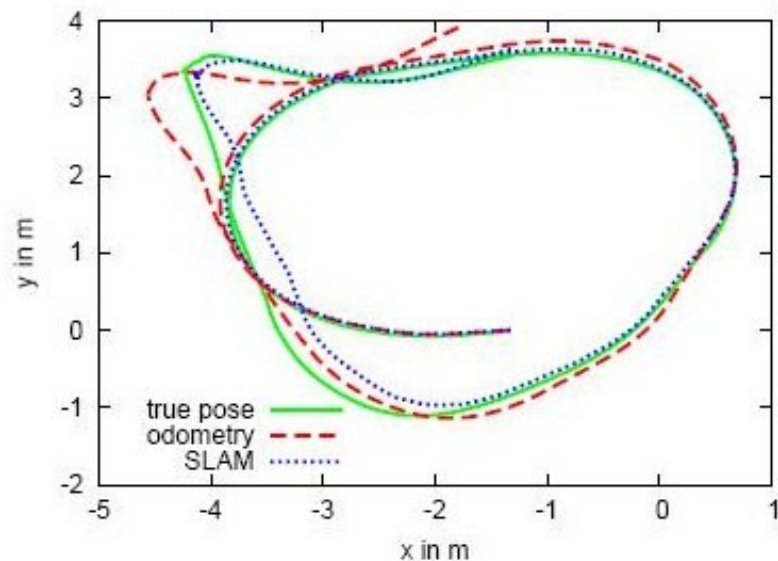
- ▣ erforscht in [Strasdat 2007]
- ▣ System kann mit fehlenden Distanzinformationen zu den Landmarken umgehen
  - monokulare Kamera als Bewegungssensor
- ▣ SURF Feature-Punkte als Landmarken
  - Beschreibung der Lage eines Raumpunktes durch sphärische Koordinaten  $p = (\theta \ \phi \ d)^T$
  - Berechnung aus Pixelkoordinaten
  - 3D Richtungsvektoren zu den Features um Tiefeninformation zu erhalten
  - Position des Features über mehrere Frames hinweg approximiert

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ [Bearing only SLAM](#)
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung

# Bearing only SLAM – Partikel Filter



[7]



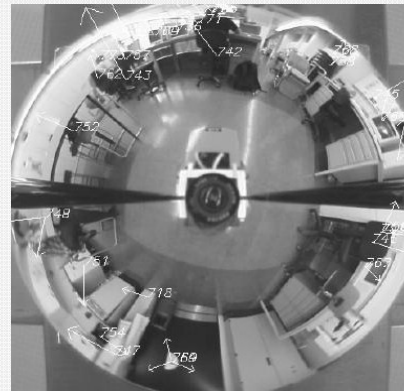
[7]

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ [Bearing only SLAM](#)
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung

# Bearing only SLAM – Kalman Filter



- ▣ Erforscht in [Hochdorfer 2007]
- ▣ omnidirektionale Kamera als Sensor
  - 360° Blickwinkel
- ▣ SIFT Features um unechte Landmarken zu definieren
  - Landmarken definiert durch ID u. Beobachtungswinkel
  - ID: Art der Landmarke
- ▣ Extended Kalman Filter um Systemzustand zu schätzen und zu aktualisieren



[4]

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ [Bearing only SLAM](#)
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



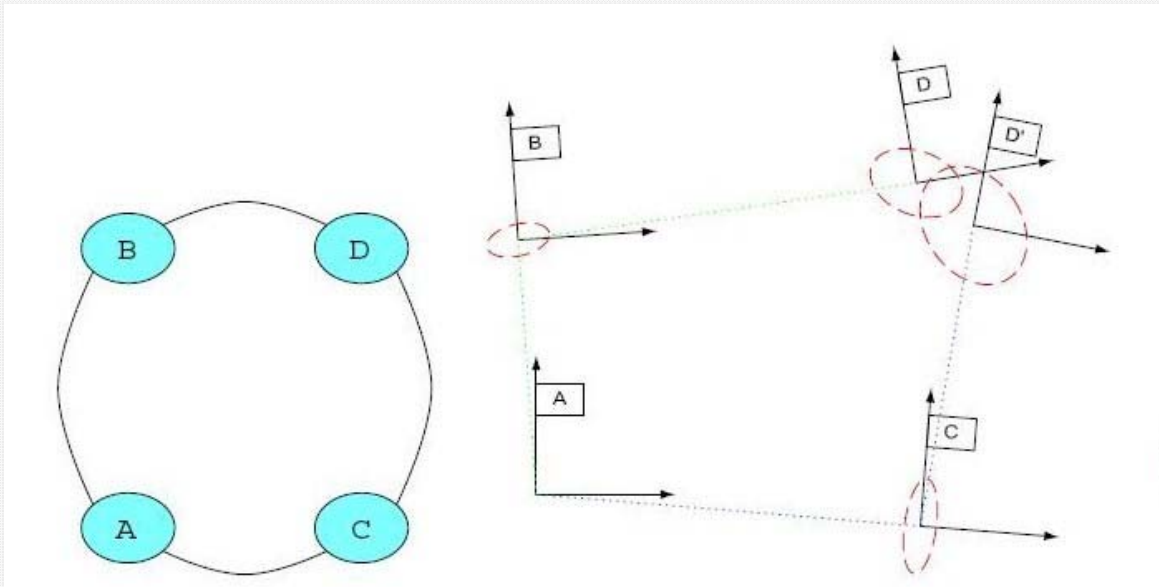
- ▣ schmal-skaliert lokaler SLAM Algorithmus konzipiert für großskalierte Umgebungen
    - In [Bosse 2004], [Bosse 2008] entwickelt und eingesetzt
  - ▣ Einsatz von scanbasierten und featurebasierten Algorithmen möglich
  - ▣ globale Kartenrepräsentation als Graph von lokalen Koordinatenframes
  - ▣ Frames = lokaler Knoten (Messdaten + relative Position d. Fahrzeugs)
  - ▣ Kanten im Graph markieren Transformation zwischen den Frames
- Gliederung
  - Motivation
  - Das SLAM Problem
  - Related Works
    - ❖ vSLAM - EKF
    - ❖ FAST SLAM
    - ❖ Bearing only SLAM
    - ❖ **ATLAS - Framework**
  - Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
  - Zusammenfassung



- ▣ Multi-Hypothesen Ansatz
    - jeder Frame hat eigene Hypothese über die Messung
    - jede Kante hat eigene Hypothese über den Zusammenhang der Frames
  - ▣ Karten-Frames werden über Hypothesen aktiviert
    - dominante Hypothese -> Ausgabe des Systems
  - ▣ Erzeugung neuer Frames, wenn aktuelle Messung nicht erklärt werden kann
- Gliederung
  - Motivation
  - Das SLAM Problem
  - Related Works
    - ❖ vSLAM - EKF
    - ❖ FAST SLAM
    - ❖ Bearing only SLAM
    - ❖ [ATLAS - Framework](#)
  - Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
  - Zusammenfassung



- ▣ Graph-Rekonstruktion über Dijkstra Projektion
  - Gewichtung, basiert auf Genauigkeit in den Transformationen der Kanten

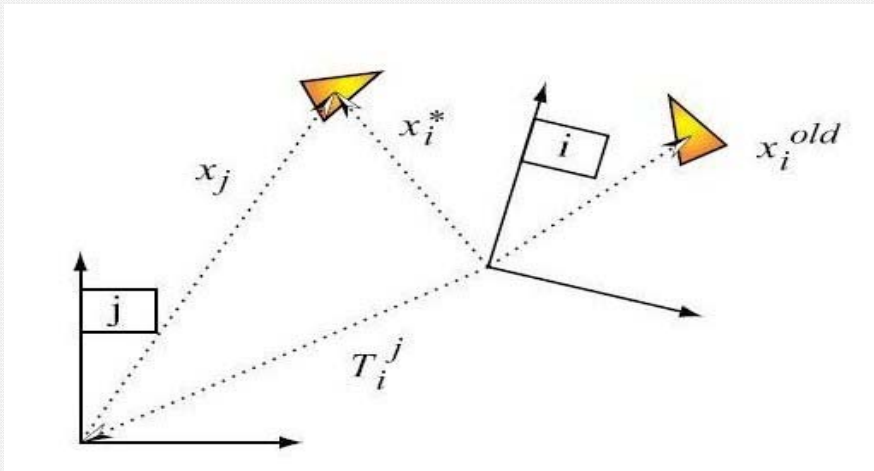


[1]

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ [ATLAS - Framework](#)
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



- ▣ 2 Ansätze zur Aktualisierung der Fahrzeugposition
  - landmarkbasiert: mittels dem EKF
  - scanbasiert: über Nachbarframes
  
- ▣ beim featurebasierten Ansatz: Schätzung und Aktualisierung der Landmarkenposition mittels EKF



[1]

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung

# Abgrenzung der eigenen Problemstellung



- ▣ Kartierung einer Strecke
    - wenig Information über die Umgebung
    - keine Entfernungsmesssysteme
  - ▣ kamerabasiertes Beobachtungsmodell
    - Polaris als Sensor
  - ▣ nicht featurebasiert sondern scanbasiert
  - ▣ Scan-Matching für Abgleich von Bereichen
    - Punkt zu Punkt Korrespondenz
    - Loop Closing
  - ▣ Multi-Hypothesen mit Kontrollinstanz
- Gliederung
  - Motivation
  - Das SLAM Problem
  - Related Works
    - ❖ vSLAM - EKF
    - ❖ FAST SLAM
    - ❖ Bearing only SLAM
    - ❖ ATLAS - Framework
  - **Abgrenzung zur eigenen Problemstellung**
  - Zusammenfassung



- ▣ Benutzung unterschiedlicher Algorithmen in der Forschung
    - EKF
    - Partikel Filter
  - ▣ Forschungsthemen analysieren Indoor- bzw. Outdoor Mapping, keine Streckenführung
  - ▣ Hypothesen- und Schätzverfahren als wichtiges Bestandteil der Lösung des SLAM Problems
- Gliederung
  - Motivation
  - Das SLAM Problem
  - Related Works
    - ❖ vSLAM - EKF
    - ❖ FAST SLAM
    - ❖ Bearing only SLAM
    - ❖ ATLAS - Framework
  - Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
  - Zusammenfassung



## [1] Bosse 2004

MICHAEL BOSSE, John Leonard Seth T.: Simultaneous localization and map building in large-scale cyclic environments using the Atlas Framework. 23 (2004)

## [2] Benmessaoud

ML. BENMESSAOUD, K. Nemra AK. S.: Single-Camera EKF vSLAM. In: International Journal of Intelligent Systems and Technologies 3 (2008)

## [3] Durrant 2006

DURRANT-WHYTE, Hugh ; BAILEY, Tim: Simultaneous Localization and Mapping: Part I. In: IEEE Robotics and Automation Magazine (2006)

## [4] Hochdorfern 2007

SIEGFRIED HOCHDORFERN, Christian S.: Bearing-Only SLAM with an Omnicam Robust Selection of SIFT Features for Service Robots. In: Autonome Mobile Systeme 2007, 20. Fachgespräch, Kaiserslautern (2007)

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



## [5] Montemerlo 2003

M. MONTEMERLO, D. Koller B.W.: FastSLAM 2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges. In: Proceeding of International Joint Conferences on Artificial Intelligence (2003), S. 1151–1156

## [6] Sasiadek 2008

J.Z. SASIADEK, D. N.: Navigation of an autonomous mobile robot using EKF-SLAM and FastSLAM. In: Mediterranean Conference on Control and Automation 16 (2008)

## [7] Strasdat 2007

HAUKE STRASDAT, Maren Bennewitz Wolfram B.: Visual Bearing-Only Simultaneous Localization and Mapping with Improved Feature Matching. In: Autonome Mobile Systeme 2007, 20. Fachgespräch, Kaiserslautern (2007)

- Gliederung
- Motivation
- Das SLAM Problem
- Related Works
  - ❖ vSLAM - EKF
  - ❖ FAST SLAM
  - ❖ Bearing only SLAM
  - ❖ ATLAS - Framework
- Abgrenzung zur eigenen Problemstellung
- Zusammenfassung



---

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!