

Verfahren zur Positionsbestimmung im Indoor-Bereich

Nico Manske
INF-M3 - Seminar/Ringvorlesung - Wintersemester 2007/2008
30. November 2007

Agenda

- ▶ Motivation
- ▶ Existierende Prinzipien
- ▶ Verwendetes kamerabasiertes Verfahren
- ▶ Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

Motivation

- ▶ weiteres Feature für FAUST Plattformen SCV und intelliTruck
 - *virtuelle Fahrspur*
 - *autonomes Abfahren einer Strecke*



- ▶ Präzisionsnavigation benötigt (Positionsbestimmung)
- ▶ 6 Freiheitsgrade zur Nutzung auf jeder mobilen Plattform
- ▶ minimaler Kosten- und Einrichtungsaufwand

Existierende Prinzipien zur Positionsbestimmung

- ▶ keine Lösungen, nur Grundlagen für verschiedene Sensoren
- ▶ jedes Prinzip hat Vorteile und Einschränkungen
 - oft Kombination der Prinzipien (hybride Lösung) zur Ausgleichung der Nachteile einer einzelnen Lösung
- ▶ Anforderungen und Randbedingungen entscheiden über verwendbare Prinzipien

Anforderungen im Projekt

- ▶ skalierbar von kleinen Räumen bis auf Lagergröße
- ▶ genau bis auf 1 mm
- ▶ robust gegen Umgebungseinflüsse
- ▶ geringes Gewicht und Größe
- ▶ Abtastrate (Ziel: 10 Hz)
- ▶ günstig (Hardware-Kosten)
- ▶ sparsam (Energie)
- ▶ kostengünstige Einrichtung
- ▶ flexibel änderbar

Trägheitssensoren am Objekt

- ▶ seit Jahrzehnten in Schiffen, U-Booten und Flugzeugen eingesetzt

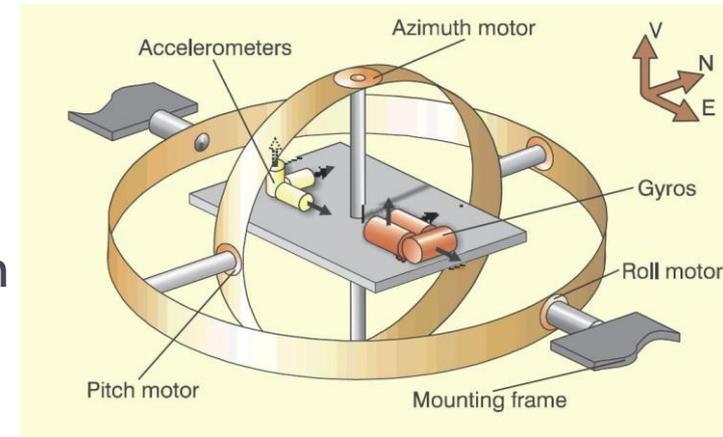
- ▶ **Prinzip:**

- ▶ 2-fache Integration der der gemessenen Beschleunigung

- Bestimmung der Geschwindigkeit, zurückgelegte Distanz

- ▶ in Verbindung mit Daten aus Kreisel
 - Orientierung

- ▶ Tracking der Position durch Registrierung der Veränderung der Geschwindigkeit und Richtung



Trägheitssensoren am Objekt

- ▶ **Vorteile:**
 - ▶ kein Einrichtungsaufwand
 - ▶ abgeschlossenes System
 - ▶ unempfindlich gegen äußere Einflüsse (Ausnahme mechanische Erschütterungen)
 - ▶ hohe Abtastrate (1000 Hz)
- ▶ **Nachteile:**
 - ▶ Fehler wird über Messzeit ständig größer
 - ▶ sehr genaue Kreisel sind sehr teuer und zu groß für kleine Plattformen

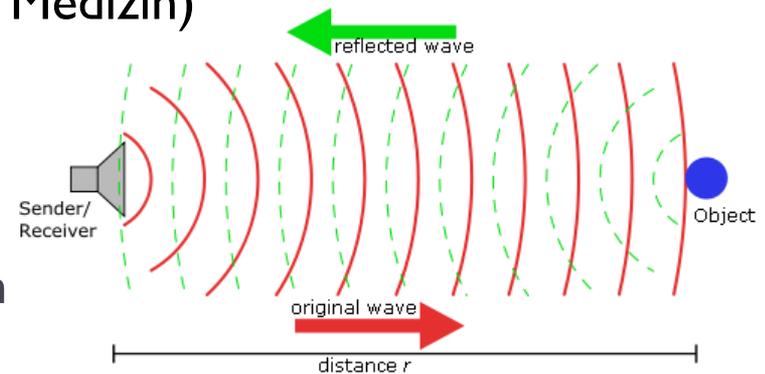
Senden und Empfangen von Schallwellen

- ▶ kommerzielle Systeme (U-Boote, Schiffe, in Medizin)

- ▶ Prinzip:

- ▶ Messung der Signallaufzeit von Ultraschallimpulsen
- ▶ Multipath Reflektionen verhindern durch Ausblenden bereits empfangener Signale

→ *Multipath Reflektionen werden nicht registriert*



- ▶ Nachteile:

- ▶ Geschwindigkeit beeinflusst durch Luftströme, Temperatur und Luftfeuchtigkeit (1 mm Fehler pro 1 °C)
- ▶ Abtastrate bei ca. 10 Hz
- ▶ keine Orientierung, nur Lage

Radio- und Mikrowellen

- ▶ weit verbreitet in Navigationssystemen und Flughafen Landehilfen (Landefunkfeuer)
- ▶ Radar
- ▶ Outdoor vorgezogene Variante



- ▶ Prinzip:
 - ▶ Messung der Signallaufzeit (Echos)
 - ▶ 1 Mio. mal schneller als Schallwellen
→ genaue Ermittlung der Laufzeit schwer

Radio- und Mikrowellen

- ▶ **Vorteile:**
 - ▶ sehr geringe Absorption
 - ▶ nicht beeinflussbar durch Lufttemperatur
 - ▶ sehr schnell

- ▶ **Nachteile:**
 - ▶ Indoor hohe Gefahr von Multipath Reflektionen

Nicht berücksichtigte Prinzipien

- ▶ **mechanische Kopplung**
 - ▶ physikalische Verbindung zwischen Umgebung und Objekt
- ▶ **Magnetsensoren**
 - ▶ Störung durch ferromagnetische oder leitende Teil zur groß
- ▶ **Drucksensoren**
 - ▶ zu hoher Installationsaufwand, nicht flexibel
- ▶ **GPS**
 - ▶ im Indoor-Bereich unzuverlässig, Projekt INDOOR noch keine veröffentlichten Ergebnisse

Zusammenfassung / Kriterienmatrix

Kriterien	existierende Prinzipien zur Positionsbestimmung				
	mechanisch	Trägheits-sensoren	akustisch	magnetsich	Radio-/Mikrowellen
frei beweglich	--	++	++	++	++
Skalierbarkeit	--	++	o	o	++
Kosten / Hardwareaufwand	--	--	o	+	--
Genauigkeit	+	+	+	+	++
Anfälligkeit	++	o	--	--	--
Größe/Gewicht der Sensoren	++	-	o	++	-
Abtastrate	o	++	-	+	++
flexibel änderbar	--	++	o	o	++
Energieverbrauch	+	+	+	+	o
Kalibrierungsaufwand	--	--	-	o	++

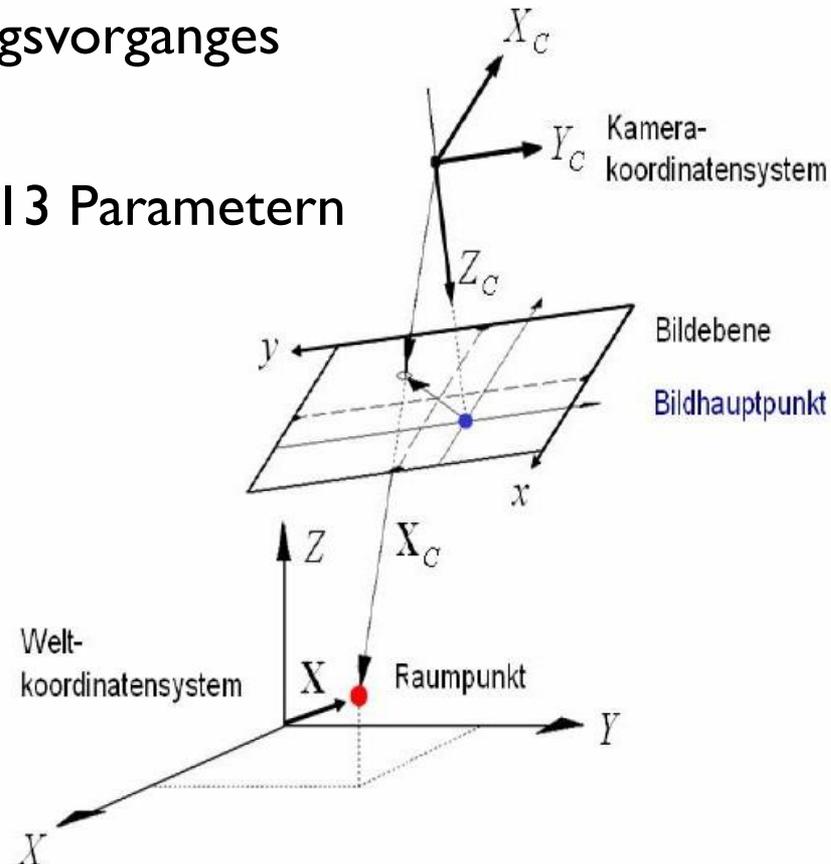
Priorität



nach Eignung für Projekt -- sehr schlecht - schlecht o ausgeglichen + gut ++ sehr gut

3D - Kameramodell

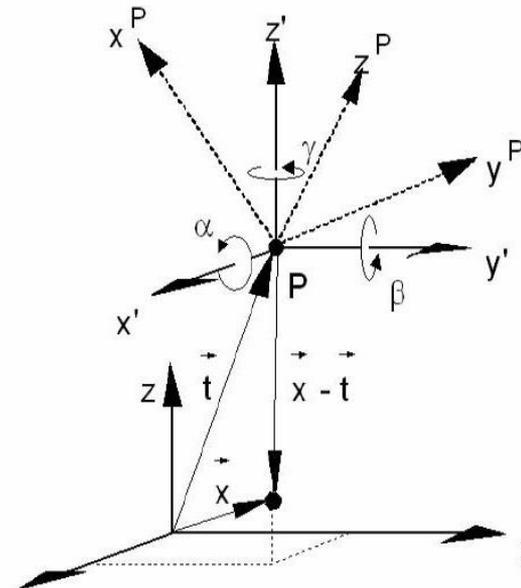
- ▶ Beschreibung des Abbildungsvorganges
Raumpunkt \rightarrow Bildpunkt
- ▶ physikalisches Modell mit 13 Parametern



Kameraparameter - extern

- ▶ Externe Kameraparameter (6)
 - ▶ *Position der Kamera im Raum, Bezug zum Weltkoordinatensystem*
→ t_x, t_y, t_z

$$\vec{t} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



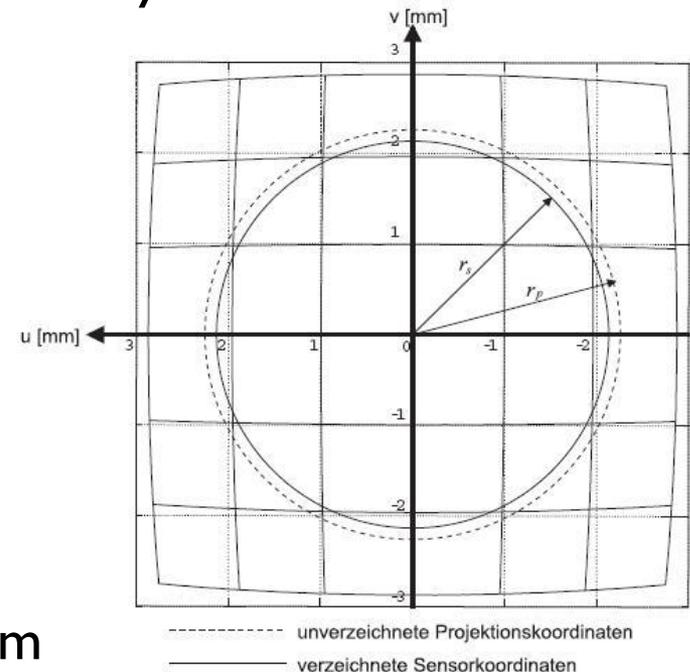
- ▶ *Orientierung der Kamera, Angabe durch 3 Winkel*
 - ▶ α : Winkel um die x-Achse (Rollwinkel)
 - ▶ β : Winkel um die y-Achse (Nickwinkel)
 - ▶ γ : Winkel um die z-Achse (Gierwinkel)

Kameraparameter – intern

- ▶ Interne Kameraparameter (7)
 - ▶ Bildhauptpunktverschiebung (Δu_H , Δv_H)
 - ▶ Kamerakonstante (Bildweite c)
 - ▶ Linsenverzeichnungsparameter (K_1, K_2, P_1, P_2)
- ▶ nicht direkt messbar
 - Bestimmung durch Kalibrierung mit Photogrammetrie Software
- ▶ alle Parameter zusammen
 - **13 - Parameter - Modell**

Linsenverzeichnungskorrektur

- ▶ handelsübliche Objektive weisen immer radialsymmetrische und tangentiale Linsenverzeichnung auf
- ▶ Auswirkung deutlicher umso kürzer die Brennweite (Weitwinkel)
 - typisch sind tonnen- oder kissenförmige Verzeichnung
- ▶ nach Kalibrierung kein umfokussieren mehr möglich
- ▶ Korrektur für höhere Genauigkeit → 1 mm
- ▶ prototypisch bereits implementiert im Projekt



Passmarken als Bezugspunkte

- ▶ eindeutige Passmarken an gewählten Positionen anbringen
- ▶ Kodierung aus jeder Perspektive erkennbar
- ▶ Erkennung im Bild und Transformation der Bildpunkte in Weltkoor.
- ▶ Oberflächenmaterial selbstreflektierend

- ▶ **Problem: Real Time Erkennung**
 - ▶ Erkennung der Marken im 2D Bild
 - ▶ Identifikation
 - ▶ in max. 100 ms (Abtastrate)



→ *zurzeit Bachelorarbeit mit dem Thema fast abgeschlossen*

Positionsbestimmung - Vorgehensweise

1. Erkennung von min. 3 Passmarken in 2D-Abbild von denen Weltkoordinaten bekannt sind
2. Linsenverzeichnungskorrektur der 3 korrespondierenden Bildpunkte und Umrechnung in Sensordaten (Pixel \rightarrow Meter)
3. Berechnung der Parameter $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$,
= Kameraposition- und Orientierung im Raum

Positionsbestimmung - Berechnungsansatz

▶ Rotationsmatrix

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos(\beta) \cos(\gamma) & \cos(\alpha) \sin(\gamma) + \sin(\alpha) \sin(\beta) \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \sin(\gamma) - \cos(\alpha) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ -\cos(\beta) \sin(\gamma) & \cos(\alpha) \cos(\gamma) - \sin(\alpha) \sin(\beta) \sin(\gamma) & \sin(\alpha) \cos(\gamma) + \cos(\alpha) \sin(\beta) \sin(\gamma) \\ \sin(\beta) & -\sin(\alpha) \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cos(\beta) \end{pmatrix}$$

▶ einsetzen, nach 0 umstellen und differenzieren

$$u_i = \Delta u_H - c * \frac{r_{11}(x_i - t_x) + r_{12}(y_i - t_y) + r_{13}(z_i - t_z)}{r_{31}(x_i - t_x) + r_{32}(y_i - t_y) + r_{33}(z_i - t_z)}$$

→ Gleichungssystem mit 6 unbekanntem und 6 x 6 Matrix

→ Lösung durch nicht lineare Ausgleichung (iterative Nullstellensuche)

Kriterien dieses Modells

- ▶ skalierbar von kleinen Räumen bis auf Lagergröße (+)
- ▶ genau bis auf 1 mm (+)
- ▶ nicht anfällig gegen Umgebungseinflüsse bzw. Berechenbarkeit der auftretenden Einflüsse (o)
- ▶ geringes Gewicht (++)
- ▶ hohe Abtastrate (Ziel: 10 Hz) (-)
- ▶ günstig (Kosten) (++)
- ▶ sparsam (Energie) (o)
- ▶ in wenigen Schritten nahezu überall kalibrierbar (++)
- ▶ frei beweglich (++)

Kriterien	existierende Prinzipien zur Positionsbestimmung				
	mechanisch	Trägheits-sensoren	akustisch	magnetisch	Radio-/Mikrowellen
frei beweglich	--	++	++	++	++
Skalierbarkeit	--	++	o	o	++
Kosten / Hardwareaufwand	--	--	o	+	--
Genauigkeit	+	+	+	+	++
Anfälligkeit	++	o	--	--	--
Größe/Gewicht der Sensoren	++	-	o	++	-
Abtastrate	o	++	-	+	++
flexibel änderbar	--	++	o	o	++
Energieverbrauch	+	+	+	+	o
Kalibrieraufwand	--	--	-	o	++

nach Eignung für Projekt -- sehr schlecht - schlecht o ausgeglichen + gut ++ sehr gut

→ keine Einwände gegen diese Variante

Ausblick auf Projekt und Masterarbeit

▶ Ziele:

- ▶ konfigurierbares Messsystem für mobile Systeme
- ▶ auch für eingeschränkte Freiheitsgrade, anpassbar → genauer
- ▶ Genauigkeitsanalyse
- ▶ Entwicklung der Module
- ▶ Bahnplanungsmodul für virtuelle Spuren

▶ Vision:

- ▶ Orientierung an vorhandenen, markanten Raumpunkten
(ohne Passmarken)

Literatur

- ▶ Welch, Greg und Foxlin, Eric: *Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal*. IEEE Computer Graphics and Applications Volume: 22 Seite 24-38. 2002 – URL | 1.11.2007
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/38/22427/01046626.pdf?tp=&arnumber=1046626&isnumber=22427>
- ▶ Fischler, M.A. und Bolles, R. C. 1981. *Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*. Commun.ACM 24, 6 (Jun. 1981), 381-395. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/358669.358692>
- ▶ Choi, Young Min; Suh, Young Soo; Park, Sang Kyeong: *Pose Estimation from Landmark-based vision and inertial sensors* SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference. Oct. 2006 Page(s):1668 – 1671 URL -
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/4108013/4108014/04109240.pdf?tp=&arnumber=4109240&isnumber=4108014>

Literatur

- ▶ Barbour, Neil; Elwell, John; Setterlund, Roy: *Inertial Instruments: Wherer To Now?* The Charles Stark Draper Laboratory, Inc. Cambridge. Massachusetts. URL - <http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS836/Inertialnotes/DraperOverview.pdf>
- ▶ King, A.D.: Inertial Navigation – Forty Years of Evolution. Marconi ElectronicsSystems Ltd. GEC REVIEW, VOL. 13, NO.3, 1998. URL - http://www.imar-navigation.de/download/inertial_navigation_introduction.pdf
- ▶ Meisel, Andreas: *3D-Bildverarbeitung für feste und bewegte Kameras*. Fortschritte der Robotik 21. Vieweg 1994. ISBN – 3-528-06624-5
- ▶ Rheinisch Westfälische Technische Hochschule (RWTH), Lehrstuhl für TI. LTI-Lib. Webseite, 2005. – <http://tlib.sourceforge.net/doc/homepage/index.shtml>

Verfahren zur Positionsbestimmung im Indoor-Bereich

Nico Manske
INF-M3 - Seminar/Ringvorlesung - Wintersemester 2007/2008
30. November 2007