

Inertialnavigation bei autonomen Flugkörpern

Fabian Ulbricht Paul Walger

27.März 2012

Gliederung

- 1 Einleitung
- 2 Accelerometer
- 3 Gyroskop
- 4 Trägheitsnavigation
- 5 Autonome Flugkörper
- 6 Kalman-Filter
- 7 Literatur

Einleitung

Definition (Inertialnavigation)

Feststellung von Position, Richtung und Geschwindigkeit und Navigation nur mit Hilfe von

- Beschleunigungssensoren
- Drehratensensoren

und der damit verbundenen Messung der 6 Freiheiten ohne andere Daten von Außen

Anwendung:



Abbildung: Leitungsmolch



Abbildung: Autotunnel



Abbildung:
Drohne(Fukushima)

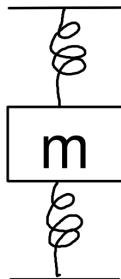
Accelerometer (Beschleunigungssensoren)

Prinzip

Messung der aufgrund von Trägheitskräften resultierende Beschleunigung

Anwendung:

- Sensorik in digitalen Kameras
- Positionsbestimmung
- Seismographen
- Schutz vor Head-Crash bei Festplatten



Kapazitive Accelerometer

Funktionsweise

Messung von Kapazitätsänderungen.

Definition (MEMS)

= Microelectromechanical systems

Sehr kleine mechanische Geräte angetrieben durch Elektrizität.

Vorteile

- Herstellung mit herkömmlicher MEMS Technologie möglich
- Hervorragende Sensibilität
- Unabhängig von Außentemperatur

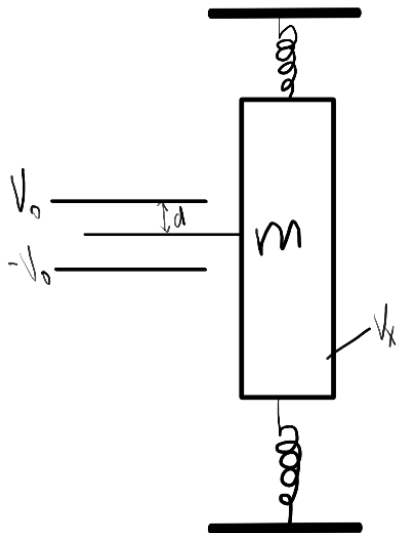
Kapazität

Die Kapazität von 2 parallelen Platten ist [1]

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

- ϵ_0 = elektrische Feldkonstante
- ϵ_r = relative Permittivität
- A = Fläche der Elektroden
- d = Distanz zwischen den Elektroden

Aufbau eines MEMS Accelerometer



[15]

Gyroskop (Rotationssensoren)

Was ist ein Gyroskop

Ein Gerät zur Messung oder Erhaltung der Orientierung.

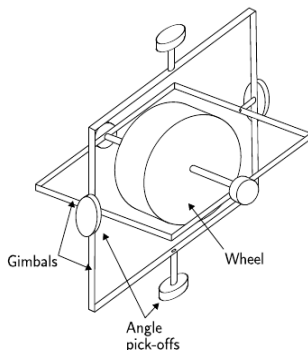
Typen

- 1 Mechanisch
- 2 Optisch
- 3 MEMS Gyroscope

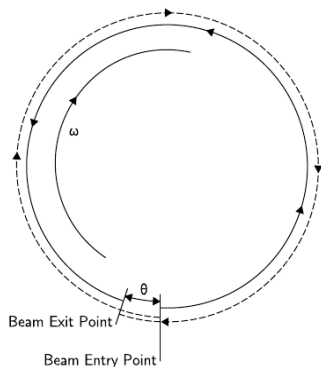


Mechanische Gyroskope

- basiert auf dem Prinzip der Drehimpulserhaltung
- ein rotierendes Rad und zwei Kardanisiche Aufhängungen
- Nachteile:
 - 1 Bewegliche Teile
 - 2 Reibung
 - 3 Ein paar Minuten Aufwärmzeit benötigt



Optische Gyroskope



Insbesondere
Faserkreisel (Fibro Optic Gyroscope = FOG).
Besteht aus einer
langen Spule von Glasfasern. Es werden zwei
Lichtimpulse in entgegengesetzte Richtung
abgefeuert. Wenn das System rotiert, erfährt
der eine Lichtimpuls eine längere Laufzeit.
Gemessen wird über die
Interferenz von den beiden Lichtimpulsen.[8]

Trägheitsnavigation

In sich abgeschlossene Navigationstechnik, welche die Position und Drehung eines Objektes relativ zu einem Startpunkt Drehung und Geschwindigkeit bestimmt.

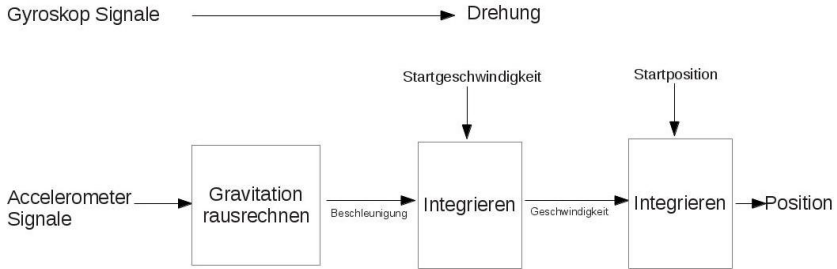
Besteht aus:

- 1 Computer
- 2 Accelerometer
- 3 Gyroskop

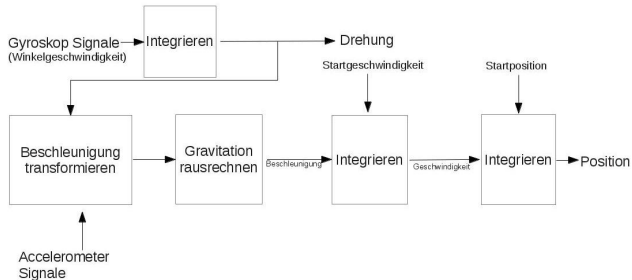
2 Hauptgruppen von Konfigurationen [22]

- 1 Stabile Plattform
 - ▶ Accelerometer werden durch Gyrokope immer in der selben Orientation gehalten
- 2 Strapdown
 - ▶ Messsystem werden mitgedreht. Drehung wird bei Accelerometer wird rausgerechnet.

Vollkardanisch kreiselstabilisierte (Stabile Plattform)



Fahrzeugfeste (Strapdown)



Autonome Flugkörper

Bispiele:

- Satelliten
- Raumfahrzeuge
- Flugzeuge mit Autopilot
- Marschflugkörper

Anforderungen an das INS:

- 20 Hz Update
- Mehre Stunden Flugzeit
- Kurzzeit Genauigkeit

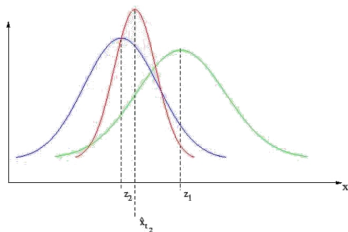
Kalman-Filter

- Problem:

- ▶ Abweichungen in den Sensordaten durch Aufsummierung von Fehlern, Rauschen im Prozess und in den Sensoren

- Lösung:

- ▶ Vorausberechnung des nächsten Zustands des Systems mit Hilfe eines bekannten zu Grunde liegenden physikalischen Modells
- ▶ Fusion aller zur Verfügung stehender Sensorwerte unabhängig von ihrer Genauigkeit Sensorwerte
- ▶ gewichtetes Mittel dieser beiden Größen, um die Summe aller Fehlerquadrate zu minimieren



Diskreter Kalman-Filter

- einfacher Kalman-Filter
- Swerling (1958), Kalman (1960), Kalman und Bucy (1961)
- zuerst militärisch, heutzutage Anwendung in allen Bereichen der Mess- Steuer- und Regelungstechnik

Definition (Kalman-Filter)

Ein Kalman-Filter ist ein linearer, modellbasierender, stochastischer, rekursiver, gewichteter Schätz-Algorithmus zur Minimierung von Fehlerquadraten unbestimmter Messgrößen



Abbildung:
Präzisionsnavigation

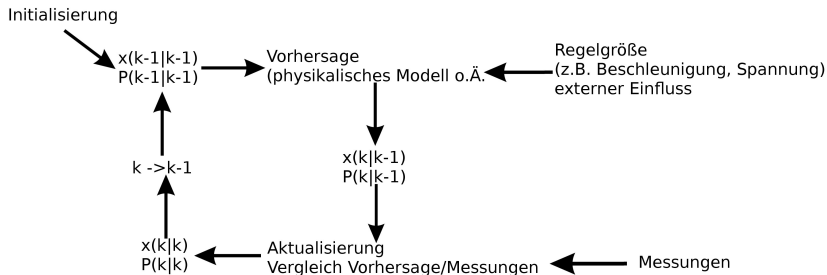


Abbildung: Autonome
technische Geräte jeder
Art

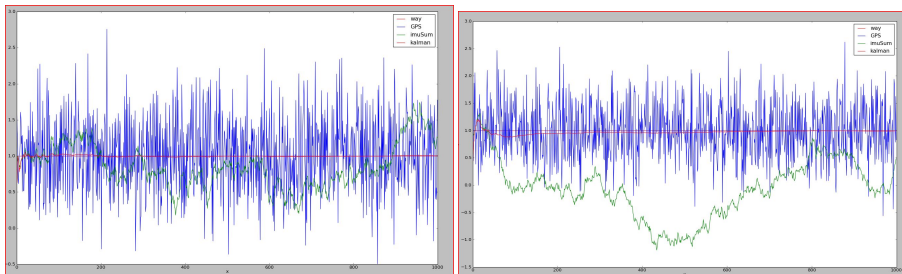


Abbildung: Tracking von
Körperteilen

Funktionsweise



Kalmanfilter angewandt



(a)

Abbildung: Flugkörper auf gerader Strecke

Literatur I

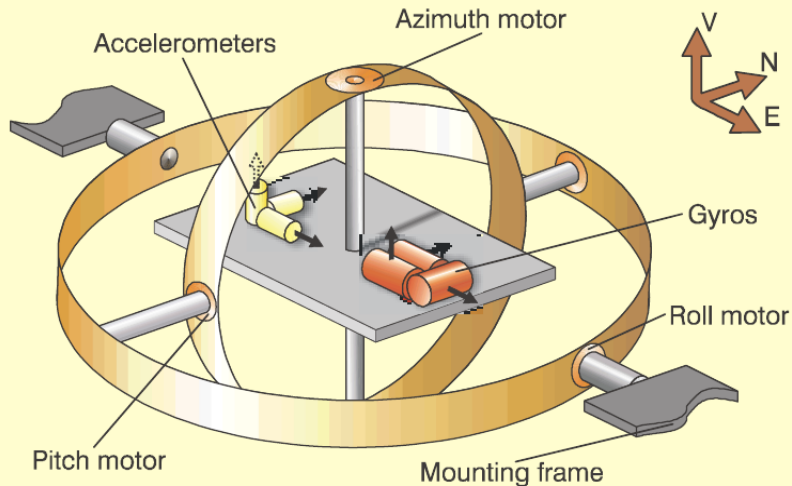
- [1] Matej Andrejaši. *MEMS ACCELEROMETERS*. Department of physics, März 2008.
- [2] Greg Czerniak. "Kalman Filters for Undergrads Part I: Linear Kalman Filters". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [3] Bilgin Esme. "Kalman Filter For Dummies". In: (2009). [Online; accessed 26-March-2012].
- [4] Tristan Fletcher. "The Kalman Filter Explained". In: (2010).
- [5] A.D. King. "Inertial Navigation - Forty Years of Evolution". In: *GEC Review* 13.3 (1998).
- [6] Prof.S. Mukhopadhyay. "Lec-18 Kalman Filter-Model and Derivation". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [7] Doug Nychka. "A Kalman Filter tutorial". In: (2007).
- [8] Michael S. Perimutter. "A Tactical Fiber Optic Gyro With All-Digital Signal Processing ". In: *Fiber Optic and Laser Sensors XI* 2070.192 (1993).
- [9] Maria Isabell Ribeiro. "Kalman and Extended Kalman Filters: Concept, Derivation and Properties". In: (2004).

Literatur II

- [10] Joris De Schutter u. a. "Kalman Filters: A Tutorial". In: (1999).
- [11] Dan Simon. "Kalman Filtering". In: (2001). [Online; accessed 26-March-2012].
- [12] Alexander Stoytchev. "The Kalman Filter". In: (2007).
- [13] TheScienceguy3000. "Tutorial: Kalman Filter with MATLAB example part1". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [14] Unkown. "Das diskrete Kalmanfilter". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [15] Joel Voldman. *A Capacitive Accelerometer*. Techn. Ber. Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [16] Kevin J. Walchko und Dr. Paul A. C. Maso. "Inertial Navigation". In: (2002).
- [17] Greg Welch und Gary Bishop. "An Introduction to the Kalman Filter". In: (2001).
- [18] Wikipedia. "Inertial navigation system — Wikipedia the free encyclopedia". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].

- [19] Wikipedia. "Kalman-Filter — Wikipedia die freie Enzyklopädie". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [20] Wikipedia. "Kalman filter - Wikipedia the free encyclopedia". In: (2012). [Online; accessed 26-March-2012].
- [21] Patrick Winkler. "Der diskrete Kalman Filter". In: (2004).
- [22] Oliver J. Woodman. *An introduction to inertial navigation*. Techn. Ber. 15 JJ Thomson Avenue: University of Cambridge, Aug. 2007.

Stable Platform Systems



[5]

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{F}_{k-1}\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{B}_{k-1}\mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (2)$$

$$\mathbf{Z}_k = \mathbf{H}_k\mathbf{X}_k + \mathbf{v}_k \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_k \sim \mathcal{WN}(\mathbf{0}, \mathbf{R}_k) \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_k \sim \mathcal{N}(\hat{\mathbf{x}}_k, \hat{\mathbf{P}}_k) \quad (5)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1}\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{B}_{k-1}\mathbf{u}_{k-1} \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_{k-1}\hat{\mathbf{P}}_{k-1}\mathbf{F}_{k-1}^T + \mathbf{Q}_{k-1} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \hat{\mathbf{K}}_k\tilde{\mathbf{y}}_k \quad (8)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_k = \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1} - \hat{\mathbf{K}}_k\mathbf{S}_k\hat{\mathbf{K}}_k^T \quad (9)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} \quad (10)$$

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k\hat{\mathbf{P}}_{k|k-1}\mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k \quad (11)$$

$$\hat{\mathbf{K}}_k = \hat{\mathbf{P}}_{k|k-1}\mathbf{H}_k^T\mathbf{S}_k^{-1} \quad (12)$$

[9] [10] [21] [17] [7] [12] [16] [4] [1] [20] [19] [18] [2] [6] [13] [3] [14] [11]