

# Inertialnavigation bei autonomen Flugkörpern

Fabian Ulbricht   Paul Walger

17. März 2012

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Trägheitsnavigation
- 3 Autonome Flugkörper
- 4 Sensoren
  - Acceloremeter
  - Gyroskop
- 5 Kalman-Filter
- 6 Bewegungsgleichungen
- 7 Kalman-Filter für UAV
- 8 Literatur

# Einleitung

Positionsbestimmung war und ist ein Problem das nicht einfach zu lösen ist. Es wurde auf vielfältige Weisen versucht zu lösen, vom Kompass und Sextant bis zu GPS.

Wir werden uns auf die Inertialnavigation begrenzen.

# Trägheitsnavigation

In sich abgeschlossen Navigationstechnik, welche die Position und Orientierung eines Objektes relativ zu einem Start-punkt, orientierung und geschwindigkeit bestimmt.

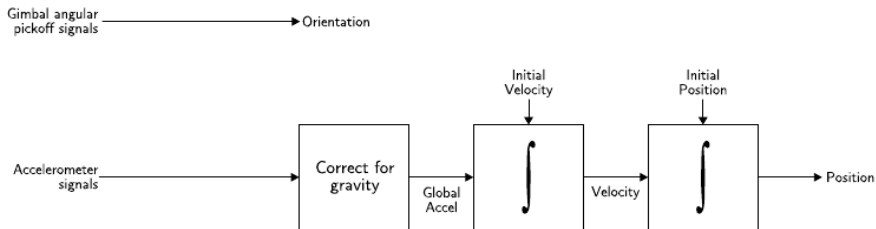
Besteht aus:

- ① Computer
- ② Accelerometer
- ③ Gyroskop

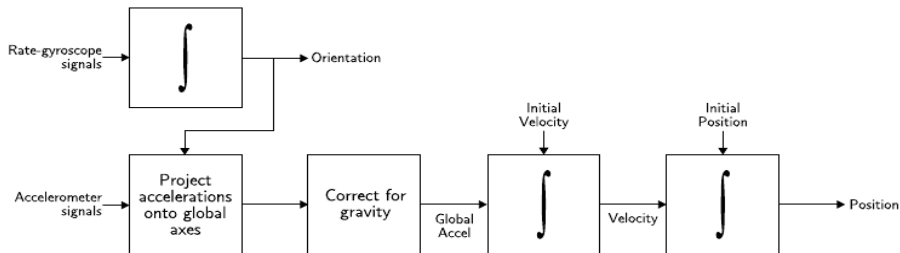
2 Hauptgruppen von Konfigurationen [3]

- ① Stable Platform Systems
- ② Strapdown Systems

# Stable Platform Systems



# Strapdown Systems



# Autonome Flugkörper = Cruise Missile

Beschreibung: [2]

- Dispensable
- Pilotless
- Self-Guided
- Continuously Powered
- Air-Breathing

Anforderungen an die INS:

- 20 Hz Update
- Mehrere Stunden Flugzeit
- Short-Term Accuracy
- Bestimmung von missile position, velocity, attitude, and altitude

Zwei Gruppen von Sensoren:

- Geschwindigkeit = Accelorometer
- Orientierung = Gyroscope

Hohe Anforderungen von Genauigkeit wegen der Akkumulierung von Fehlern.  
Die Größe muss auch minimal sein, da die Flugkörper klein sind.

# Acceloremeter (Beschleunigungssensoren)

## Anwendung:

- Messung von (linearen) Beschleunigungen
- Sensorik in digitalen Kameras
- Positionsbestimmung



# MEMS Acceloremeter

## Definition (MEMS)

= Microelectromechanical systems

Sehr kleine mechanische Geräte angetrieben durch Elektrizität.

2 Typen von Acceloremtern:

- Piezoelectric accelerometer
- Surface micromachined capacitive

# Piezoelectric accelerometer

Wirkungsweise: Die bei Beschleunigung Änderung der einwirkenden Kraft wird mittels des Piezoelektrischen Effekts gemessen. Konstante Beschleunigungen können nicht gemessen werden.

## Definition (Piezoelektrizität)

Beschreibt das Auftreten einer elektrischen Spannung an Festkörpern, wenn sie elastisch verformt werden.

# Capacitive accelometers

## Funktionsweise

Messung von Kapazitätsänderungen.

### Vorteile

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

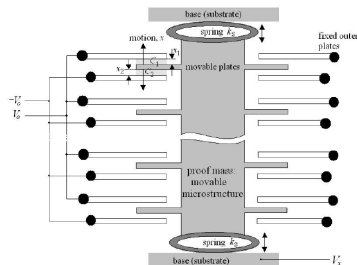
# Kapazität

Die Kapazität von 2 parallelen Platten ist [1]

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

wobei  $\epsilon_A = \epsilon_0 \epsilon_r A$  und A die Fläche der Elektroden, d die Distanz zwischen ihnen und die  $\epsilon_r$  die Permittivität von dem Material dass die beiden trennt.

# Kapazität 3



Die Kapazitäten

$C_1$  und  $C_2$  zwischen der beweglichen Platte und den äußeren Stationären Platten sind abhängig von den Verschiebung  $x_1$  und  $x_2$ .

$$C_1 = \epsilon_A \frac{1}{x_1} = \epsilon_A \frac{1}{d + x} = C_0 - \Delta C \quad (2)$$

$$C_2 = \epsilon_A \frac{1}{x_2} = \epsilon_A \frac{1}{d - x} = C_0 + \Delta C \quad (3)$$

# Kapazität 4

Wenn die Beschleunigung null ist, dann sind die Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  gleich.  
Wenn aber  $x_1 \neq x_2$  also  $x \neq 0$  dann gilt:

$$C_1 - C_2 = 2\Delta C = 2\epsilon_A \frac{x}{d^2 - x^2} \quad (4)$$

Wenn wir nun  $\Delta C$  messen, dann können wir die Verschiebung  $x$  messen indem wir die nichtlineare algebraische Gleichung lösen.

$$\Delta C x^2 + \epsilon_A x + \Delta C d^2 = 0 \quad (5)$$

Für kleine Verschiebungen ist der Term  $\Delta C x^2$  verschwindend klein. Es gilt also

$$x \approx \frac{d^2}{\epsilon_A} \Delta C = d \frac{\Delta C}{C_0} \quad (6)$$

Wir können also sagen, dass die Verschiebung annähernd proportional ist zur Kapazitätsdifferenz  $\Delta C$

# Gyroskop (Rotationssensoren)

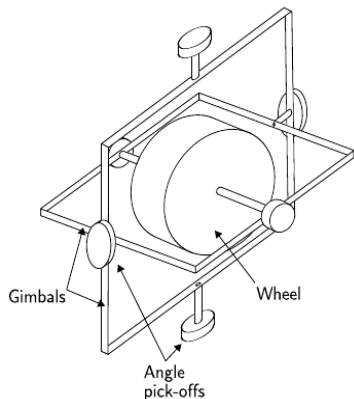
## Was ist ein Gyroskop

Ein Gerät zur Messung oder Erhaltung der Orientierung, basierend auf dem Prinzip des Drehimpulses.

## Typen von Gyroskopen

- 1 Mechanisch
- 2 Optisch
- 3 MEMS

# Mechanische Gyroskope



Bestehen

aus einem spinning wheel und zwei Gimbals, welche es eine Rotation in 3-Achsen erlaubt.

Ein

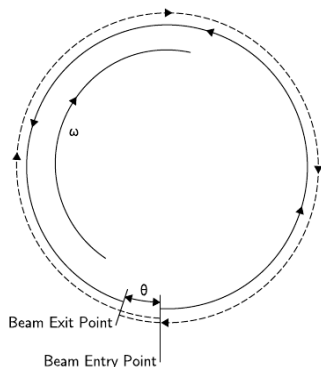
Mechanische Gyroskope misst die Orientierung direkt, während die meisten moderne Gyroskope die Winkelgeschwindigkeit messen.

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.

# Kalman-Filter

# Diskreter Kalman-Filter

# Modellierung eines Systems

# Kalman-Filter für UAV

- [1] Matej Andrejaši. *MEMS ACCELEROMETERS*. Department of physics, März 2008.
- [2] George M. Siouris. *Missile Guidance and Control Systems*. Springer-Verlag New York, Inc., 2004. ISBN: 0-387-00726-1.
- [3] Oliver J. Woodman. *An introduction to inertial navigation*. Techn. Ber. 15 JJ Thomson Avenue: University of Cambridge, Aug. 2007.