

Vorlesung: Angewandte Sensorik

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik

AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme
25. November 2005

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

25. November 2005

Inhaltsverzeichnis

Kraft-Moment-Sensoren (KMS) 165
KMS-Kalibrierung 177
Kraftregelung 180
KMS: Spacemouse 182
Taktile Sensoren 185
Hall-Effekt Sensoren 194

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

25. November 2005

Kraft-Moment-Sensoren (KMS)

- Zumeist starre Konstruktionen die kleine Verformungen erlauben.
- Messung der Verformung mit Dehnungsmessstreifen (DMS).

Vorteile:

- in großem Bereich linear
- starke Dämpfung → schwingt nicht so leicht

Nachteile:

- Temperaturdrift

Prof. J. Zhang
Vorlesung: Angewandte Sensorik

Seite 165
25. November 2005



Quelle: ATI Industrial Automation

Prof. J. Zhang
Vorlesung: Angewandte Sensorik

Seite 166
25. November 2005

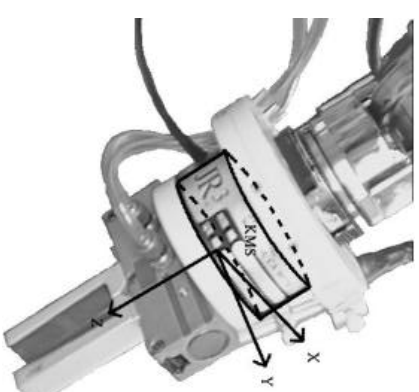
KMS mit sechs Freiheitsgraden

- Ein auf ein dehnbares Material applizierter DMS kann die Kraft in eine Richtung messen (siehe: *Hookssches Gesetz*):
- Allgemeine KMS mit sechs Freiheitsgraden:
 - ◆ Eine spezielle Anordnung von DMS.
 - ◆ Messen die Kräfte in alle drei Koordinatenrichtungen (F_x, F_y, F_z).
 - ◆ Messen die Drehmomente zu allen drei Koordinatenrichtungen (M_x, M_y, M_z).

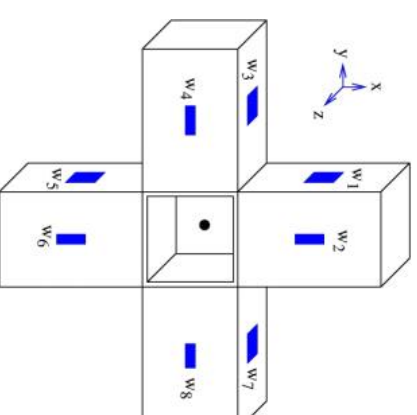
Exkurs: Freiheitsgrade

- engl.: *degrees of freedom* (DOF)
- Translation in Richtung der x-, y- oder z Achse eines Koordinatensystems (3 DOF).
- Rotation um y-, x- oder z-Achse eines Koordinatensystems (3 DOF).
- Beschleunigung in oder um die Koordinatenachsen (6 DOF).
→ KMS z.B. von der Firma JR³ (12-DOF-KMS)

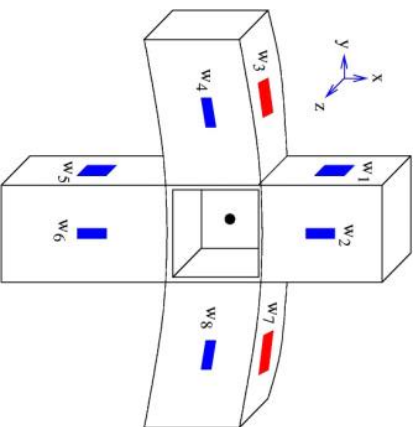
Einsatz von KMS



Aufbau von MS



Beispiel: Kraft in x-Richtung



KMS: Signale

Kopplungsfreier Fall, d.h. keine Signale durch Querbelastungen:

Kraft/Moment	DMS
F_x	W_3, W_7
F_y	W_1, W_7
F_z	W_2, W_4, W_6, W_8
M_x	W_4, W_8
M_y	W_2, W_6
M_z	W_1, W_3, W_5, W_7

Kopplungsmatrix (1)

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \\ W_7 \\ W_8 \end{bmatrix}$$

Kopplungsmatrix (2)

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 & k_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{17} & 0 \\ k_{21} & 0 & 0 & 0 & k_{25} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{32} & 0 & k_{34} & 0 & k_{36} & 0 & 0 & k_{38} \\ 0 & 0 & 0 & k_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{48} \\ 0 & k_{52} & 0 & 0 & 0 & k_{56} & 0 & 0 & 0 \\ k_{61} & 0 & k_{63} & 0 & k_{65} & 0 & 0 & k_{67} & 0 \end{bmatrix}$$

Kopplungsmatrix (3)

- Zusammenhang zwischen Signalen der DMS und den Kräften/Momenten über die *Kopplungsmatrix* K .
- Vorige Tabelle gilt im kopplungsfreien Fall,
- in der Realität wirkt sich z.B. eine Kraft in x-Richtung auch auf W_1 , W_2 , W_5 und W_6 aus.
- Reale Kopplungsmatrizen daher komplizierter.
- Meist in der Messhardware (z.B. Interface-Karten) integriert und nicht mehr sichtbar.

KMS-Anwendung in der Robotik

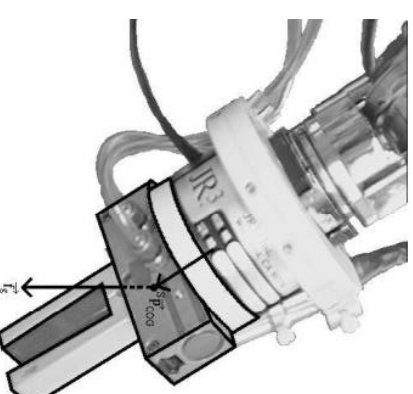
- Überwachte Bewegungen (engl.: *guarded motions*):
 - ◆ Bewegung herkömmlich (fest) programmiert
 - ◆ Überschreiten eines bestimmten Kraftwertes
 → Abbruch der Bewegung.
- Nachgiebige Bewegungen (engl.: *compliant motions*):
 - ◆ Manipulator gibt bei einer äußeren Kraft nach
 - ◆ oder: versucht eine bestimmte Kraft aufzubringen
 - ◆ erfordert Regelung (PID-, Fuzzy-, Neuro-Regler, o. ä.)

KMS-Kalibrierung (1)

Kalibrierung bedeutet im wesentlichen Ermittlung

- des **Greifereigengewichtes** f_g
 (verursacht orientierungsabhängigen Off-Set in den **Kräften**)
- des **Greiferschwerpunktes** (engl.: *center of gravity*) \vec{p}_{COG}
 (verursacht orientierungsabhängigen Off-Set in den **Momenten**)

KMS-Kalibrierung (2)



KMS-Kalibrierung (3)

Probleme in der Praxis:

- KMS rauschen
 - ⇒ Messwerte müssen i. d. Regel gefiltert werden
- Tragen einer Last erhöht \bar{f}_g und verschiebt \vec{p}_{COG}
 - ⇒ Kalibrierung eigentlich nur für den Lastzustand gültig, in dem sie gemacht wurde
- DMS sind temperaturabhängig
 - ⇒ Kalibrierung auch temperaturabhängig

Direkte Kraftregelung

- Kraftmessung wirkt direkt auf Achsmotoren.
- Bei kommerziellen Robotern nicht einsetzbar,
 - nicht weiter betrachtet.

Hybride Kraftregelung

Kraftmessung wirkt mit Umweg über die Positionregelung auf die Achsmotoren.

Probleme:

- Reglermodell berücksichtigt nicht die exakte Situation
 - Einstellen der Parameter für den Positionregler
- einfach:** lineare hybride Regelung über mehrdimensionales Federgesetz

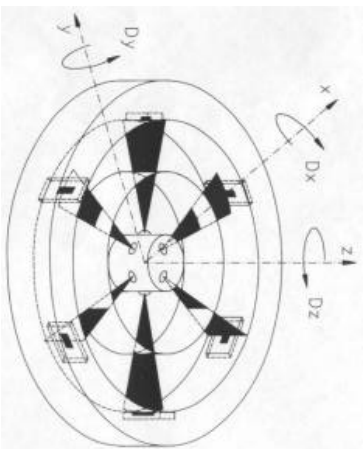
$$\vec{s} = C^{-1} \cdot \vec{F}$$

KMS: Spacemouse (1)



Quelle: 3DCONNEXION (www.spacemouse.com)

KMS: Spacemouse (2)



Quelle: DLR (www.robotic.dlr.de/mmi/sm/)

KMS: Spacemouse (3)

- alternativer Kraft-Moment-Messung
- flexible Konstruktion
- optische Abtastung

Vorteil:

- keine Drift

Nachteile:

- begrenzt linear
- kann schwingen
- Software-Dämpfung

Taktile Sensoren (1)

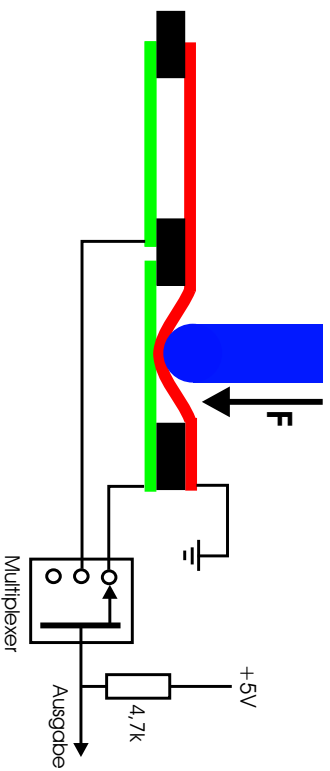
- Besondere Klasse von Kraft- oder Drucksensoren.
- Meistens sehr schmale Sensoren.
- Beispiel: Berührungssensoren an Fingerspitzen künstlicher Hände.
- Andere Anwendungen: Touch-Screen, Tastaturen, Messung der Belastung der Fußsohle beim Laufen, etc.

Taktile Sensoren (2)

Verschiedene Herstellungsmethoden:

- Membran-Schalter
- Piezoelektrische taktile Sensoren
- kraftsensitive Widerstände

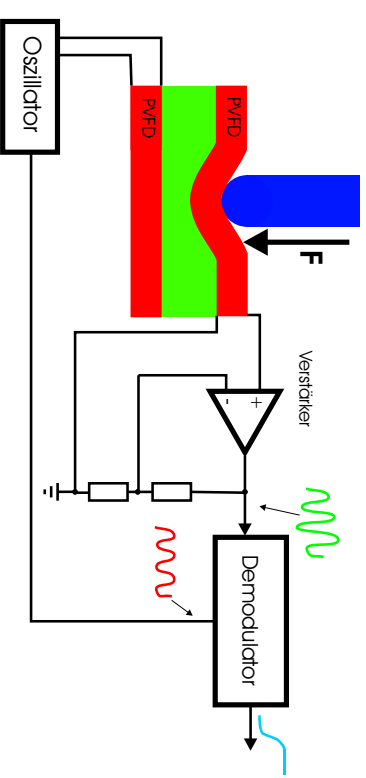
Membran-Schalter



Piezelektrische taktile Sensoren (1)

- Aktive oder passive Sensoren aus PVDF (textilpolyvinylidene fluoride).
- Beispiel: **aktiver ultraschallgekoppelter Berührungssensor**
 - ◆ drei Schichten (obere und untere Schicht aus PVDF)
 - ◆ untere Schicht wird in Schwingung versetzt
 - ◆ mittlere Schicht überträgt Schwingung auf obere Schicht
 - ◆ Ausgangssignal der oberen Schicht wird mit Eingangssignal verglichen
 - ◆ Druck verändert Ausgangssignal

Piezelektrische taktile Sensoren (2)



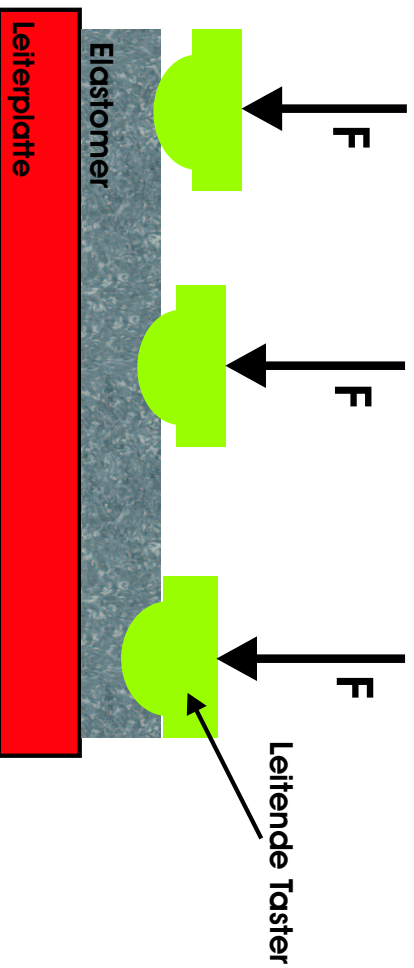
Piezelektrische taktile Sensoren (3)

- Ausgangssignal in begrenztem Bereich linear zur Kraft.
- Bei $25\ \mu\text{m}$ PVDF-Filmdicke und $40\ \mu\text{m}$ Gummi film als zweite Schicht, ist der gesamte Sensor inkl. Schutzschicht schmäler als $200\ \mu\text{m}$.
- Durch mehrere Zellen können ganze Flächen erfasst werden.
- **Vorteile:**
 - ◆ einfacher Sensoraufbau
 - ◆ ideal zum Messen statischer Kräfte

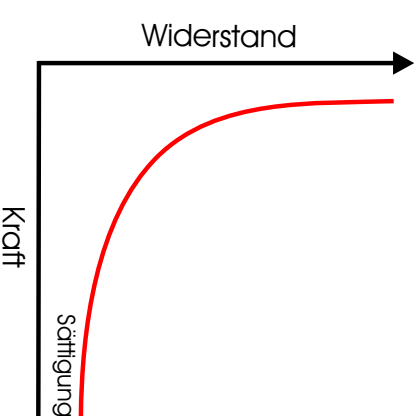
Kraftsensitive Widerstände (1)

- Taktile Sensoren können aus einem Material hergestellt werden, das seinen Widerstand abhängig vom aufgebrachten Druck ändert.
- engl.: *force sensitive resistor (FSR)*
- Material: leitende Elastomere oder drucksensitive Tinte
- Leitende Elastomere werden aus Silikon-Gummi oder Polyurethan gefertigt und mit leitenden Partikeln oder Fasern impregniert.
- Funktionsweise:
 - ◆ Verändern der Kontaktfläche zwischen zwei leitenden Platten.
 - ◆ Ändern der Schichtdicke.

Kraftsensitive Widerstände (2)



Kraftsensitive Widerstände (3)



Hall-Effekt Sensoren

- Wenn sich ein Elektron durch ein magnetisches Feld bewegt, so wirkt eine Kraft auf das Elektron.

$$F = qvB$$

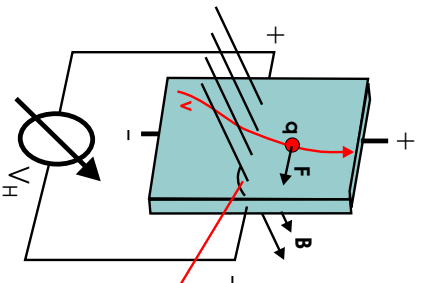
q : Ladung des Elektrons ($1,6 \cdot 10^{-19} C$)

v : Geschwindigkeit des Elektrons

B : magnetische Feldstärke

- Es lassen sich z.B. Kompass-Sensoren realisieren.

Hall Effekt



Prof. J. Zhang

Vorlesung: Angewandte Sensorik

Seite 195

25. November 2005

Literatur

- [1] FRADEN, JACOB: *Handbook of modern sensors: physics, design, and applications*. Kapitel 3.8 u. 8.2, Seiten 78–81 u. 325–330. Springer-Verlag New York, Inc., 2. Auflage, 1996.
- [2] MCKERROW, PHILLIP JOHN: *Introduction to Robotics*, Kapitel 10.5.3 u. 10.6.1, Seiten 570–573 u. 574–580. Electronic Systems Engineering Series. Addison-Wesley, korrigierte Auflage, 1993.