

Labor Robotik - Sensoren

Christoph Zinnen
(Laborkonzept & Manuskript: Prof. Dr. Peter Gemmar)

Fachbereich Informatik
Hochschule Trier

WS17/18



LABORROBOTIK

Informatik - Computer Science

Informatik
Hauptcampus

H O C H
S C H U L E
T R I E R

Sensoren

- ▶ Grundvoraussetzung für (einfachste) Verhaltensweisen von AMRs sind Sensoren und Verfahren zur Auswertung der Sensorinformation.
- ▶ Aufgabe der Sensoreinheiten ist die Wahrnehmung (Perzeption) der aktuellen Umgebung (Universum der Aufgabe)
- ▶ Die Wahrnehmung beschränkt sich meist auf das Erkennen von Gegenständen, der Struktur der Umgebung (Wände, Flure usw. eines Bewegungsraums)
- ▶ Ein Verstehen der Umgebung ist nur soweit zu betrachten, wie es für die abzuleitende Aktion erforderlich ist.

Sensoreigenschaften:

- ▶ Messbereich - *Minimum und Maximum*
- ▶ Dynamik - *Verhältnis von Ober- und Untergrenze*
- ▶ Auflösung - *Trennung physikalischer Größen*
- ▶ Linearität - *Abhängigkeit zur tatsächlichen Größe*
- ▶ Messfrequenz - *Anzahl an Messungen/Sekunde*
- ▶ Sonstige Kenngrößen - *z.B. Spannnug, Energiebedarf, ...*
- ▶ Empfindlichkeit - *Werteänderung der Ausgangsgröße bezogen auf die verursachte Werteänderung*
- ▶ Messfehler - *Differenz zwischen gemessenem und tatsächlichem Wert*
- ▶ Genauigkeit - *Prozentualer Wert der Abweichung*
- ▶ Systematische Messfehler - *z.B. verursacht durch einen Temperaturdrift bei einem Sonarsensor*
- ▶ Zufällige Messfehler - *Störung durch stochastisches Rauschen*

Sensoren - Aufgaben

Die primären Sensoreinheiten für die Mobilität von AMR sind erforderlich für:

- ▶ Wegstreckenmessung (Bewegungsänderung),
- ▶ Orientierung (inertiale Änderung) und
- ▶ Umgebungsbeobachtung (externe Strukturen).

Die Sensoreinheiten, d.h. Sensoren und Algorithmen, werden benötigt, damit der Roboter weiß,

- ▶ wo er gerade ist,
- ▶ welchen Weg er genommen hat und
- ▶ wie er weiter kommt bzw. was seine Umgebung zulässt.



Sensoren - Klassen

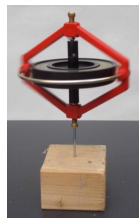
Die Sensoren und Algorithmen, die hierzu benötigt werden, können sehr komplex sein bzw. sind in der gewünschten, endgültigen Funktionalität noch gar nicht verfügbar oder Gegenstand der aktuellen Entwicklungen oder Forschung. Es existieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensortechniken, wobei für AMR sich zwei Haupt-Sensorklassen herausgestellt haben:

- ▶ Visuelle Sensoren

Sie untersuchen die aktuelle Umgebung (Raum, Gegenstände) des Roboters anhand des reflektierten Lichtes (passiv).

- ▶ Nicht-visuelle Sensoren

Dazu zählen akustische, inertielle Sensoren usw., die ebenfalls Informationen über die Umgebung aktiv oder passiv aufnehmen.



Sensoren - Modalitäten I

Es werden unterschiedliche Energieformen und Übertragungsmedien verwendet:

- ▶ Sensoren, die die **gleiche Energieform** messen und gleichartig verarbeiten, stellen **eine Modalität** dar.
- ▶ Die jeweilige *Modalität* bezieht sich auf das unverarbeitete Eingangssignal des Sensors.
- ▶ Schall (berührungslos, z.B. Ultraschall)
- ▶ Druck (Kontakt)
- ▶ Temperatur
- ▶ Licht (elektro-magnetische Wellen)
 - ▶ Sichtbares Licht
 - ▶ Infrarotes Licht
 - ▶ Radarstrahlen
 - ▶ usw.

Sensoren - Begriffe

Sensor: Gerät, das einige Eigenschaften der Umwelt misst.

Transducer: Mechanismus, der die aufgenommene Energie (der beobachteten Umwelt) in eine andere Energieform überführt.

Passive Sensoren: Setzen voraus, dass die Umwelt das Medium bzw. die Energie für die gewünschte Beobachtung bereit stellen (Irradianz, Radianz für Videoaufnahmen).

Aktive Sensoren: Führen der Umwelt Energie zu, um dort die Energie zu ändern oder zu verstärken (z.B. Laser-Scanner).

Aktives Beobachten: Es wird ein System mit einem Effektor verwendet, um den Sensor dynamisch in eine Position für eine bessere Beobachtung zu bringen (\neq aktiver Sensor).

Sensortypen I

Betrachtet man die Interessens- oder Aufgabengebiete der Sensoren, so kann man also zwei Klassen von Sensortypen unterscheiden:

Interne Sensoren (*proprioception*): Sie nehmen den inneren

(Betriebs-)Zustand des AMR auf; z.B.:

Position der Räder, Geschwindigkeit, Ladezustand der Batterien, Drehwinkel der Greiferachsen usw. (Einsatz z.B. für Koppelnavigation (*dead reckoning*)).

Hierzu können prinzipiell alle Sensortypen eingesetzt werden, die auch in anderen technischen Anwendungen für ähnliche Aufgaben genutzt werden.

Sensortypen II

Externe Sensoren (*exteroception*): Sie liefern Information über den äußeren Zustand des AMR; z.B.:
Zustand der Umgebung (z.B. Temperatur) und insbesondere Gegenstände (Ausmaße, Abstand) für eine *Kollisionsvermeidung* oder für die *Navigation* usw.
Hierzu können externe Sensoren die Umgebung direkt berühren (*Kontaktsensoren*) oder ohne direkten Kontakt erfassen (*kontaktfreie Sensoren*) oder sie können *aktiv* oder *inaktiv* die Umgebung 'beobachten'.
Externe Sensoren (-systeme) versuchen, die Umgebung zu entdecken und zu rekonstruieren, was sich grundsätzlich als eine wesentliche und anspruchsvolle/schwierige Aufgabe darstellt.

Sensoren - aktiv/passiv

Unabhängig vom Aufgabengebiet lassen sich Sensoren auch nach der Art, wie sie sich Informationen über ihren Beobachtungsbereich beschaffen, unterscheiden in:

Aktive Sensoren: Aktive Sensoren senden Signale (Energie) aus, und beobachten die Umgebung durch die reflektierten Signale (Energie).
(Beispiele: Laser für Entfernungsmessung, Sonar für Hinderniserkennung usw.)

Passive Sensoren: Passive Sensoren empfangen Signale (Energie) von der Umgebung und transformieren diese in geeignete Darstellungen für die vorliegende Auswertung.
(Beispiele: Videokamera für Hinderniserkennung, Stereokamera für Entfernungsbestimmung.)

Sensorfusion I

Um die o.a. Schwächen einzelner Sensoren auszugleichen, können Sensor-Einrichtungen zusammengestellt werden;

Sensor-Einrichtung (*sensor suite*): Menge von Sensoren für einen bestimmten Roboter.

Sensor fusion: Prozess, der die Information von mehreren Sensoren zu einer Wahrnehmung zusammenführt.

Mehrere Sensoren werden benutzt, wenn ein einzelner Sensor zu ungenau ist, um verlässliche Beobachtungen zu liefern.

Gründe für diese Vorgehensweise ergeben sich aus den üblichen Eigenschaften von Sensoren: **Zuverlässigkeitsprobleme** wie z.B.:

Falsch positiv: Der Sensor vermittelt dem Roboter eine Beobachtung, die nicht existiert.

Falsch negativ: Der Sensor bewirkt, dass der Roboter eine Beobachtung nicht erhält, die aktuell existiert.

Sensorfusion II

1. **Redundant oder konkurrierend:** Die Sensoren besitzen die gleiche Beobachtungsaufgabe;
 - ▶ Man kann dies durch eine *physikalische* (mehrfach gleiche Sensormodalität) oder eine
 - ▶ *logische Redundanz* (unterschiedliche Modalitäten aber gleiche Beobachtung) erreichen (z.B. Laser und Videokamera (Stereo) für Abstandsermittlung).
2. **Komplementär:** Sensoren liefern disjunkte Information; zum Beispiel Infrarotkamera für Hitze- und Videokamera für Bewegungsentdeckung.
3. **Koordiniert:** Dies kann die Benutzung einer Serie von Sensoren bedeuten; zum Beispiel : Entdeckung eines Beobachtungsfokus (*cue-ing*) – Beobachtung von Bewegung – Aktivierung weiterer spezieller Sensoren.

Inertiale Sensoren I

Inertiale Sensoren gehören zu den propriozeptiven Sensoren, d.h. sie ermitteln im weitesten Sinne den Zustand des AMR in Bezug auf seine Umgebung aufgrund interner Messungen (Inertialsystem: Bezugssystem, das sich ohne Beschleunigung bewegt).

- ▶ Wichtige Zustandsgrößen sind dabei: *Wegstrecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung*.
- ▶ **Beschleunigungsmesser:** Mit einer federbewehrten Masse lässt sich über die einwirkende Kraft ($F = ma$) und über die Federkraftrelation ($F = mg + kx$) die Beschleunigung a in einer bestimmten Richtung ermitteln.

Setzt man drei solche System orthogonal zu einander ein, kann man die Gesamtbeschleunigung ermitteln.

Inertiale Sensoren II

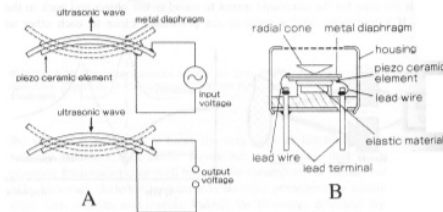
- ▶ **Gyroskope:** Messen die Winkelbeschleunigung auf Basis der Newton-Mechanik.
Zum Beispiel: Schnell rotierende Masse in einer mit bis zu drei Achsen freier Aufhängung (*gimbal*) (Beispiel: künstlicher Horizont im Flugzeugcockpit).
Problem: Drift. Kleine Messfehler (mechanisch: z.B. Reibung und keine ideale Gimbals) addieren sich im Laufe der Zeit auf und führen zu Fehlanzeigen.



Sonarsensoren I

Ultraschallsensoren gehören zu externen Sensoren (exterozeptiv) und werden hauptsächlich zur Abstandsermittlung (*ranging*) für Kollisionsvermeidung (berührungsfrei) und Navigation eingesetzt. Ihre Eigenschaften sind:

- ▶ Abstandsmessung über Zeit der Signalausbreitung und/oder Phasenverschiebung des reflektierten Signals als Funktion der Frequenz. Früher Einsatz: Bereits 1918 für die Ortung von U-Booten [GD00].
- ▶ Sonareinheiten werden hauptsächlich in Form von Sender-Empfänger-Einheiten (*emitter-receiver = transducer-units*) bei AMRs eingesetzt. Sie sind recht einfach und kostengünstig herzustellen.



Sonarsensoren II

- ▶ Prinzip: Es wird ein kurzer akustischer Impuls ausgesendet (z.B.: 40 – 50kHz); die Sensoreinheit (transducer) wird auf Hören (*listening*) geschaltet (Mikrofon).
- ▶ Wegen Restschwingungen des Senders muss der Beginn des "Hörens" verzögert werden: Leer-Intervall (*blanking interval*).
- ▶ Infolgedessen können sehr nahe Objekte nicht "gesehen" werden (typischer Abstand: bis ca. 6 cm, technologieabhängig).
- ▶ Läuft die Schallwelle direkt zu einem Objekt und wird dort reflektiert, dann ergibt sich der Abstand D zu:

$$D = \frac{1}{2} v_a T \quad (T : \text{Signallaufzeit})$$

$$v_a = v_0 + 0.6T \quad [m/s]$$

$$\text{Minstdistanz: } D_{min} = 1/2 v_a T_{\text{Impuls}} \quad T : (\text{Impulsdauer})$$

$$\text{Maximaldistanz: } D_{max} = 1/2 v_a T_{\text{Intervall}} \quad T : (\text{Intervalldauer}).$$

$$(v_a : \text{Schallgeschwindigkeit in Luft; } v_0 = 331 m/s; T : \text{Temperatur in } ^\circ C.)^{(1)}$$

Sonarsensoren III

- ▶ o.a. Gleichung gilt nur **näherungsweise**, da v_a auch von der Luftdichte, Feuchte und Staub beeinflusst wird; außerdem geht die Temperaturabhängigkeit quadratisch mit der absoluten Temperatur. Typische Abweichungen in Arbeitsräumen liegen bei ca. 2%.
- ▶ Das räumliche Amplitudenprofil ähnelt einem **M**-Multi-Lappen mit einem Hauptlappen (größte Amplitude bzw. Energie) in Haupt-Ausbreitungsrichtung (Flächennormale) . Die Seitenlappen ergeben sich aus sogen. sekundären Schallwellen. Die Breite (effektiver Radius) des Hauptlappens (Kegel od. Keule) wird oft mit 30°-Öffnung in 5m Entfernung eingestellt.

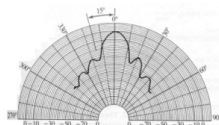
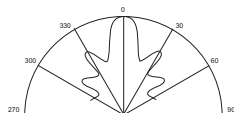
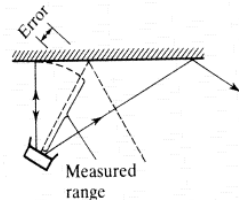


Abbildung: Sonarprofile: Kegel (Keule) mit Haupt- und Nebenlappen

Sonar - Phänomene I

► Foreshortening

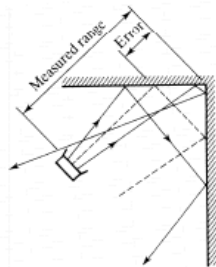
Der effektive Kegeldurchmesser nimmt als Funktion des Abstands ab (breite Wellenfront). Hierdurch kann ein empfangenes Echo auch von einem Teil der Wellenfront (z.B. Seitenlappen) kommen, der schräg vom Sender weg läuft; dies kann zu einer zu kurzen Abstandsmessung führen *Voraus kürzen, foreshortening*. Dies ergibt sich generell auch aufgrund des FOV, der aus dem (nicht beliebig kleinen) Kegeldurchmesser (z.B. 30°) entsteht.



Sonar - Phänomene II

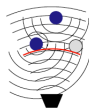
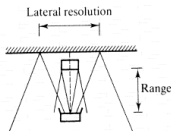
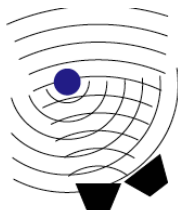
► Spekulative Reflektion (*specular reflection*)

Ein Hauptproblem bei der Ortung einer reflektierenden Oberfläche ergibt sich dadurch, dass die Oberflächen wie Spiegel reflektieren: so kann eine schräg auftreffende Welle weg vom Sender – und nicht zu ihm hin reflektiert wird. Ein zurückkommendes Echo kann also aus einer Serie von komplexen Reflektionen entstanden sein – und nicht direkt von einem angenommenen Objekt.



Sonar - Phänomene III

- ▶ **Übersprechen (*cross-talk*)** Senden z.B. die Sonareinheiten auf einem Sensorring gleichzeitig, dann kann ein Empfänger nicht unterscheiden, ob das empfangen Echo von seinem Sendesignal oder dem eines anderen Senders herkommt!
Abhilfe: Unterschiedliche Frequenzen oder Sendezeitpunkte für die einzelnen Sender.
- ▶ **lateral Auflösung** Aufgrund der Breite der Sonarkeule können eng benachbarte Objekte in der Tiefe nicht richtig erkannt werden !



Filterung

Reale Daten sind fehlerbehaftet.

Es gibt unterschiedliche Strategien, um auf die Phänomene von Sensorstörungen eingehen zu können:

Reduktionsfilter: Messpunkte werden durch eine, ggf. signifikant kleinere, Menge an Datenpunkten ersetzt. Dies wird durch eine lokale Mittelung erreicht.

Medianfilter: Einzelne grobe Messfehler werden ersetzt. D.h. die Anzahl an Messpunkten wird nicht reduziert.

Literatur



G. DUDEK, M. JENKIN: *Computational principles of mobile robotics*.
Cambridge University Press, Cambridge UK, 2000.