

Kognitive Robotik

HK WS 05/06

Weitere Sensoren
(d.h. außer visuelle
Sensoren)

Hans-Dieter Burkhard
Humboldt-Universität Berlin
Institut für Informatik

Mit Dank

an Teilnehmer Proseminar
WS02/03, speziell
Franz Andert
Alberto Bettin
Maximilian Buder
Volker Janetschek
Sebastian Lindstaedt
Tobias Meyer zu Hoberge

an Mitarbeiter aus HU:
Jan Hoffmann
Joscha Bach



Sensorik

Allgemeine Eigenschaften:

Siehe auch Vorlesungen zu „Wahrnehmung“

- Interne Sensoren („selbst“)
 - Temperatur, Gelenkstellung, Bewegung, Lage, ...
- Externe Sensoren („Umwelt“)
 - Hindernisse, Position, ...
- Passive Sensoren
 - Vorhandene Signale erfassen
 - Keine Beeinflussung der Umgebung
- Aktive Sensoren
 - Signale provozieren (z.B. Echo)
 - Beeinflussung der Umgebung

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

2

Sensorik

Allgemeine Probleme:

Siehe auch Vorlesungen zu
„Verarbeitung visueller Daten“

- Auflösung/Abtastrate
- Störungen
- Filterung
- Bezug auf menschliche Wahrnehmung
- Kalibrierung

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

3

Sensorik

Physikalische Zusammenhänge ausnutzen

- Strom – Spannung – Widerstand – Magnetismus
 - Induktivität – Leitfähigkeit ...
- Wellenlänge – Frequenz – Phasenverschiebung – Echo
 - Laufzeit ...
- Masse – Kraft – Geschwindigkeit – Beschleunigung
 - Trägheit ...

Geeignete Kopplungen

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

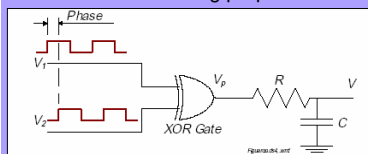
4

Sensorik

Alternative Möglichkeiten

Beispiel: Messung von Entfernungen

- Impuls senden – Echo empfangen:
Zeitdifferenz proportional zur Entfernung
- Impuls senden - Phasenverschiebung des Echos:
Phasenverschiebung proportional zur Entfernung



V proportional zur
Phasenverschiebung

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

5

Menschliche Sinne

- Sehen
- Hören
- Riechen
- Schmecken
- Tasten
- Wärme
- Feuchtigkeit
- Schmerz
- Gleichgewicht
- Muskelspannung
- Hunger
- Durst
- ...

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

6

Verarbeitung von Sinneseindrücken

- Reiz erregt einen Sinnesrezeptor
- Auslösung von Nervenimpulsen
- Weiterleitung zum Rückenmark/Gehirn:
 - Pro Sekunde treffen im Zentralen Nervensystem ca. 1 Million Rezeptorsignale ein.
- Auf Rückenmarksebene und im Hirnstammbereich erfolgen Antworten unbewusst in Form von Reflexen.
- Filterung im Thalamus:
Nur ausgewählte Signale werden in der Großhirnrinde bewusst wahrgenommen.

Reflexe

- Vom Willen unabhängige Reaktionen auf Reize („Sensor-Aktor-Kopplung“)
- Ermöglichen schnelles Reagieren (bewusste Überlegungen benötigen mehr Zeit)
- Regeln ständig Körperfunktionen
- Bewusstsein wird entlastet für komplexere Aufgaben

Funktionsprinzip: Regelkreis

Reflexe

Reflexbogen:

- Rezeptor nimmt Reiz auf und übersetzt ihn in neuronale Erregungen
- Sensorische Nervenfasern leiten den Impuls weiter
- Reflexzentrum (z.B. Rückenmark) bildet Reflexantwort
- Motorische Nervenfasern übermitteln Reflexantwort zum Effektor (ausführendes Organ)

Komplexe Abläufe möglich, Beispiel: Stolperreflex.

- Rezeptor an anderem Ort als Effektor.
- Schnelle Reaktionen mehrerer Muskelgruppen.

Menschliche Sinnesorgane

Auge: Sehen

Haut: Tasten/Druck, Temperatur, Feuchtigkeit

Ohr: Hören, Gleichgewicht, Lage

Zunge: Geschmack

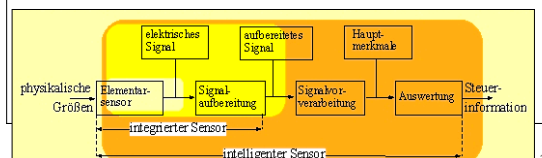
Nase: Geruch, Geschmack

Sinnesorgane

- In der Natur weitere Sinnesorgane
- Hoch entwickelte/angepasste Fähigkeiten zur Integration multisensorieller Daten
- Technik: Sensoren zur Erfassung von Signalen
 - auch für Signale, die der Mensch nicht erfassen kann
 - bzw. über menschliche Wahrnehmungsfähigkeiten hinaus gehende Fähigkeiten (Messbereich, Genauigkeit, ...)

Sensor + Verarbeitung

- Elementarsensor
Aufnahme der Messgröße, Abbildung des Signals
- Integrierter Sensor
Zusätzliche Signalaufbereitung:
Verstärkung, Filterung, Linearisierung und Normierung
- Intelligenter Sensor
Integrierter Sensor mit rechnergesteuerter Auswertung



Licht-/Infrarotsensor

- Fotowiderstand (-diode, -transistor)
 - mit Lichtstärke variierender Widerstand
- Infrarotsensor (dicht unterhalb sichtbarem Licht)
 - meldet Objekt im Nahbereich
- Aktiver Infrarotsensor
 - sendet kodierte Signale, misst Echostärke
 - Reflexion der Umgebung: Abstand, Hindernisse

Keine genaue Messung, billig, stör anfällig
 Anordnung als Ring: „non-contact bumpers“

- Wärmesensor:
 - reagiert auf Temperaturänderungen (Alarmsysteme)

Siehe auch „Visuelle Sensoren“, speziell: CCD=Charge Coupled Device
 – Lichtempfindlicher Sensor: Ladung proportional zur Lichtstärke
 – Als Sensorfeld in Verbindung mit Optik: Bildaufnahme

Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 13

Lichtschranke

Anwendung: z.B. Radencoder

Prinzip: Aktiver Sensor

Sender und Empfänger räumlich getrennt:

Sender und Empfänger räumlich zusammen:

H.D.Burkhard, HU Berlin Vorlesung Kognitive Robotik
 Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 14

Potentiometer

Spannung abhängig von Position auf einer geeigneten Widerstandsbahn (Metallschicht, leitfähiger Kunststoff)

Anwendungen

- Umformung mechanischer Messwerte in elektrische Signale (z.B. Abstandsmessung mit einem Kontaktsensor)
- Lagemessung (z.B. Gelenkstellung)

H.D.Burkhard, HU Berlin Vorlesung Kognitive Robotik
 Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 15

Radencoder

Messung der Umdrehungen eines Rades durch Beobachtung von Markierungen:

- Licht-Reflexion
- Lichtschranke
- Magnetische Markierungen

Anwendung: Richtung, Geschwindigkeit des Roboters

H.D.Burkhard, HU Berlin Vorlesung Kognitive Robotik
 Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 16

Radencoder

- Inkrementelle Kodierung:
 - gleichmäßige Unterteilung,
 - feste Anzahl von Impulsen pro Umdrehung
- Absolute Kodierung:
 - Positionen des Rades geeignet kodiert

H.D.Burkhard, HU Berlin Vorlesung Kognitive Robotik
 Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 17

Inkrementelle Radencoder

Einkanal-Drehimpulsgeber:

- keine Drehrichtungserkennung

Mehrkanal-Drehimpulsgeber:

- Drehrichtungserkennung
- Nullstellung (C)
- Elektronische Mehrfachauswertung

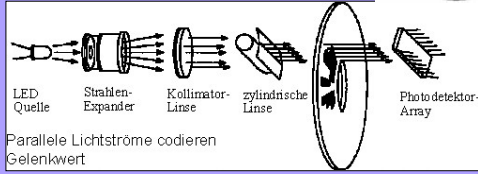
C

State	Ch A	Ch B
S ₁	High	Low
S ₂	High	High
S ₃	Low	High
S ₄	Low	Low

H.D.Burkhard, HU Berlin Vorlesung Kognitive Robotik
 Winter-Semester 2005/06 Wahrnehmung 18

Absolute Radencoder

- Jede Radposition hat individuelles Wortmuster
- Zähler entfällt
- Störungen ohne Auswirkung
- bei 12 Bit: Genauigkeit ca. 0,1 Grad
- Aufwendigere Konstruktion



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

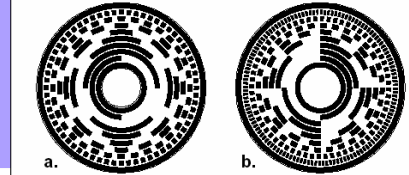
Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

19

Absolute Radencoder

Kodierungen:

- Gray-Code (a):
Änderung jeweils nur bei einem Bit
- Binär-Code (b):
mehrere Bits verändert



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

20

Dopplereffekt

Dopplereffekt:

- Frequenzverschiebung bei Signalen, die von bewegten Objekten ausgesandt/reflektiert werden
 - Annäherung: höhere Frequenz (Richtung blau, hellere Töne)
 - Entfernung: niedrigere Frequenz (Richtung rot, tiefere Töne)
- Messung der eigenen Geschwindigkeit
- Messung der Geschwindigkeit anderer Objekte

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

21

Kraftsensor, Berührungssensor („Bumper“)

Realisierungen:

- Mikroschalter (an/aus)
- Kraftmesswiderstand, -kondensator
- Biegesensoren

Komplexere Sensorfelder: berührungsempfindliche „Haut“
(Prinzip: Widerstandsänderung durch Verformung)

Anwendungen:

- Erkennung von Berührung (Kollisionsvermeidung, Greifer)
- Direkte Kopplung mit Aktuatoren
- Anordnung als Knautschzone

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

22

Kraftsensor, Berührungssensor („Bumper“)

Aibo:

Tastensensoren in den Füßen testen Bodenkontakt

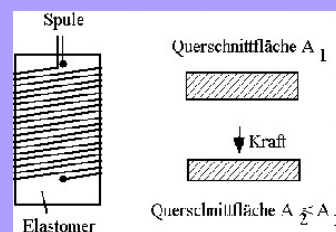
H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

23

Induktive Sensoren

- Krafterwirkung senkrecht zur Sensorfläche
- Änderung des Spulenquerschnitts
- Änderung der Eigeninduktivität



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

24

Piezoelektrische Sensoren

- Bei speziellen Materialien (z.B. Bergkristall, SiO_2) treten Ladungsunterschiede an der Oberfläche auf, die proportional zu der einwirkenden Kraft (Druck) sind.

Anwendungen:

Erkennung von einwirkenden Kräften in vielfältigen Zusammenhängen.

Lagesensoren

Neigungssensor:

- misst Richtung der Schwerkraft



Kompass

Anwendungen:

- Messung der Lage im Raum
- Messung von Bewegungen (über Änderungen zu verschiedenen Zeitpunkten)

Probleme bei Kompass:

Ortsabhängige Störungen, Roboter als Störquelle

Lagesensoren: Trägheitssensoren

Beschleunigungssensor:

- Feder/Masse-Kombination (für jede Richtung getrennt)
- Messen: Kraft (proportional zur Beschleunigung)

$$K = m \cdot b = k \cdot s^2$$

$$b = k \cdot s^2 / m$$

K =Kraft, m =Masse, b =Beschleunigung, s =Auslenkung k =Federkonstante

Anwendungen:

- Messung der Beschleunigung
- Rückschluss auf Geschwindigkeit

Vorteil: kein Bezug zu Außenwelt notwendig (bei genauerer Messung aber Schwerkrafteinfluss berücksichtigen)

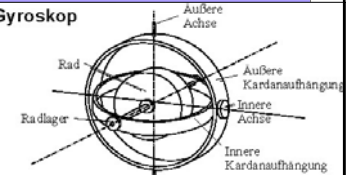
Lagesensoren: Trägheitssensoren

Gyroskop:

- Schnell rotierender Kreisel in Kardanaufhängung
- Messen: Kraft (proportional zur Winkelbeschleunigung)

- ### Anwendungen:
- Messung der Orientierungsänderung
 - Rückschluss auf Orientierung im Raum

Gyroskop



Problematisch:

Drift, d.h. Akkumulation von Abweichungen

Alternative Methoden: z.B. optische Gyroscop

Akustische Sensoren: Mikrophon

Prinzip:

- Schallwellen in elektrische Signale umformen (d.h. Kräfte messen, z.B. mittels Membran in Magnetfeld)

Störanfälligkeit:

- Eigengeräusche
- Zeitabhängige Signale (beschränkte Abfragehäufigkeit)

Anwendungen:

- Geräuscherkennung (Rückschluss auf Verursacher)
- Spracherkennung
- Peilung (Echo)

Akustische Sensoren: Mikrophon

Sprachverarbeitung ist (ähnlich der Bildverarbeitung) ein komplizierter Prozess mit mehreren Verarbeitungsstufen:

- Vorverarbeitung
- Identifizierung von Lauten, Silben, Wörtern
- Identifizierung von Zusammenhängen (z.B. Dereferenzierung von Pronomen)
- Identifizierung von Bedeutungen

Die Verarbeitung benötigt Wissen über

- Satzstrukturen, Grammatik, Syntax, ...
- Zusammenhänge, Kontexte, ...

Abstandssensoren

Messen des Abstands zu Objekten im Raum.

Aktive Sensoren:

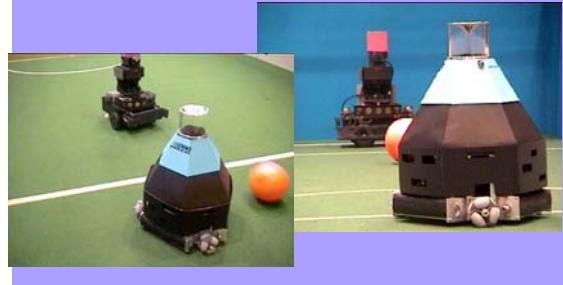
- Senden eines gerichteten Impulses

(Ultra-)Schall (Sonar)
Licht (Laser)
Radiowellen (Radar)

- Empfang des Echos
- Rückschluss auf Abstand des reflektierenden Objekts z.B. mittels
 - Laufzeit des Signals
 - Änderung des Signals (Phasenverschiebung)

Abstandssensoren

Freiburg vs. Golem (Italien), Amsterdam 2000



Sonarsensoren

Sonar = sound navigation and ranging

Aktiver akustischer Sensor im Ultraschallbereich (> 20 kHz)

Auswertung des Echos

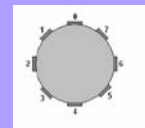
Anwendungen:

- Hinderniserkennung
- Entfernungsmessung
- Unterwasserortung

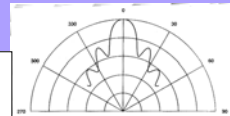
Sonarsensoren

Sonarsensoren sind billig.

Anordnung als Ring für Hinderniserkennung.



Amplitudenstärke abhängig
von der Richtung relativ
zum Zentrum des Signals



Sonarsensoren

Ultraschallorgane in der Natur:

- Delphine.
- Fledermäuse

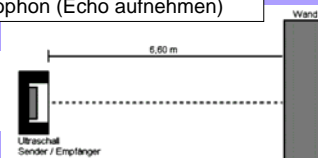
Fledermäuse verwenden unterschiedliche Frequenzen und können fliegende Insekten identifizieren.

- sehr komplexe Fähigkeiten
- noch nicht vollständig erforscht

Sonarsensoren

Laufzeitabhängige Entfernungsbestimmung:
Gerät sendet kurzen Ton,
dann Arbeit als Mikrophon (Echo aufnehmen)

Beispiel:
Entfernung: 6,60m
Echo nach 38,4 ms

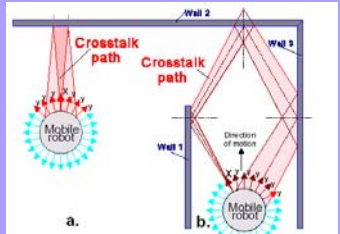


Entfernung (in m) $d = 0,5 \cdot c \cdot t$ aus Laufzeit t (in s) des Echos bei temperaturabhängiger Schallgeschwindigkeit
 $c = c_0 + 0,6T$ m/s mit $c_0 = 331$ m/s, $T =$ Temperatur (Celsius)

Sonarsensoren

Sensormodell komplex:

- Überlagerung von Reflexionen
- Überlagerung bei mehrfachen Sensoren
- „Crosstalk“:
 - Direkt (a)
 - Indirekt (b)



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

37

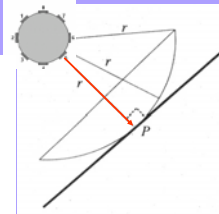
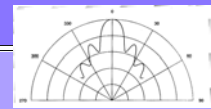
Sonarsensoren

Sensormodell komplex:

- Überlagerung von Reflexionen
- Überlagerung bei mehrfachen Sensoren
- **Artifakte: RCD**
(„Regionen konstanter Distanz“)

Der von einem Sensor ausgesandte Impuls wird *gleichzeitig* von weiteren Sensoren als Echo registriert.

Scheinbar existiert dort eine Region konstanter Distanz.



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

38

Sonarsensoren

Sonar-Messungen eines Roboters beim Abfahren des eingezeichneten Weges



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

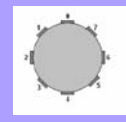
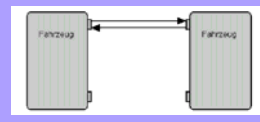
39

Sonarsensoren

Billig, aber ungenau und störanfällig

Einschränkungen

- Im Nahbereich (< 6cm) keine Messung möglich („blanking Intervall“: interne Echos)
- Zur Vermeidung von Überlagerungen nicht gleichzeitig senden
- Unterschiedliche Charakteristika der Sender (Frequenz, Taktrate, Impulsfolgen)



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

40

Sonarsensoren

Außer Laufzeit des Echos können zur Entfernungsbestimmung auch verwendet werden:

- Phasenverschiebung
- Unschärfe
- Dämpfung

Verfahren wie bei Lasersensoren
(siehe dort)

Ultraschallorgane in der Natur zeigen, dass im Prinzip sehr gute Resultate möglich sind

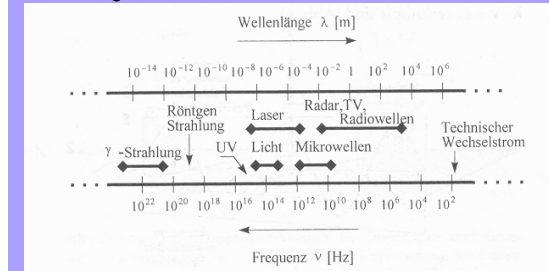
H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

41

Radarsensoren

Radar = radio detecting and ranging (aktiver Sensor)
Auswertung des Echos von Radiowellen



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

42

Radarsensoren

Auswertung des Echos von Radiowellen

- Ermittlung der Entfernung von Objekten aus Phase/Frequenz des Echos von Radiowellen
- Ermittlung von Oberflächen-Eigenschaften, -geometrie

Probleme ähnlich Sonar:

- mehrfache Reflexion
- breite Streuung

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

43

Lasersensoren

aktiver Sensor unter Ausnutzung von Laser-Licht

Laser (= light amplification by stimulated emission of radiation)
(= Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung)

- hohe Kohärenz
- präzise Bündelung: hohe Intensität bei kurzem Impuls
- Unterschiedliche Formen der Erzeugung

- sehr genaue Entfernungsmessung
- sehr hohe Reichweite
- kurze Taktzeit: auch bei hohen Geschwindigkeiten

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

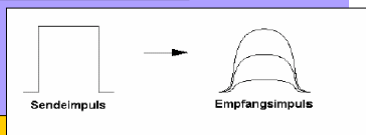
Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

44

Lasersensoren

Wesentlich zuverlässiger und präziser als Sonar, aber teuer.

Amplitude/Impulsform je nach Material



Anwendungen u.a.:

- Entfernungsmessung
- Oberflächen von Objekten

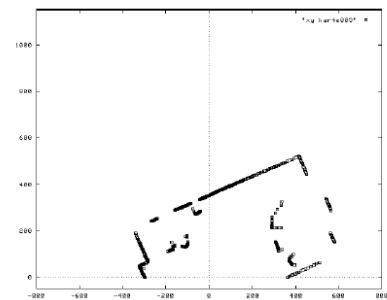
H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

45

Lasersensoren

Aufnahme des Fußballfeldes:



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

46

Lasersensoren

Ermittlung der Entfernung von Objekten auf verschiedene Weise möglich:

- Laufzeit
- Phasenverschiebung
- Triangulation
- Unschärfe

Probleme:

- mehrfache Reflexion
- kein Echo an durchsichtigen Objekten (Glas)
- Augenempfindlichkeit

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

47

Lasersensoren

Laufzeit-Verfahren:

- Laufzeit des Laser-Impuls-Echos wird gemessen
- Lichtgeschwindigkeit: $c = 300.000 \text{ km/s}$
- Genaue Zeitmessung erforderlich:
Beispiel: bei 6 m Distanz trifft Echo nach ca. 40 ns ein
- Abstände zwischen Impulsen notwendig

Entfernungsberechnung (Laufzeit Δt in Sekunden):

$$d = 0,5 \cdot c \cdot \Delta t = 150\,000 \cdot \Delta t \text{ km}$$

$$\Delta s = \frac{c_0 \cdot \Delta t_{\min}}{2} = \frac{300 \text{ mm/ns} \cdot 0,1 \text{ ns}}{2} = 15 \text{ mm}$$

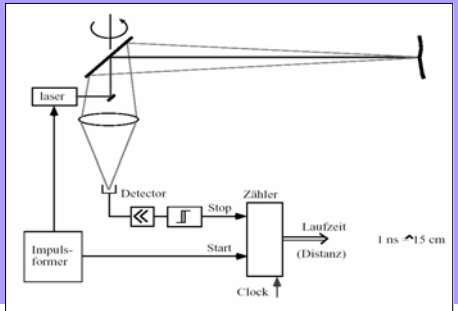
H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

48

Lasersensoren

Laufzeit-Verfahren



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

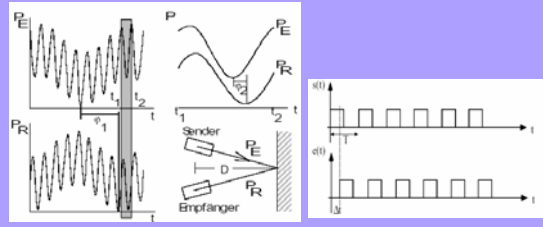
Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

49

Lasersensoren

Phasen-Verfahren: Intensitätsmodulation

- Keine Unterbrechungen



H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

50

Lasersensoren

Phasen-Verfahren

Phasenverschiebung λ zwischen Sende- und Empfangssignal messen.

Es gilt: $\Delta t / T = \phi / 2\pi$

mit $\Delta t = \text{Zeitdifferenz}$

$T = \text{Periodendauer}$

$\phi = \text{Phasenverschiebung}$

Es gilt: $\Delta t = T \cdot \phi / 2\pi$

$d = 150\,000 \cdot \Delta t \text{ km}$

$= T \cdot \phi \cdot 150\,000 / 2\pi \text{ km}$

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

51

Lasersensoren

Problem beim Phasen-Verfahren:
Begrenzung durch Periodendauer T

d.h. Mehrdeutigkeit, wenn Distanz zu groß.

Distanz messbar modulo $\lambda/2$

Beispiel:

10 MHz Signal, d.h. Periodendauer = 100 ns

Bei $\phi = 3,6^\circ$: $\Delta t = 1 \text{ ns}$, $d = 0,15 \text{ m}$

Bei $\phi = 180^\circ$: $\Delta t = 50 \text{ ns}$, $d = 7,5 \text{ m}$

Verbesserung:

Messungen mit unterschiedlichen Frequenzen

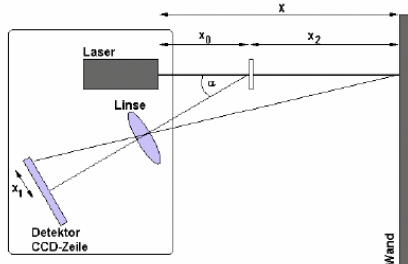
H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

52

Lasersensoren

Triangulations-Verfahren:



- Winkel α zwischen Laser und Linse / Detektor ist fest; x_0 ist bekannt
- aus x_1 am Detektor kann x_2 berechnet werden
- x ist dann die Summe aus x_0 und x_2

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

51

Lasersensoren

Sick PLS 200:

- Messmethode: gepulster Laserstrahl (Laufzeitverfahren)
- Reichweite: ca. 30 m
- Entfernungsmessgenauigkeit: $\pm 16 \text{ mm}$
- Winkelauflösung: $0,5^\circ$
- Scanwinkel: 180°
- Schnittstelle: RS 232
- Messdaten: Echtzeitübertragung
- Gewicht: 4,5 kg
- Versorgungsspannung: 24 V DC, $\pm 15\%$
- Leistungsaufnahme: ca. 17 W

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

54

GPS (global positioning system)

- misst absolute Position/Geschwindigkeit
- Satelliten-basiert (global 24 Satelliten)
- Auswertung der Laufzeit von Radiosignalen von jeweils 5-8 sichtbaren Satelliten

Differential GPS: Kalibrierung mittels Referenz-Empfänger

Probleme:

Nur anwendbar bei Empfangsmöglichkeit
Abhängigkeit vom Betreiber

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

55

GPS (global positioning system)

Satelliten (21 aktiv + 3 Reserve)

- in ca. 20000 km Höhe,
- Erdumkreisung in 12 Stunden
- 6 Satellitenbahnen:
 - jeweils 55° gegen Äquator geneigt
 - in der Äquatorebene um 60° gegeneinander versetzt
 - weltweit stets mindestens 4 Satelliten nutzbar
- präzise Uhren erforderlich: Nanosekundenbereich
- Ausgleich für Bahnabweichungen
- Ausgleich für Zeitabweichungen

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

56

GPS (global positioning system)

- Sender und Empfänger erzeugen zeitgleich den gleichen Code
- Empfänger vergleicht empfangenen Satelliten-Code mit eigenem Code (Kreuzkorrelation, Verschiebung bis zur Übereinstimmung)
- Zeitdifferenz aus Verschiebung ermitteln
- Entfernung aus Zeitdifferenz
- Kombination für sichtbare Satelliten ergibt Position
- Mehrfachmessungen zur Verbesserung
- Genauigkeit ca. 10 m

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

57

DGPS (Differential GPS)

- Referenz-Empfänger auf der Erde mit bekannter Position
- Referenz-Empfänger ermittelt den aktuellen Fehler durch Vergleich seiner GPS-Berechnung mit der bekannten Position
- Abweichung wird über Funk an die Empfänger in der Nachbarschaft übermittelt
- Benachbarte Empfänger können ihre Berechnungen entsprechend korrigieren
- Genauigkeit: ca. 1m

H.D.Burkhard, HU Berlin
Winter-Semester 2005/06

Vorlesung Kognitive Robotik
Wahrnehmung

58