

Institut für Robotik und Prozessinformatik

Technische Universität Braunschweig

Prof. Dr. J. Steil

ROBOTIKPRAKTIKUM

Versuch 3

Sensoren und sensorgeführte Bewegungen



Inhaltsverzeichnis

1	Sensordatenverarbeitung	2
1.1	Einleitung	2
1.2	Sensoren	3
1.3	Sensorarten	3
2	Ultraschallsensoren	6
2.1	Physikalische Grundlagen des (Ultra-)Schalls	6
2.2	Technischer Einsatz von Ultraschall	7
2.2.1	Ultraschallsensoren in der Robotik	8
2.3	Abstandsmessverfahren	8
2.4	Ultraschallsensor am Stäubli RX60	10
3	Aufgabenstellung	11
3.1	Aufgabe 1: Verbessern der USS - Messwerte	11
3.2	Aufgabe 2: Finden, Greifen und Stapeln von Objekten	12
A	US_SIM	15
A.1	Filteroperationen	15

Kapitel 1

Sensordatenverarbeitung

1.1 Einleitung

Dieser Praktikumsversuch beschäftigt sich mit der Verarbeitung von Sensordaten und dem Einsatz von Sensoren in der Robotik, insbesondere zur Regelung von Roboterbewegungen auf der Basis von Sensorinformationen.

Durch den Einsatz geeigneter Sensorik kann die Flexibilität von Industrierobotern (IR) wesentlich erhöht werden. Die Sensorik ermöglicht, dass in einem größeren Umfang bei der Ausführung des Roboterprogramms auf Veränderungen im Umfeld des IRs reagiert werden kann, sofern sie für den Ablauf der Aufgabe relevant sind.

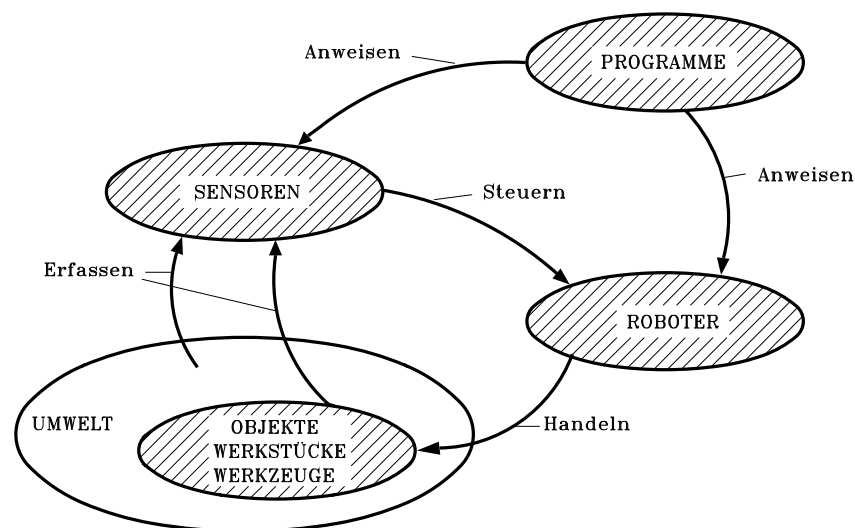


Abbildung 1.1: Einsatz von Sensoren in der Robotik

Beispiele für zu berücksichtigende Veränderungen sind:

- Änderungen der Position und Orientierung der zu handhabenden Werkstücke.
- Abmessungs-/Formänderungen der Werkstücke.

- Geschwindigkeitsänderungen zu greifender Werkstücke.

Diese Veränderungen müssen von Sensoren aufgenommen und in eine Korrekturfunktion, die von der Steuerung des betreffenden IRs aufgenommen und bearbeitet werden kann, umgerechnet werden. Der aktuelle Zustand wird also auf die Bewegungsbahn und/oder den Bewegungsablauf des IRs so zurückgeführt, dass eine geschlossene Handlungsschleife gebildet wird (Abbildung 1.1).

1.2 Sensoren

Ein **Sensor** ist ein Messwertumformer, der zur Messung einer physikalischen Größe benutzt wird. Ein Messwertumformer setzt eine physikalische Größe in eine andere Größe um; dies ist in der Regel eine elektrische Spannung oder ein elektrischer Strom, da diese Signalformen einfacher zu verwenden und auszuwerten sind. Beispiele für Meßwertumformer sind Dehnungsmesseinrichtungen zur Ermittlung von Kraft und Druck, Thermoelemente zur Temperaturmessung oder Photozellen zur Lichtmessung.

In der industriellen Praxis werden Sensoren in vier Bereichen verwendet:

- zum Zwecke der **Sicherheitsüberwachung**, d.h. zum Schutz der in der Umgebung der Fertigungszelle tätigen Menschen.
- zur **Koordination der Aktionsfolge** in der Roboterarbeitszelle müssen Signale bereitgestellt werden, die die Fertigstellung bestimmter Elemente des Arbeitszyklus melden, bevor mit dem nächsten Element des Zyklus begonnen werden kann.
- zur **Qualitätskontrolle**. Mit Hilfe von Sensoren können eine Vielzahl von Qualitätseigenschaften eines Teils bestimmt werden. Während manuelle Kontrollmethoden i. allg. nur stichprobenartige Kontrollen erlauben, ermöglicht der Einsatz von Sensoren die automatische Überprüfung sämtlicher Teile.
- schließlich werden Sensoren sehr häufig **zur Bestimmung der Position und anderer Objekteigenschaften** eingesetzt.

1.3 Sensorarten

Die in der Robotertechnik eingesetzten Sensoren werden in folgende Kategorien eingeteilt:

Taktile Sensoren oder **Tastsensoren** zeigen den Kontakt zwischen sich und einem anderen Objekt an. Diese Kategorie wird weiter in Berührungssensoren und Kraftsensoren unterteilt. **Berührungssensoren** liefern ein binäres Ausgangssignal, das anzeigt, ob ein Kontakt mit einem Objekt vorliegt oder nicht. Zu dieser Sensorklasse zählen Grenzschalter, Mikroschalter und andere Geräte.

Kraftsensoren zeigen neben dem Vorhandensein eines Kontakts mit einem anderen Objekt auch die Größe der Kontaktkraft an. Die Möglichkeit Kräfte zu messen, erlaubt die Ausführung verschiedener Aufgaben. Beispielsweise kann beim Montieren von Teilen die ermittelte Kraft zur Feststellung darüber benutzt werden, ob eine Schraube überdreht wurde oder Teile blockieren. Die Kraft kann auf verschiedene Weise ermittelt werden. Die häufigste Methode ist ein zwischen Effektor und Handgelenk montierter Belastungssensor, der die dort auftretenden Kräfte und Momente

misst. Eine weitere Möglichkeit ist das Messen der Drehmomente, die an den Roboter-
gelenken angreifen. Dies erfolgt überwiegend durch die Ermittlung der Ströme in den
Stellmotoren. Bei einer dritten Methode wird ein Feld aus kraftmessenden Sensoren
matrixförmig angeordnet, so daß die Form und andere Informationen über die Kon-
takterfläche bestimmbar sind. Schließlich werden auch Kraftsensortische eingesetzt,
die zur Unterstützung von Montageaufgaben Verwendung finden.

Näherungs- und Bereichssensoren zeigen an, ob sich ein Objekt in der Nähe
eines anderen Objektes befindet. Im Falle von Bereichssensoren wird zusätzlich eine
Information über die Entfernung des Objektes vom Sensor geliefert. Zur Konstruktion
von Näherungs- und Bereichssensoren werden verschiedene Technologien verwendet.
Optische Näherungssensoren verwenden sichtbare oder nicht sichtbare (infrarote)
Lichtquellen. Es wird zwischen passiven und aktiven Systemen unterschieden. Ein
aktives Sensorsystem sendet einen Lichtstrahl aus und reagiert auf die Reflektion
des Strahls durch das Zielobjekt. Durch die Messung der Zeit zwischen Aussenden
des Signals und Empfang des Echos ist die Entfernung zwischen Objekt und Sensor
ermittelbar. Ein anderes Prinzip beruht auf der Verwendung paralleler Lichtstrahlen
und einer linearen Anordnung lichtempfindlicher Zellen (Abbildung 1.2). Durch die
Reflektion eines Lichtstrahls an der Objektoberfläche kann die Position des Objekts
aus der Position des reflektierten Lichtstrahls auf dem Sensorfeld bestimmt werden.
Es gilt folgende Beziehung:

$$x = 0.5y * \tan(\alpha)$$

Dabei ist x die Entfernung zwischen Objekt und Sensor, y der Abstand zwischen
Lichtquelle und dem auf das Sensorfeld reflektierten Lichtstrahl und α der Einfallswinkel
des Strahls auf die Objektoberfläche wie in der Abbildung gezeigt.

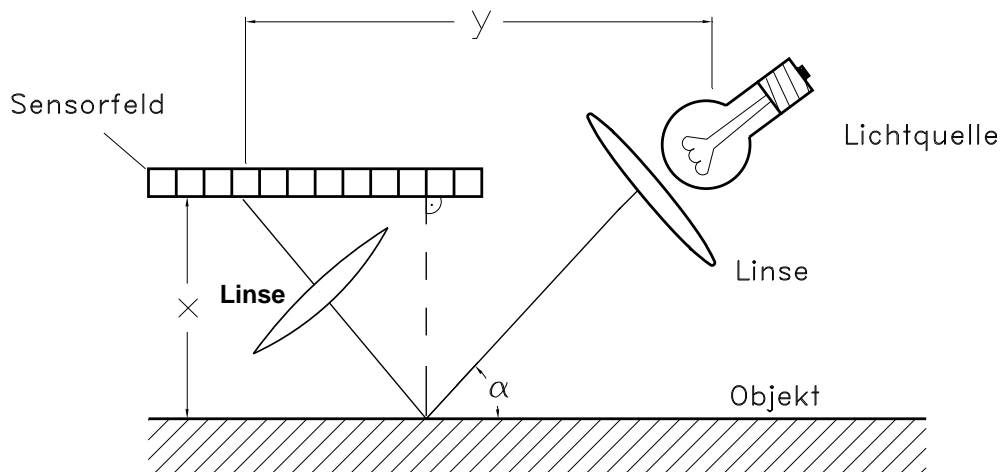


Abbildung 1.2: Anordnung von Lichtquelle und Sensorfeld zur Messung der Distanz
zwischen Objektoberfläche und Sensor [aus GRO86]

Passive Sensorsysteme sind einfachere Einrichtungen, die das Vorhandensein z. B. von
(Infrarot-)Strahlung detektieren. Sie werden oft als Sicherheitssysteme benutzt, um
festzustellen, ob sich Körper innerhalb des Sensorbereichs befinden. Auch akustische
Signale dienen zur Konstruktion von Näherungssensoren. **Ultraschallsensoren** sen-
den eine Impulsfolge (**burst**) hoher Frequenz (> 20 kHz) aus. Die Auswertung der

Laufzeit bis zum Empfang des reflektierten Signals liefert die Entfernung zwischen Ultraschallsensor und angestrahlttem Objekt. Andere Näherungs- und Bereichssensoren benutzen elektromagnetische Felder zur Detektion von Objekten.

Bildererkennungssensoren sollen dem Robotersystem die Fähigkeit des Sehens geben. Hauptaufgabe der Bildererkennungssysteme ist die Bestimmung der Position und Orientierung von Objekten, um einen flexibleren Einsatz des Roboters zu gestatten. Der Aufbau von Bildererkennungssystemen ist in der Computer-Sehen Vorlesung angesprochen worden. Die Nutzung von Bildsensoren in der Robotik ist Gegenstand weiterer Versuche des Praktikums und sei daher an dieser Stelle nur kurz erwähnt.

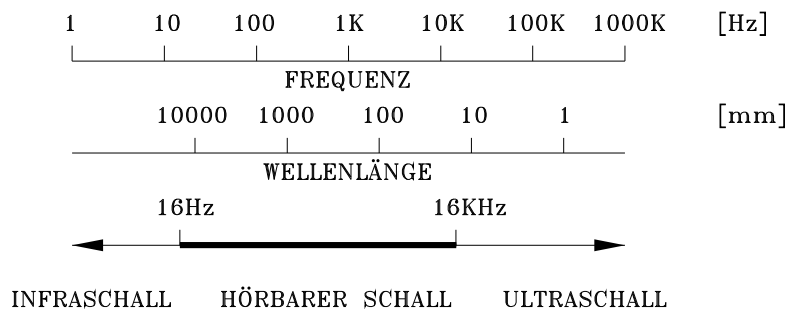
Die Kategorie **sonstige Sensoren und sensorbasierte Systeme** umfasst Einrichtungen in Roboterfertigungszellen, die beispielsweise zur Ermittlung von Temperaturen, Drücken, Strömungsgeschwindigkeiten oder anderer Größen eingesetzt werden. Zu ihnen zählen aber auch noch in der Forschung befindliche Systeme zur Erkennung von Sprache, um z.B. Roboterbefehle mündlich zu erteilen.

Kapitel 2

Ultraschallsensoren

2.1 Physikalische Grundlagen des (Ultra-)Schalls

Schallwellen sind als Form einer mechanischen Schwingung an Materie gebunden, deren Moleküle bzw. Atome die Schallenergie weitergeben. Der vom Menschen wahrnehmbare Bereich mechanischer Schwingungen liegt im unteren Frequenzbereich. Die untere Hörgrenze, d.h. die kleinste noch als Ton wahrnehmbare Frequenz, liegt bei 16 Hz. Die obere Hörgrenze kann mit 16 kHz angegeben werden, sie weicht aber je nach Lebensalter nach unten (ältere Menschen) und oben (jüngere Menschen) ab. Der Bereich unterhalb 16 Hz wird als **Infraschall** bezeichnet, der beispielsweise bei Erdbeben auftreten kann. Der Frequenzbereich oberhalb 16 kHz heißt **Ultraschall**.



Beziehung Frequenz zur Wellenlänge gilt für:

Temperatur	= 20 °C
Luftdruck	= 1013 hpa
Schallgeschwindigkeit	= 343 m/s

Abbildung 2.1: Schallfrequenzbereiche

Für Fledermäuse spielt der Schall bei der Orientierung im Dunklen eine außerordentliche Rolle. Sie senden von der Nase Schallaute ab, deren Echos mit den großen Ohren empfangen werden. Der Zeitabstand zwischen Aussenden und Empfang ist ein Maß für die Entfernung der Schallreflektoren. Um eine hohe Auflösung zu erreichen, die physikalisch entscheidend von der Wellenlänge abhängt, wird der Schall mit einer

hohen Frequenz abgestrahlt, die für uns Menschen nicht wahrnehmbar ist.

Die **Schallgeschwindigkeit c in der Luft** ist eine Funktion der Temperatur δ und des Luftdrucks p .

$$c = c(\delta, p)$$

Bei einer Temperatur von 20°C und einem Luftdruck von 1013 hpa beträgt sie ca. 343.5 m/s. Hieraus ergibt sich mit

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

für eine Schallfrequenz f von 10 kHz eine Wellenlänge λ von ca. 34,4 mm.

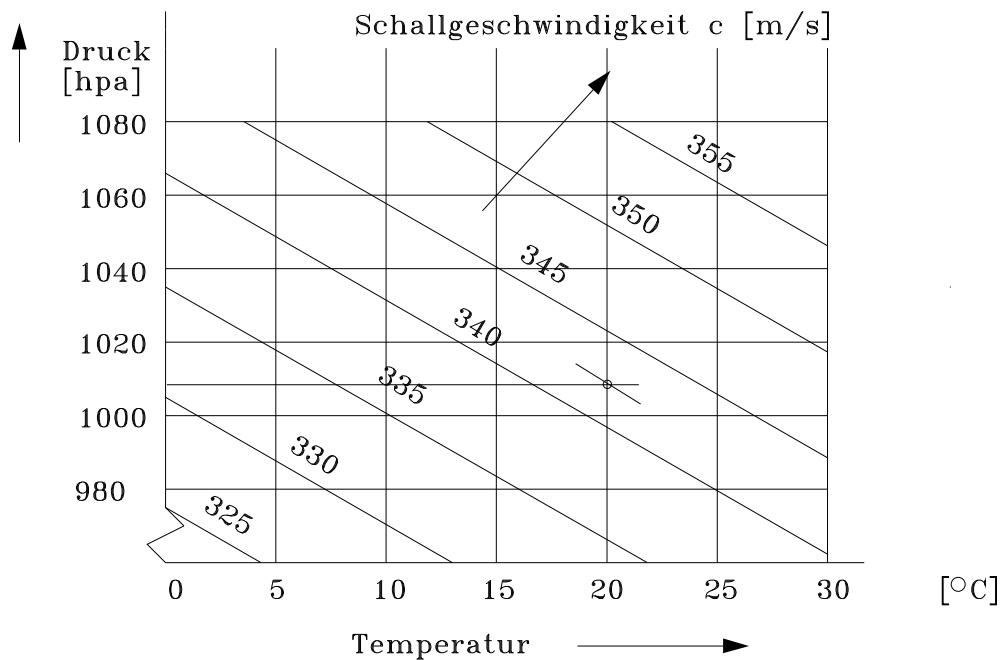


Abbildung 2.2: Abhängigkeit des Schallgeschwindigkeit vom Luftdruck und von der Lufttemperatur

Wie Abbildung 2.2 zeigt, ist die Schallgeschwindigkeit relativ stark von der Lufttemperatur und in einem geringeren Maße vom Luftdruck abhängig. Weiterhin übt die Luftfeuchtigkeit einen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalls aus. Bei hohen Frequenzen führt die Luftfeuchtigkeit zu einer starken Schalldämpfung, wodurch die Reichweite wesentlich vermindert wird. Selbst bei normaler Luftfeuchtigkeit von 40% werden bei einer Schallfrequenz von $f = 200\text{ kHz}$ mit Ultraschall-Abstandsmeßsystemen keine größeren Reichweiten als 1,5 m im Reflexbetrieb erzielt.

2.2 Technischer Einsatz von Ultraschall

Ultraschall wird in der Technik in folgenden Bereichen genutzt:

- Kommunikation
- Fernsteuerung (TV-Geräte, Garagentore, Spielzeug)

- Abstandsmessung (Kameras, Behälterfüllstand)
- Erkennungshilfen für Blinde bei der Orientierung im Raum durch Ultraschall-ortung
- Leckortung (Rohrleitungen, Ventile)
- Werkstoffprüfung (Gussteile, Schweißnähte)
- Schweißen von Kunststoffen
- medizinische Diagnose
- Schifffahrt (Echolot)

2.2.1 Ultraschallsensoren in der Robotik

In der Robotik stehen für die Sensorik die Aufgaben der Ermittlung der Lage von Objekten im Mittelpunkt des Interesses. Daneben spielen die automatische Identifizierung von Objekten und die Kontrolle von Werkstücken eine große Rolle. Konkrete Probleme, die mit Hilfe von Ultraschall-Abstandsmeßsystemen gelöst werden können, sind:

- Stapelhöhenermittlung beim Entladen von mit Zylinderblöcken beladenen Flachpaletten
- Lageermittlung von Kartons auf Flachpaletten
- Kollisionüberwachung durch am Roboterarm installierte Sensoren
- Identifizierung von Kartons anhand ihrer Größe oder ihres Volumens
- Positionsermittlung von Roboterfahrzeugen
- Überwachung des Greifbereichs eines IRs

Durch Messung des Abstands an verschiedenen Positionen und in verschiedenen Richtungen kann aus der jeweiligen Meßposition, der Meßrichtung des Sensors sowie dem Meßergebnis die Position und Orientierung von Objekten in mehreren Koordinaten ermittelt werden. Auf diese Weise ist die Identifizierung von Objekten mit unterschiedlichen Abmessungen und Formen möglich.

Die Messungen an verschiedenen Orten kann durch mehrere, fest installierte Sensoren oder durch die Bewegung eines Sensors an unterschiedliche Meßorte, z.B. mit Hilfe eines Handhabungsgerätes, erfolgen. Im letzteren Fall muß die Meßposition ermittelt und jeweils mit dem Meßergebnis verrechnet werden.

2.3 Abstandsmessverfahren

Aufgrund der geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Luftschalls (ca. 340 m/s) lassen sich Entfernungen technisch einfach aus Laufzeiten bestimmen. Man mißt die Laufzeit von Schallsignalen zwischen deren Aussenden und dem Empfang des an einer Oberfläche reflektierten Schallsignals (Echo). Bei konstanter Schallgeschwindigkeit ist die Laufzeit zum Abstand des Senders/Empfängers von der Objektfläche proportional, falls sich Sender und Empfänger an einem Ort befinden (Ultraschallsender

können grundsätzlich auch als Empfänger genutzt werden) bzw. ihr Abstand klein gegenüber dem Meßabstand ist.

Für den Messabstand s ergibt sich dann:

$$s = \frac{c_{Luft} \Delta t}{2}$$

Beim Verfahren der **Impulslaufzeitmessung** wird eine Folge begrenzter Ultraschallimpulse (burst) ausgesendet. Anschließend wird das Sendeelement als Empfangselement geschaltet. Das Echo wird aufgenommen, verstärkt und ausgewertet. Der prinzipielle Aufbau eines Ultraschallsensors mit getrennten Sende- und Empfangselement zeigt die Abbildung 2.3.

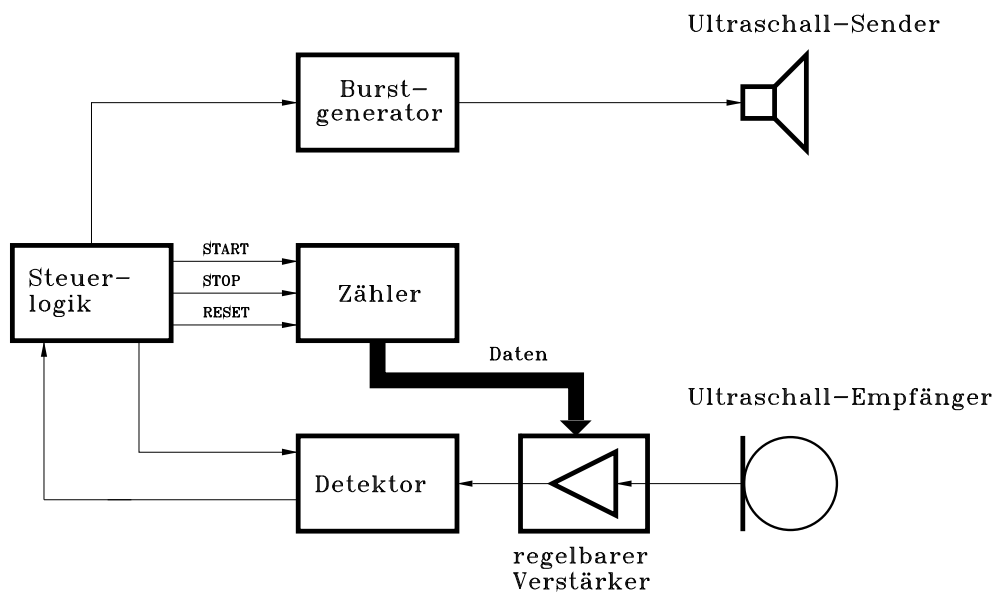


Abbildung 2.3: Prinzipieller Aufbau eines Ultraschall-Abstandsmesssystems

In bestimmten Zeitabständen startet die Steuerlogik einen Impulsgenerator, dessen Ausgang mit einem Ultraschallsender verbunden ist. Zeitgleich dazu wird ein Zähler aktiviert. Die Inkrementierung des Zählers wird abgebrochen, sobald das Echo vom Ultraschallempfänger empfangen und vom Detektor als gültig erkannt wurde. Die Empfangsverstärkung wird abhängig vom Zählerstand (und damit von der Zeit) vergrößert, da die Schwingungsamplitude der Schallwellen mit zunehmender Entfernung vom Sender abnimmt. Die Schwingungsenergie verteilt sich mit zunehmenden Radius über einen immer größeren Raum. Zusätzliche Energieumwandlungen beim Durchlaufen des Mediums verkleinern die Schwingungsamplitude zusätzlich.

Die mit dem Impulslaufzeitverfahren erzielbare Auflösung ist vom Einschwingverhalten des Senders und des Empfängers abhängig und liegt in der Größenordnung von ca. 0,1 mm. Daneben führt die Länge des ausgesendeten Schallimpulspaketes und das Ausschwingen des Senders zu einer Totzeit, die einen minimalen Meßabstand von 100 mm zur Folge hat. Diese Totzeit kann durch die Verwendung getrennter Bauelemente für Sender und Empfänger sowie die Aussendung möglichst kurzer Impulspakete verringert werden.

Bei einem geringen Abstand zwischen Meßobjekt und Sensor ergibt sich durch die räumliche Trennung von Sender und Empfänger jedoch ein Meßfehler, der verrechnet werden muß.

Beim **Phasenvergleichsverfahren** strahlt der Sender kontinuierlich ein Ultraschallsignal aus. Echos werden vom Empfänger kontinuierlich empfangen. Der Abstand zum Meßobjekt läßt sich durch den Vergleich zwischen den Phasen des ausgesendeten und des empfangenen Signals ermitteln. Dieses Verfahren führt zu einer Auflösung von $10\ \mu\text{m}$ bei einer Schallwellenlänge von $10\ \text{mm}$. Bei einer Phasendrehung von 360° , die einer Wegänderung um λ entspricht, wiederholen sich die Ergebnisse, so daß dieses Verfahren einen maximalen Meßbereich von einer Wellenlänge zuläßt. Im Reflexbetrieb entspricht dies einer maximalen Abstandsmessung von $\frac{\lambda}{2}$.

Schließlich kann der Objektabstand auch durch ein **Frequenzmodulationsverfahren** bestimmt werden. Bei diesem Meßverfahren strahlt ein Sender ein frequenzmoduliertes Ultraschallsignal aus, im allgemeinen wird eine Dreiecks- oder Sägezahnmodulation gewählt. Ein vom Sender getrennter Empfänger liefert das um die Laufzeit frequenzversetzte Echo. Aus der Differenz zwischen momentan gesendeter und empfangener Frequenz kann der Objektabstand bei linearer Frequenzmodulation direkt ermittelt werden. Die Frequenzmodulation setzt, im Gegensatz zu den beiden anderen Meßverfahren, den Einsatz breitbandiger Ultraschallwandler voraus, wodurch auf der Empfangsseite die Anfälligkeit gegenüber Störungen erhöht wird.

2.4 Ultraschallsensor am Stäubli RX60

Im Praktikum wird ein Ultraschallsensor der Firma *Turck* vom Typ RU100-CP40 eingesetzt. Sender und Empfänger befinden sich an der Hand des Roboters, die Meßrichtung ist parallel zur z -Achse des Handsystems. An diesem Sensor können der Schalt- und Meßbereich über zwei Potentiometer eingestellt werden. Die Einstellung des Sensors wird vom betreuenden HiWi vorgenommen.

Kapitel 3

Aufgabenstellung

Ziel des Versuchs ist es zum einen, einen Roboter sensorgeführt zu steuern, zum anderen, die Problematik der Messung mit Hilfe von Ultraschall zu erkennen. Es ist ein Programm zu schreiben, durch das quaderförmige Objekte, die auf einer Kreisbahn um den Roboter stehen, vom Roboter erkannt, gegriffen und, nach Höhe sortiert, gestapelt werden. Ein Bild der Versuchsanordnung befindet sich in Abbildung 3.2.

In Ihrem Praktikumsverzeichnis befindet sich ein *Visual C++* Projekt namens *Versuch3*. Dieses Projekt sollen Sie an den mit dem Label *TO DO* markierten Stellen bearbeiten. Schauen Sie sich die Dateien *versuch3.h* und *versuch3.cpp* dieses Projekts genau an, bevor Sie eigene Programmsequenzen implementieren.

Anmerkung:

Die Bedienung sowie die Programmierung des Roboters werden in dem Skript zu Versuch 2 erklärt.

3.1 Aufgabe 1: Verbessern der USS - Messwerte

Um die in Aufgabe 3 benötigte Ermittlung von Objektpositionen anhand eines vom Ultraschallsensor aufgenommenen Höhenprofils vorzubereiten, existiert das Programm *US_SIM.EXE*, mit dem die Wirkung verschiedener Filter auf ein solches Profil getestet werden kann. Erstellen Sie mit dem Roboter Höhenprofile und testen Sie die Filter. Das Projekt zu Versuch 3 enthält dieselben Filter, die aus der Headerdatei *filter.h* importiert werden:

```
void ableitung (double *data, double *result, int number_data, int window_size);  
  
void tiefpass (double *data, double *result, int number_data, int window_size );  
  
void runaway (double *data, double *result, int number_data);  
  
void median (double *data, double *result, int number_data, int window_size );
```

```
void histogramm (double *data, double *result, int number_data, double *min, double *max);  
  
void schwelle (double *data, double *result, int number_data, double threshold);
```

Entwickeln Sie also eine Strategie zur Ermittlung der Objektkoordinatensysteme aus dem Höhenprofil und testen Sie diese mit Hilfe des Programms *US_SIM.EXE*. Für den Versuch muss aus den gefilterten Daten einerseits die Höhe der Objekte und andererseits die Lage der Objekte hervorgehen. Um die Aufgabe etwas zu vereinfachen, brauchen diese Informationen nicht in einem Datensatz gleichzeitig vorliegen. Statt dessen müssen die Daten einmal so gefiltert werden, dass in der Mitte der Objekte die ungefähre Höhe gespeichert ist. In einem weiteren Datensatz muss die Lage der Objekte binär codiert enthalten sein, d.h. an den Stellen an denen die Objekte stehen soll der Wert *1* stehen an den übrigen Stellen der Wert *0*.

Der zweite Datensatz kann entweder durch erneutes Filtern der gemessenen Werte oder durch weitere Filterungen des ersten Datensatzes (Höheninformationen) berechnet werden.

3.2 Aufgabe 2: Finden, Greifen und Stapeln von Objekten

Um den Aufwand für diese Aufgabe herabzusetzen, existiert ein vorgefertigtes Projekt zu Versuch 3, in dem Sie einige Programmsequenzen schreiben sollen. Diese Programmsequenzen sind durch das Label *TO DO* markiert. Im Kommentar finden Sie außerdem detaillierte Hinweise, wie Sie vorzugehen haben.

Das Projekt gibt folgenden Ablauf für den Versuch vor:

1. Abfahren eines Viertelkreises um den Roboter und Aufnehmen eines Höhenprofils. Auf diesem Viertelkreis sollten sich die Objekte in radialer Anordnung befinden. Nachdem sie das Programm kompiliert und gestartet haben, wird beim Aufruf der Funktion „Höhenprofil messen“ im „Roboter“-Untermenü diese Funktion gestartet. Im Anschluß daran kann das gemessene Höhenprofil mit den im Anhang A beschriebenen Operationen verändert werden.
2. Ermittlung der Koordinatensysteme der Objektgreifpunkte (unter Annahme der radialen Lage der Objekte). Um die Objektkoordinaten zu berechnen muß die in Aufgabe 1 ermittelte Filterkombination mit den bereits beschriebenen Filterfunktionen in das Programm eingetragen werden.
Anschließend erfolgt die Berechnung der Objektkoordinaten mit den gefilterten Daten.
3. In der anschließenden Ausführungsphase sollen die Objekte der Höhe nach geordnet angefahren, zentriert gegriffen und auf einem Stapel abgelegt werden. Vor dem Greifen muß die gemessene Höhe durch die exakte Höhe korrigiert werden, indem bei der Annäherung von oben die Handlichtschranke als Monitorkontrolle aktiviert wird.
Das zentrierte Greifen der Objekte erfolgt unter Monitorkontrolle mit Hilfe der Reflexlichtschranken in den Greiferbacken. Dabei ist die Roboterhand tangential zu der Objektposition auf der Kreisbahn zu bewegen (siehe Abb. 3.1).

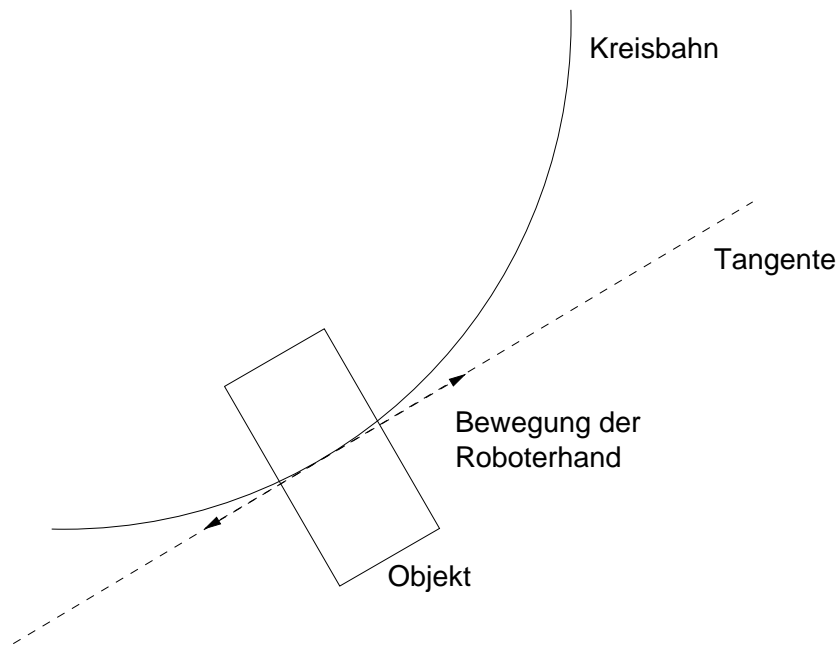


Abbildung 3.1: Tangentiale Bewegung der Roboterhand

Korrigieren Sie die Objektkoordinatensysteme mit den gewonnenen Informationen und greifen Sie das Objekt zentriert. Die Koordinaten des Stapels sind in dem gegebenen Projekt bereits abgespeichert.

Verifizieren Sie den Wert der Konstanten `GROUND-TOLERANZ` und korrigieren Sie ihn, falls nötig. Welche Auswirkungen hat ein falscher Wert für das Stapeln der Blöcke?

Anmerkung:

Alle Teilaufgaben müssen zum praktischen Übungstermin, der für die Durchführung dieses Versuchs vorgesehen ist, vorbereitet sein. Diese Vorbereitung wird zu Beginn des Versuchs von den HIWI's überprüft. Ist sie ungenügend, so gilt der Versuch als nicht bestanden!!

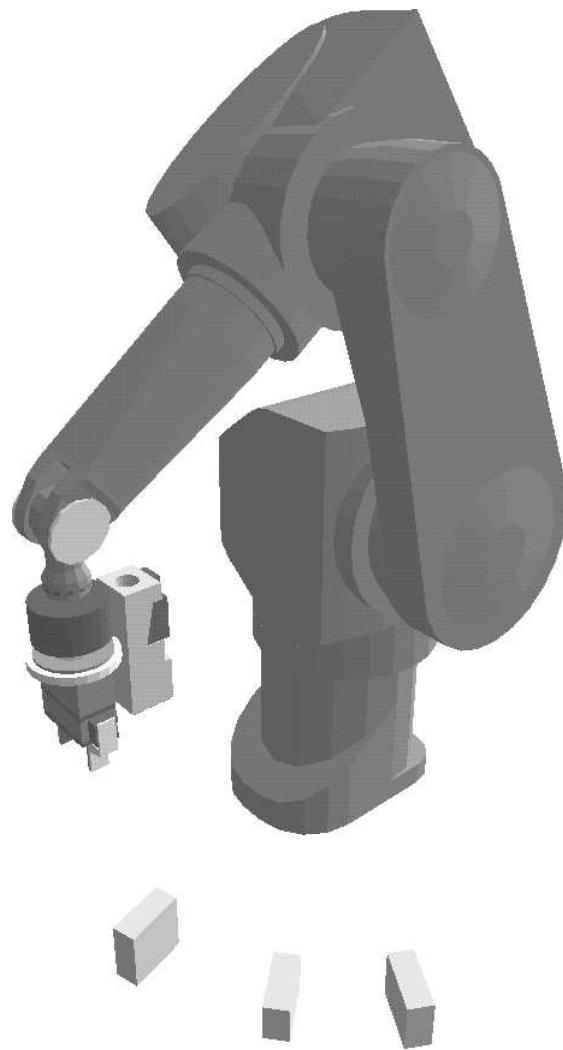


Abbildung 3.2: Versuchsanordnung

Anhang A

US_SIM

Mit Hilfe von *US_SIM.EXE* lassen sich die Auswirkungen verschiedener Filter auf eindimensionale Daten testen. Es gibt je ein Fenster für die aktuellen und gefilterten Daten. Jede Filterfunktion benutzt die aktuellen Daten als Eingabe und zeigt das Ergebnis im Fenster für die gefilterten Daten an. Die Funktionen der Menüpunkte sind weitgehend selbsterklärend.

A.1 Filteroperationen

1. **Tiefpaß** mit einstellbarer Fenstergröße. Durch den Tiefpaßfilter wird das Rauschen zwischen den einzelnen Werten geglättet. Dazu werden auf die nebeneinander liegenden Werte lineare Glättungsoperationen im Bereich der angegebenen Fenstergröße angewendet.
2. **Medianfilter** mit einstellbarer Fenstergröße. Es werden Mittelwerte zwischen den einzelnen Messwerten im Bereich der Fenstergröße gebildet. Angenommen ein Fensterbereich hat p -Elemente, dann werden diese p -Elemente ihrer Größe nach sortiert und das $p/2$ Größte Element wird als Wert für diesen Fensterbereich gewählt, so dass alle p -Elemente danach den Wert des $p/2$ größten Elements haben.
3. **Runaway-Elimination** Durch die Runaway-Elimination werden lokale Maxima und Minima gelöscht.
4. **Ableitung** mit einstellbarer Fenstergröße. Von der Fenstergröße hängt der Bereich der Ableitung ab. Beispiel der Berechnung des Wertes des P 'ten Elementes mit F als Fenstergröße und H_f als Fenstergröße / 2 :

$$x_1 x_2 x_3 \dots x_{H_f} P y_1 y_2 y_3 \dots y_{H_f}$$
$$P = \left(\sum_{i=1}^{H_f} y_i - \sum_{i=1}^{H_f} x_i \right) / F$$

5. **Histogramm**
Histogramm über die im oberen Fenster angezeigten Messwerte.
6. **Schwelle**
Alle Messwerte, die über dem angegebenen Schwellwert liegen, werden zu 1 und alle anderen zu 0.