



Richtungshören

Ein Richtungshörsystem für mobile Roboter in
echoarmer Umgebung

Seminar: Robotik

bei

Prof. Dr. von Stryk / Betreuer: Sebastian Klug

von Josef Baumgartner

10. Januar 2005



Richtungshören

Wozu Richtungshören?

Für Überwachungssysteme geeignet

Lokalisieren von Objekten in nicht sichtbaren Bereichen

Zukünftig: Service-Roboter im Haushalt



Richtungshören

Vorgehensweise

- ◆ Funktionsweise des Hören beim Menschen
- ◆ Analysieren
- ◆ Übertragen auf technische Ebene
- ◆ Simulation mit Roboter



Hörsystem beim Mensch

Verarbeitung

- ◆ Schalltransport durch Außen/Mittelohr
- ◆ Transf. in elektr. Impulse im Innenohr
- ◆ Neuronale Verarbeitung

Hörsystem beim Mensch

Vorraussetzungen

- ◆ Wichtig: Vorhandensein von 2 Ohren!
- ◆ Schallgeschw. ca. 340 m/s auf der Erdoberfläche in der Luft
- ◆ Bsp. Wasser 1450 m/s -> kein Richtungshören möglich
- ◆ Messen des ITD (Zeitdifferenz)
- ◆ Messen des ILD (Pegeldifferenz)
- ◆ → räumliches Hören

Hörsystem beim Mensch

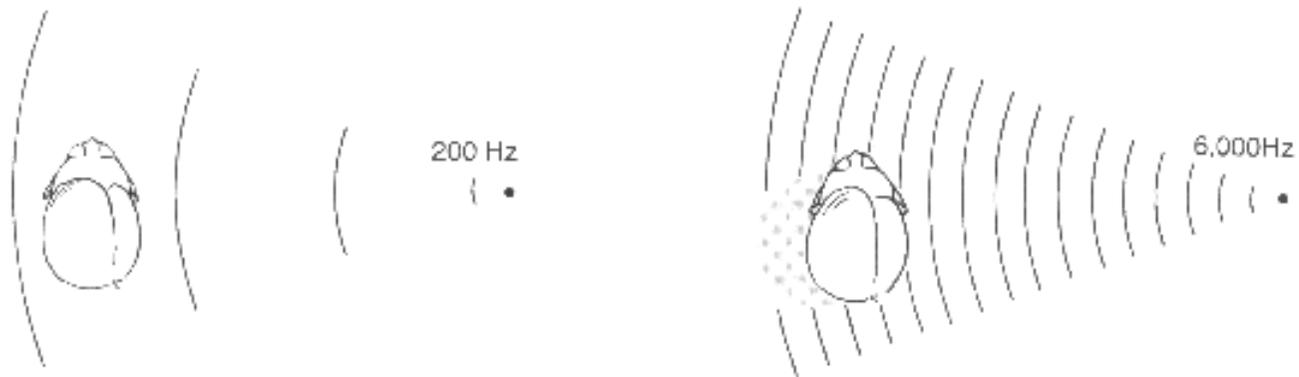
ILD - Pegeldifferenz

- ◆ Wichtig: Form der Ohren und des Kopfes.
- ◆ Verzerrung der Schallsignals durch Ohrmuschel
- ◆ Kopf = Hindernis für hohe Frequenzen (ab ca. 2-3 kHz)
- ◆ Auswertung des ILD sehr komplex
- ◆ Technische Nachbildung schwer zu realisieren

Hörsystem beim Mensch

ILD – Pegeldifferenz

Beispiel: Schattenbildung bei hohen Frequenzen





Hörsystem beim Mensch

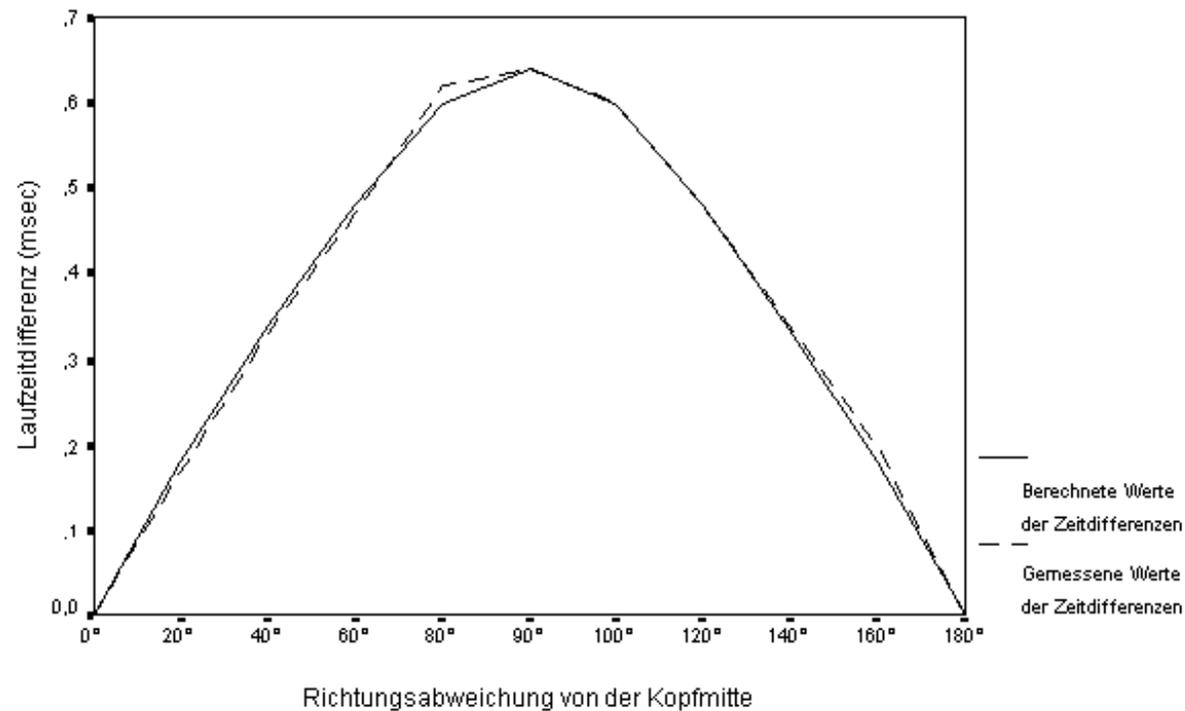


ITD – Zeitdifferenz

- ◆ Messung der Zeitdifferenz - linkes / rechtes Ohr
- ◆ Bereich von Mikrosekunden
- ◆ Bei 20 cm Ohrabstand: ca. 600 μ sec
- ◆ Wesentlich einfacher technisch umsetzbar als ILD

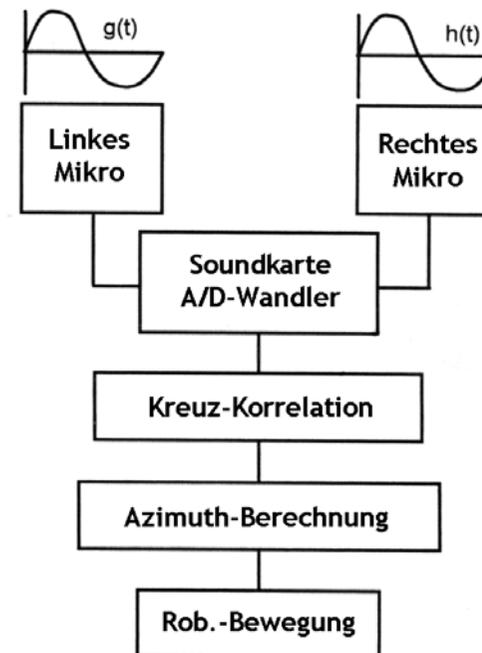
Hörsystem beim Mensch

ITD – Zeitdifferenz

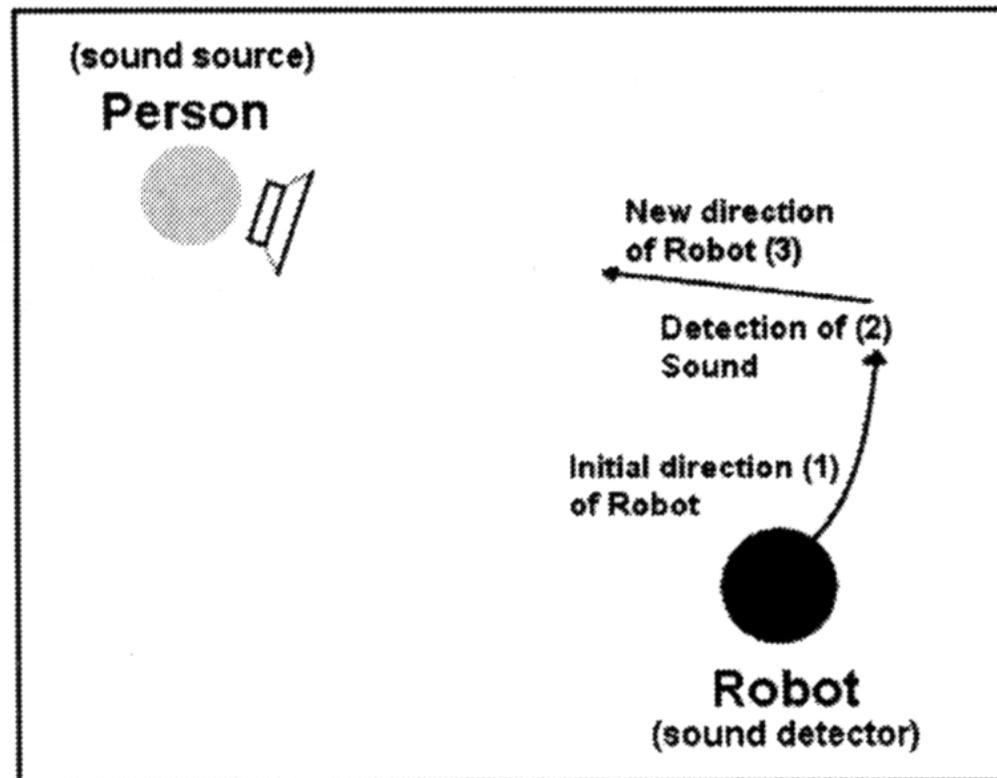


Technische Umsetzung

Eine mögliche Realisierung



Technische Umsetzung



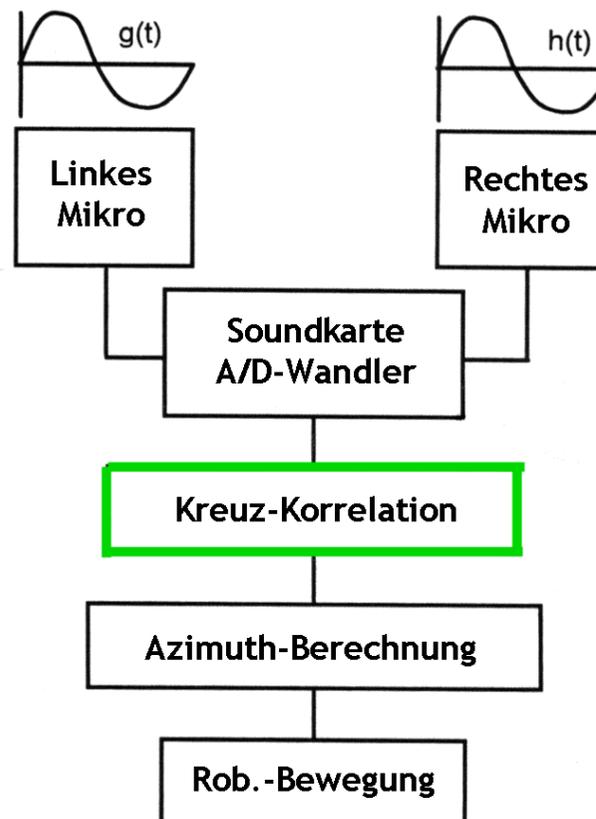
Technische Umsetzung

Technische Daten der Versuchsanordnung

- ◆ „ActivMedia PeopleBOT“
- ◆ Betriebssystem: Linux Red Hat
- ◆ K6-2-500 MHz CPU, 128 MB RAM
- ◆ 30 cm Mikrophon-Abstand
- ◆ Gewöhnliche Stereo-Soundkarte
- ◆ Abtastrate: 44,1 kHz
- ◆ Entspricht Genauigkeit von ca. 22 μ sec



Technische Umsetzung



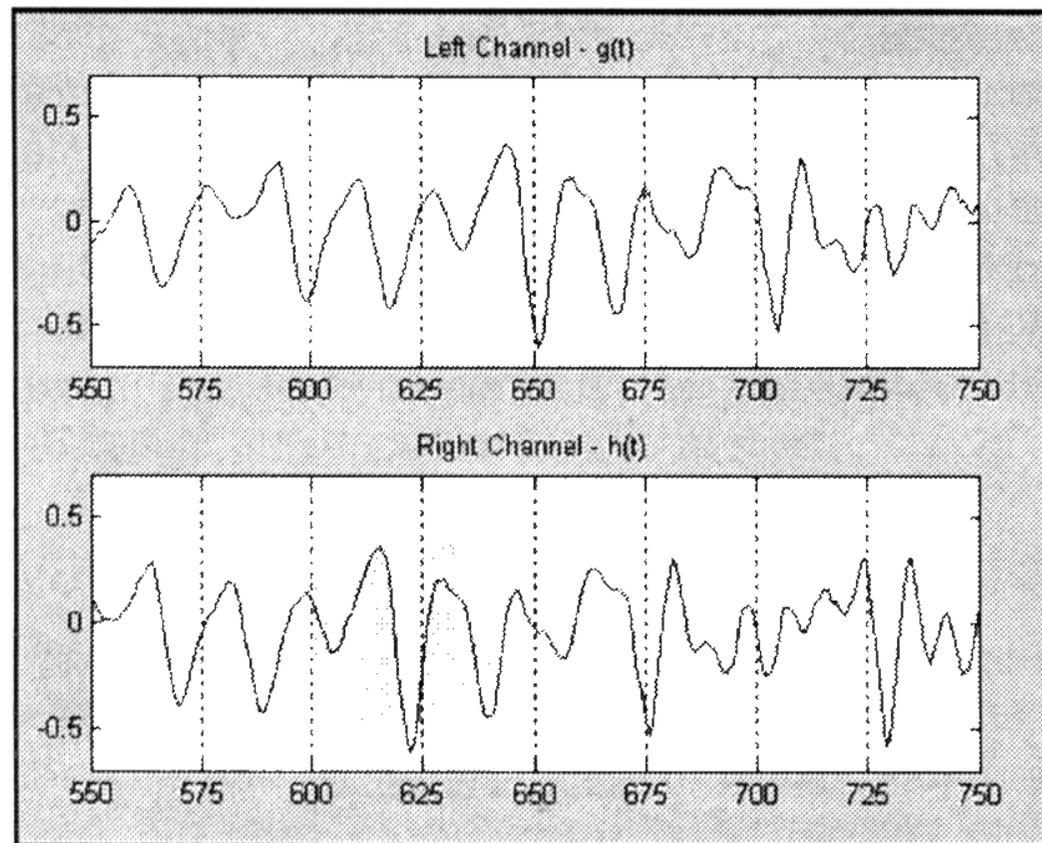


Technische Umsetzung

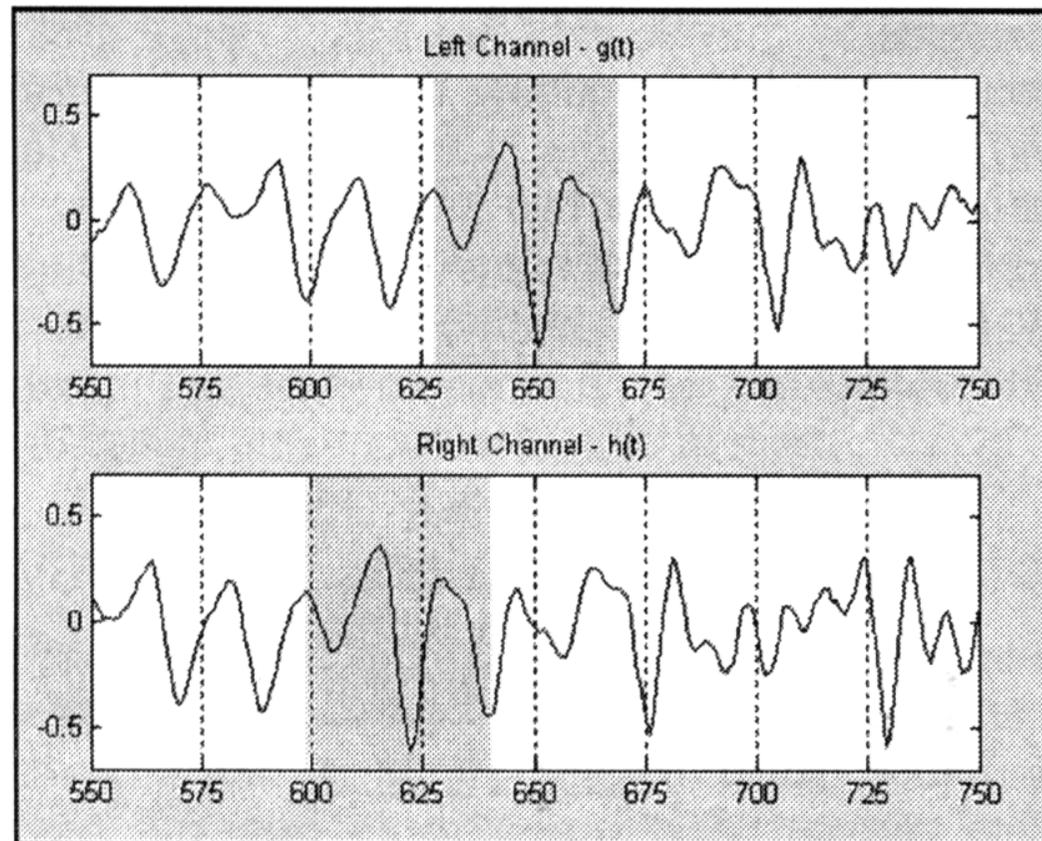
Kreuz-Korrelation

- ◆ Algorithmus zur Erfassung des ITD
- ◆ Vergleichen von beiden Kanälen (zeitl. Ebene)
- ◆ Verschieben (shifting) bis bestmögliche Übereinstimmung
- ◆ Kreuz-Korr. berechnet diese Verschiebung

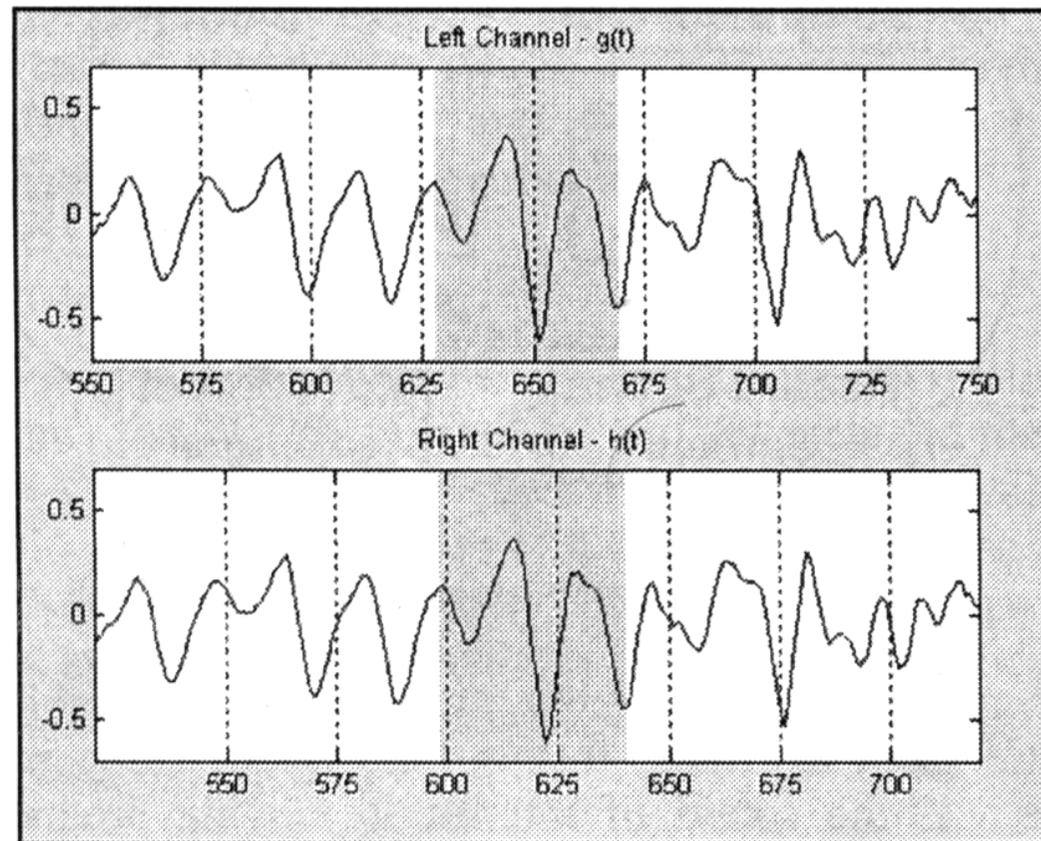
Kreuz-Korrelation



Kreuz-Korrelation



Kreuz-Korrelation



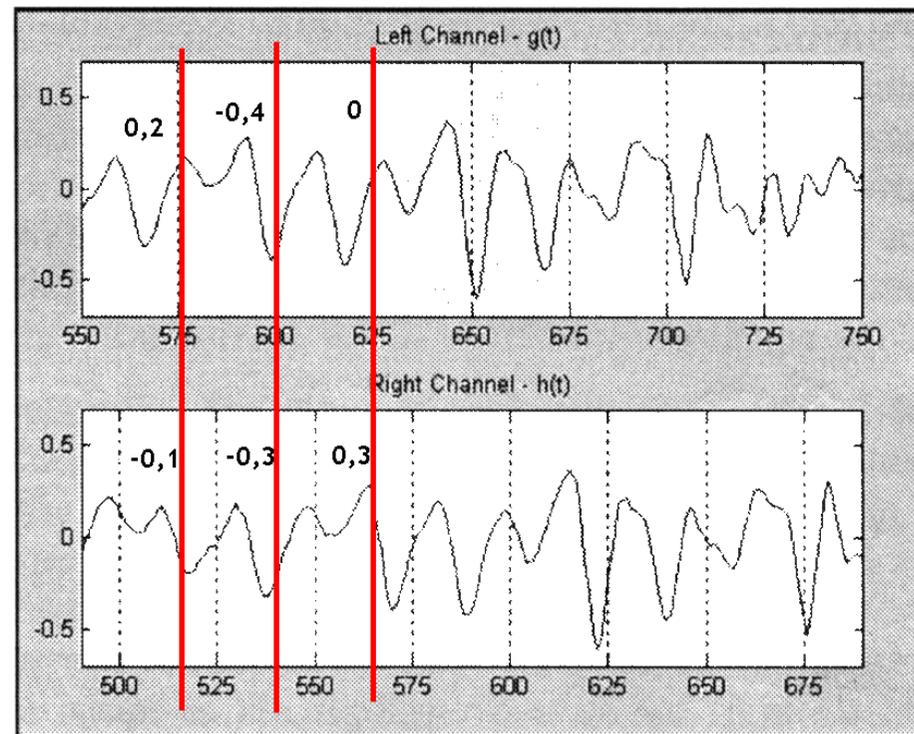
Kreuz-Korrelation

$$\text{Corr}(g, h)_j(t) \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} h_k$$

- ◆ g, h : Liste von Amplituden-Werten beider Kanäle
- ◆ Wertebereich von g, h : zwischen -1 und $+1$
- ◆ Gesucht: Wert j für den $\text{corr}(g, h)$ den größten pos. Wert erreicht
- ◆ Wert j entspricht Verschiebung des g -Kanals (siehe Index von g)

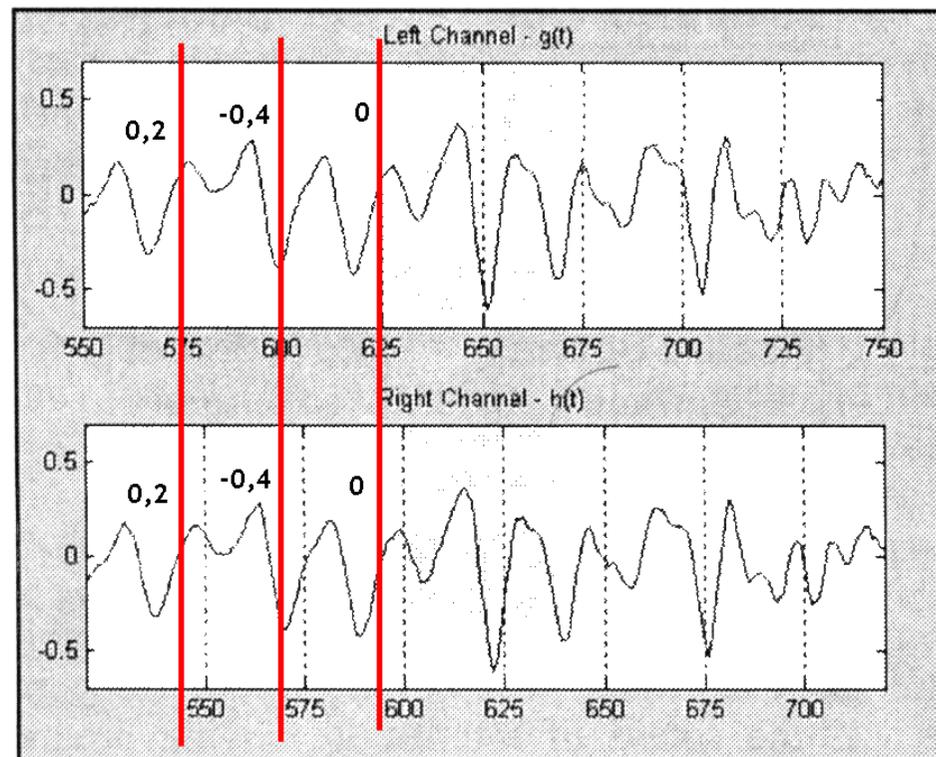
Kreuz-Korrelation

$$\text{Corr}(g, h)_j(t) \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} h_k$$

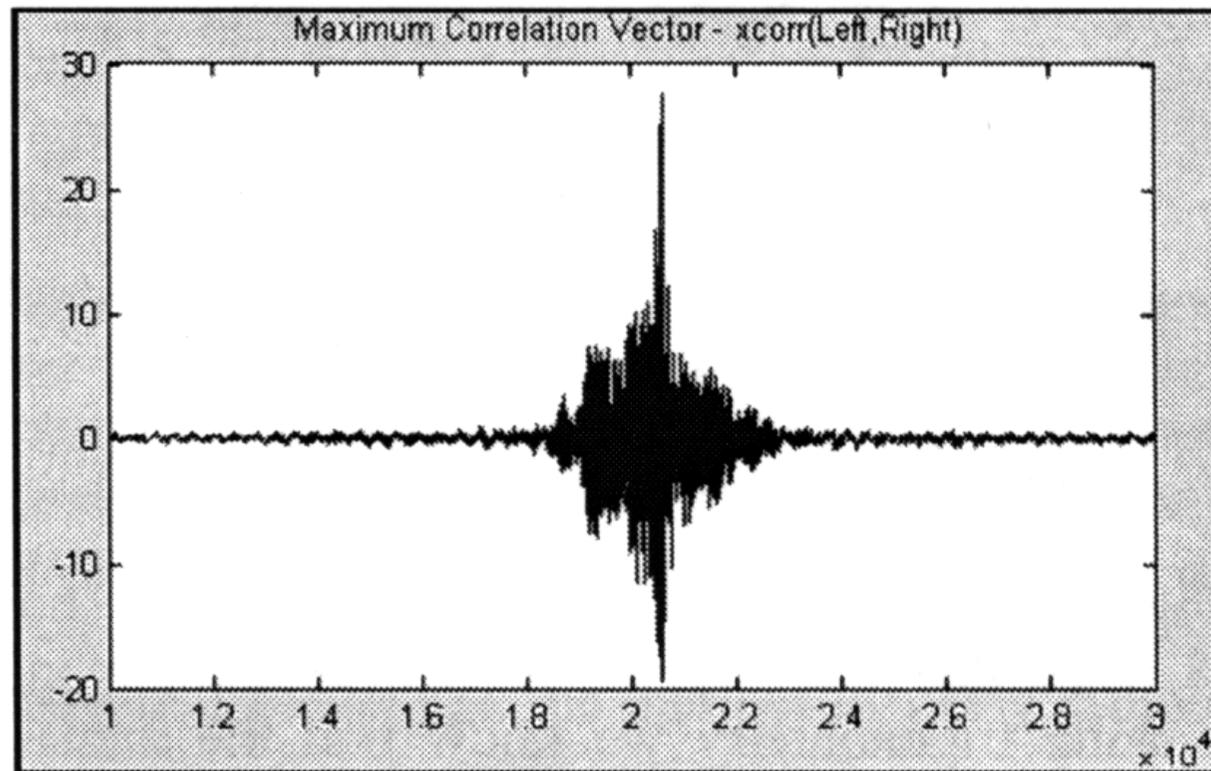


Kreuz-Korrelation

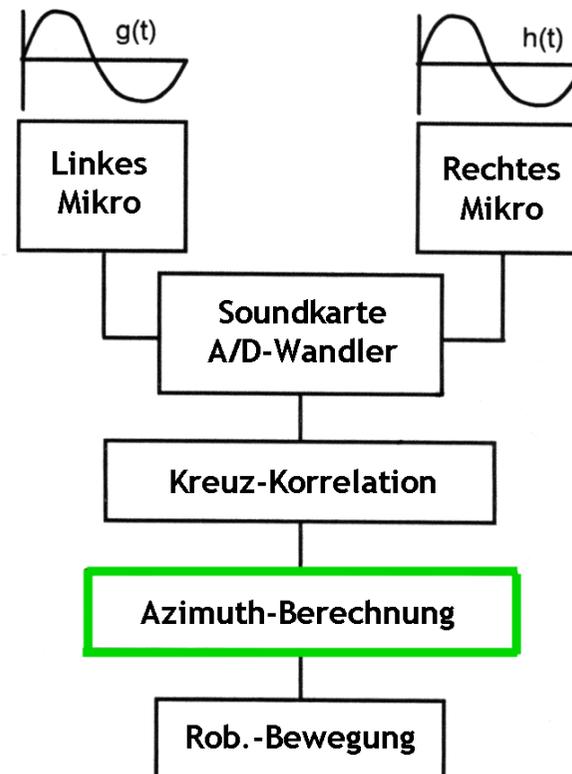
$$\text{Corr}(g, h)_j(t) \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} h_k$$



Kreuz-Korrelation

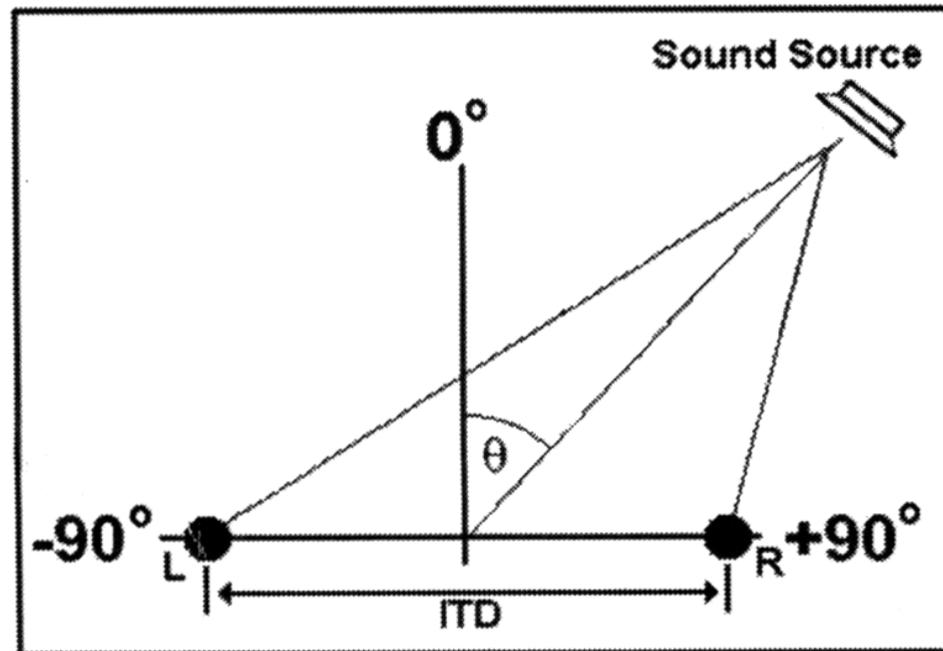


Technische Umsetzung



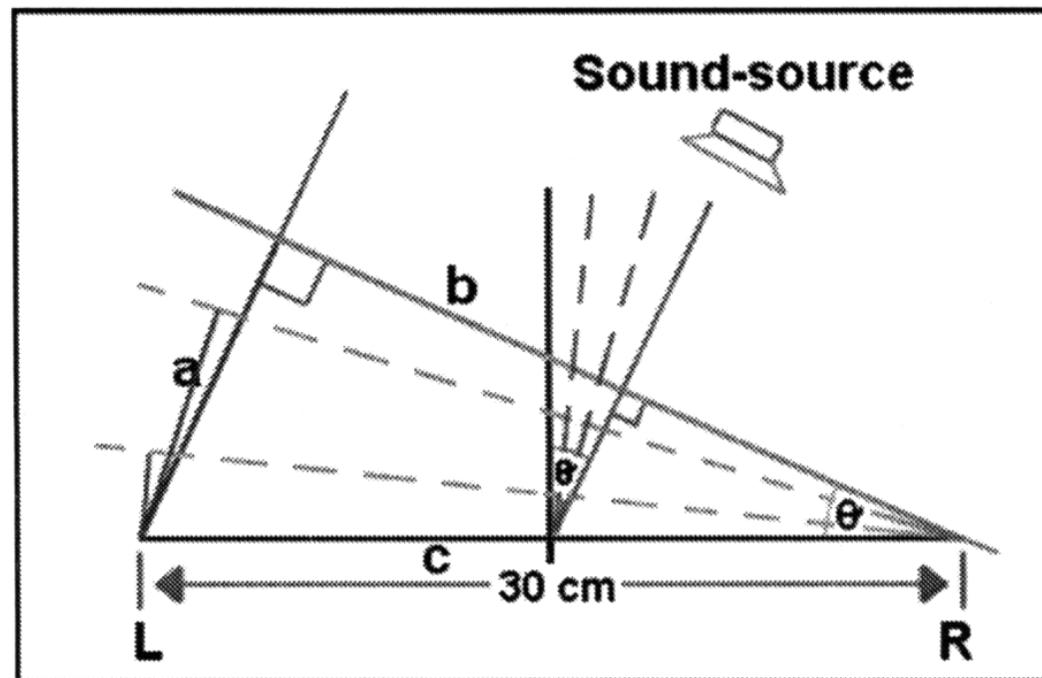
Technische Umsetzung

Azimuth Winkel



Technische Umsetzung

Azimuth Winkel



Technische Umsetzung

Berechnung des Azimuth Winkels

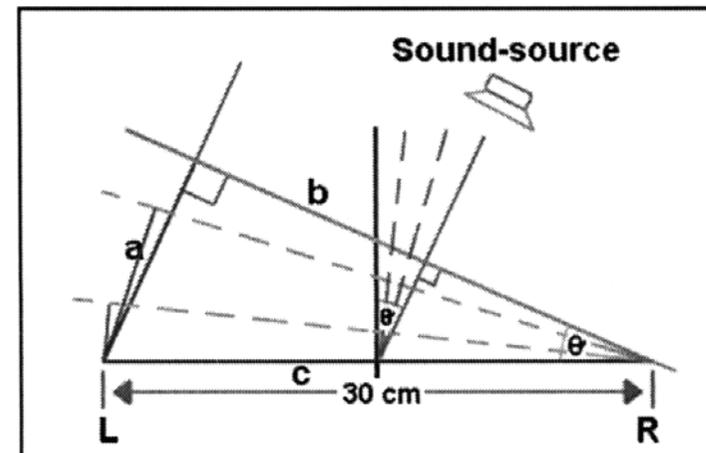
$$\Delta = 1/44.1 \times 10^3 = 2.2676 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$t = \Delta \times \sigma$$

$$\begin{aligned} \text{length} &= t \times V_{\text{sound}} \\ &= (\Delta \times \sigma) \times V_{\text{sound}} \end{aligned}$$

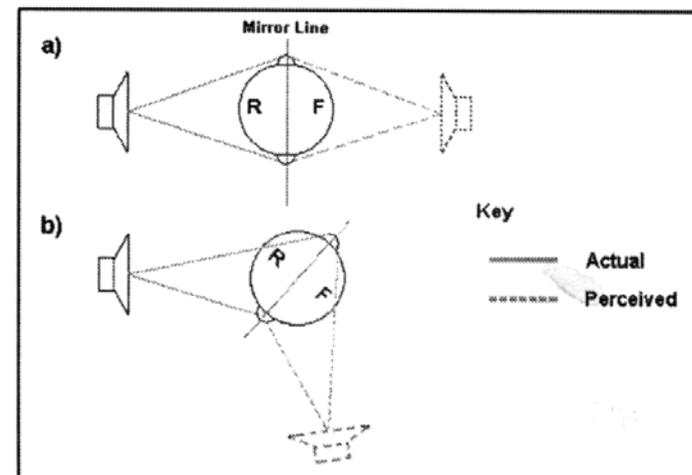
$$\sin \Theta = \frac{a}{c} \therefore \Theta = \sin^{-1} \frac{a}{c}$$

$$\Theta = \sin^{-1} \frac{(\Delta \times \sigma) \times V_{\text{sound}}}{c}$$

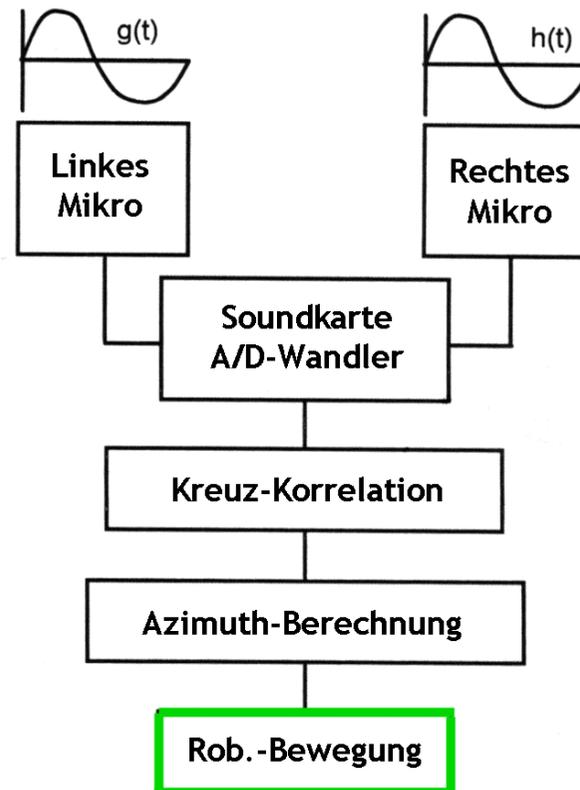


Technische Umsetzung

- ◆ Problem: 2 mögliche Winkel
- ◆ Abhilfe: leichte Drehung und 2. Messung
- ◆ Schließlich: Kombinieren der Messwerte



Technische Umsetzung



Technische Umsetzung

Messergebnisse

Winkel	Zeitdifferenz [in μsec]	Kreuz-Korrelation (theoretisch) [j-Verschiebung]	Kreuz-Korrelation [j-Verschiebung]	Positions-Abw. nach Drehung (Durchschnitt)
-90°	840	37	39	4°
-50°	599	26,4	27	2°
-30°	386	17	17	0°
0°	0	0	0	2°
10°	-136	-6	-5	2°
20°	-268	-11,8	-11	1°
45°	-554	-24,4	-26	2°
70°	-735	-32,4	-33	3°



Richtungshören

Fazit

- ◆ System mit 2 Mikrofonen, das mit Hilfe von Schall-Laufzeitunterschieden die Schallquelle im Bereich von 180° lokalisiert
- ◆ Verwendete „Kreuz-Korrelation“ sehr zuverlässig
- ◆ Abweichungen von durchschnittlich nur $1,5^\circ$



Literaturverzeichnis

◆ Quellen:

- ◆ Jürgen Adamy, Kyriakos Voutsas, Volker Willert. Ein binaurales Richtungshörsystem für mobile Roboter in echoarmer Umgebung, 2003
- ◆ John C. Murray, Harry Erwin, Stefan Wermter. Robotic Sound-Source Localization and Tracking using Interaural Time Difference and Cross-Correlation, 2004



Zum Schluss...



Fragen?