



# 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

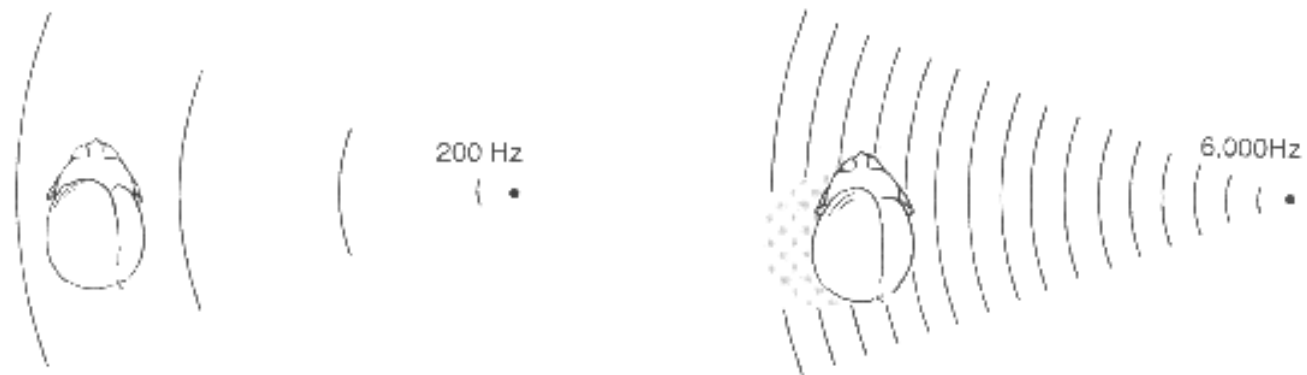
## ILD - Pegeldifferenz

- ◆ 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



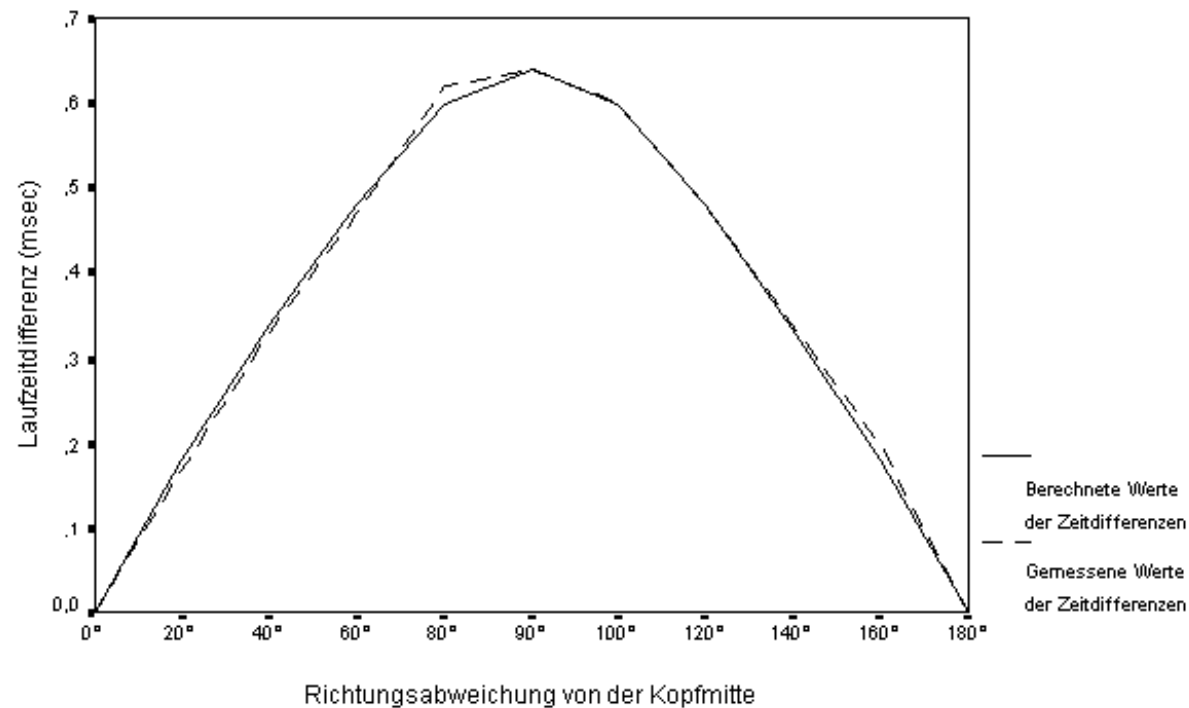
## **ITD – Zeitdifferenz**

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



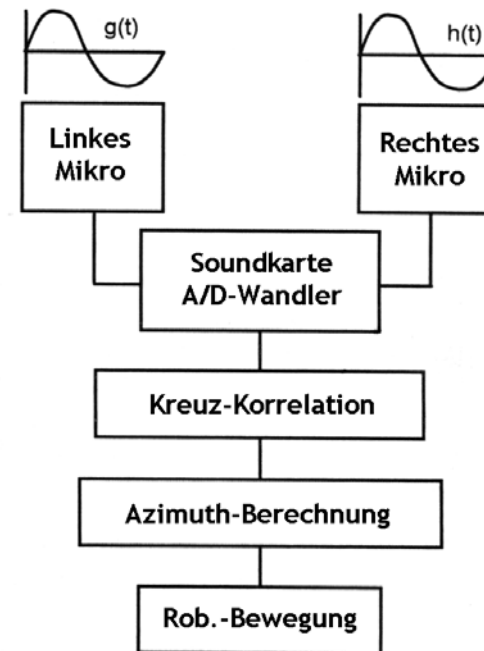
# Hörsystem beim Mensch

## ITD – Zeitdifferenz

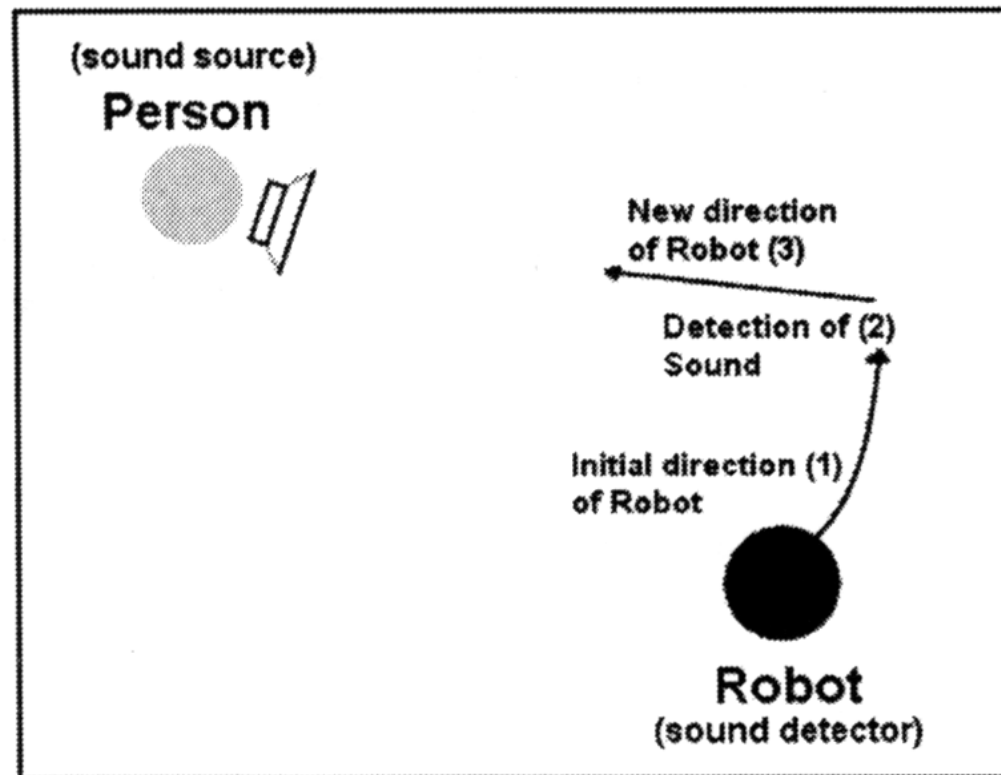


# Technische Umsetzung

## Eine mögliche Realisierung



# Technische Umsetzung



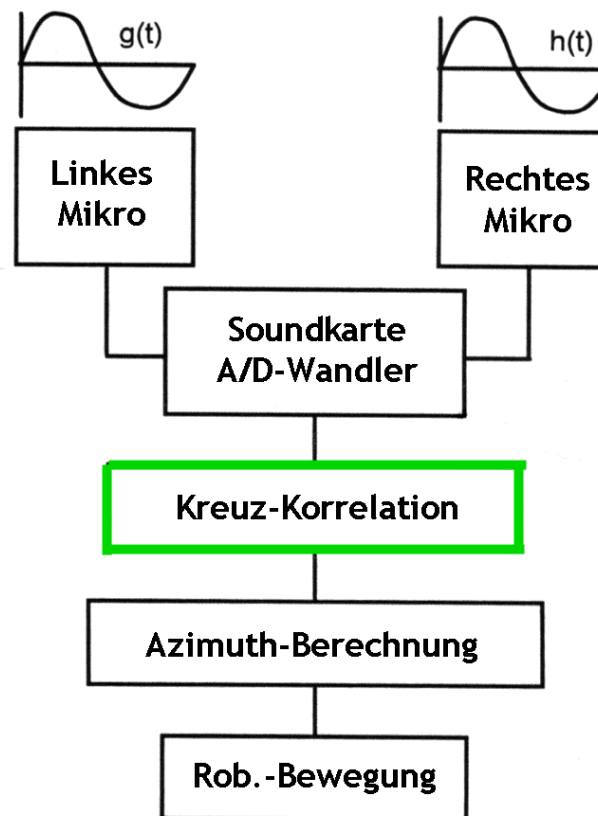
# Technische Umsetzung

## Technische Daten der Versuchsanordnung

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



# Technische Umsetzung



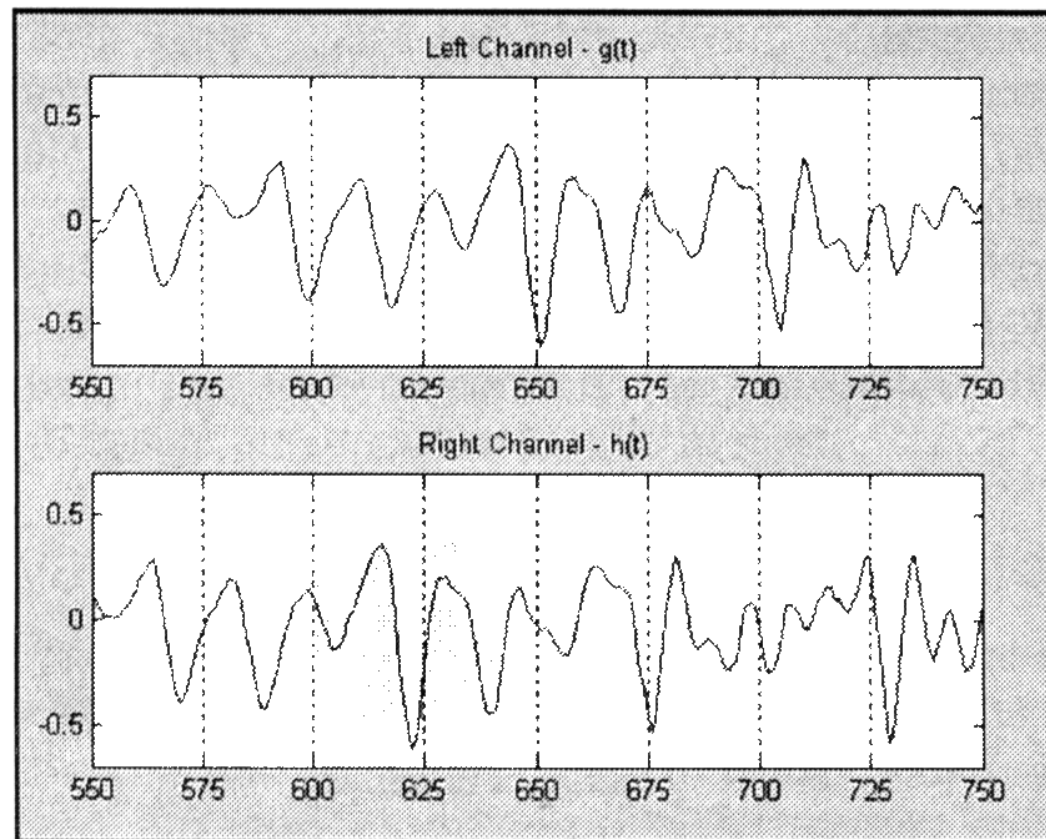


# Technische Umsetzung

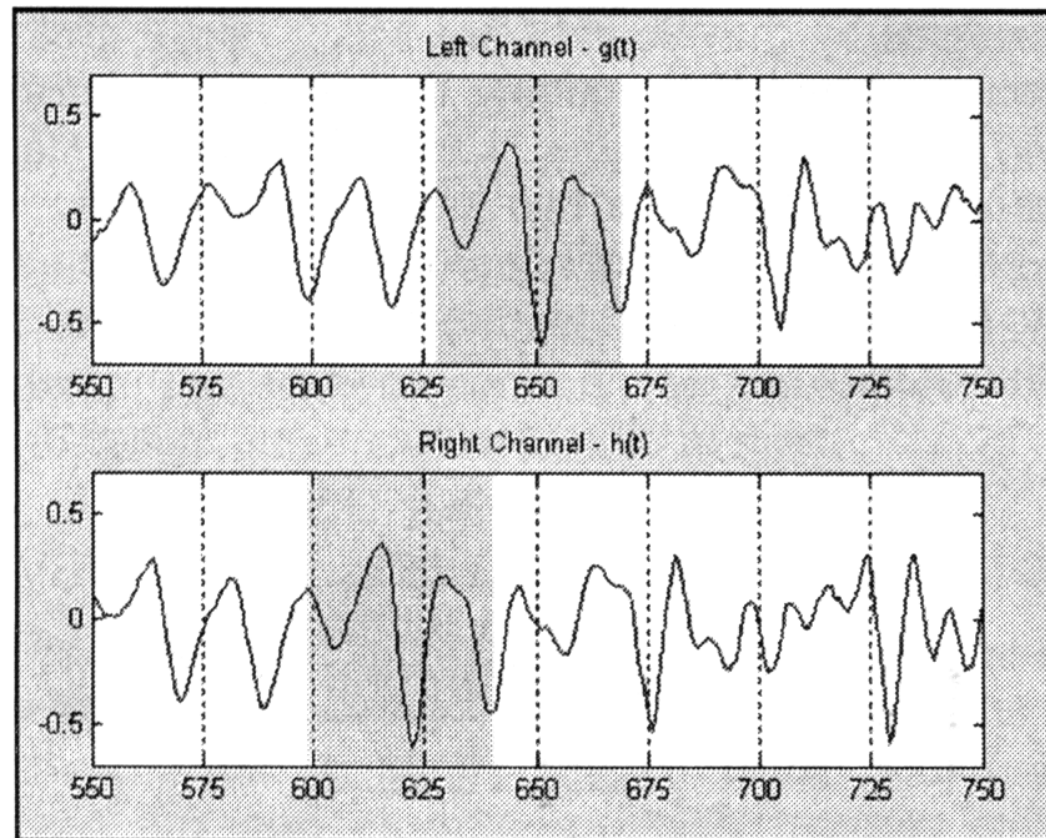
## Kreuz-Korrelation

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

# Kreuz-Korrelation

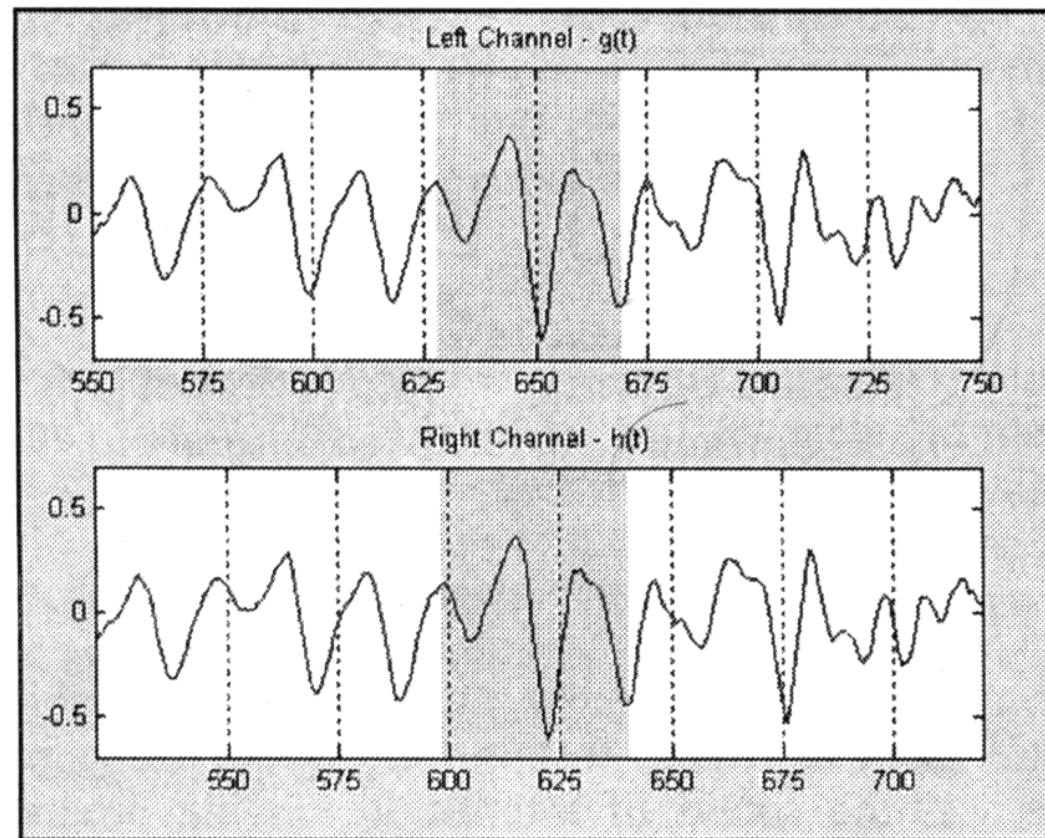


# Kreuz-Korrelation





# Kreuz-Korrelation



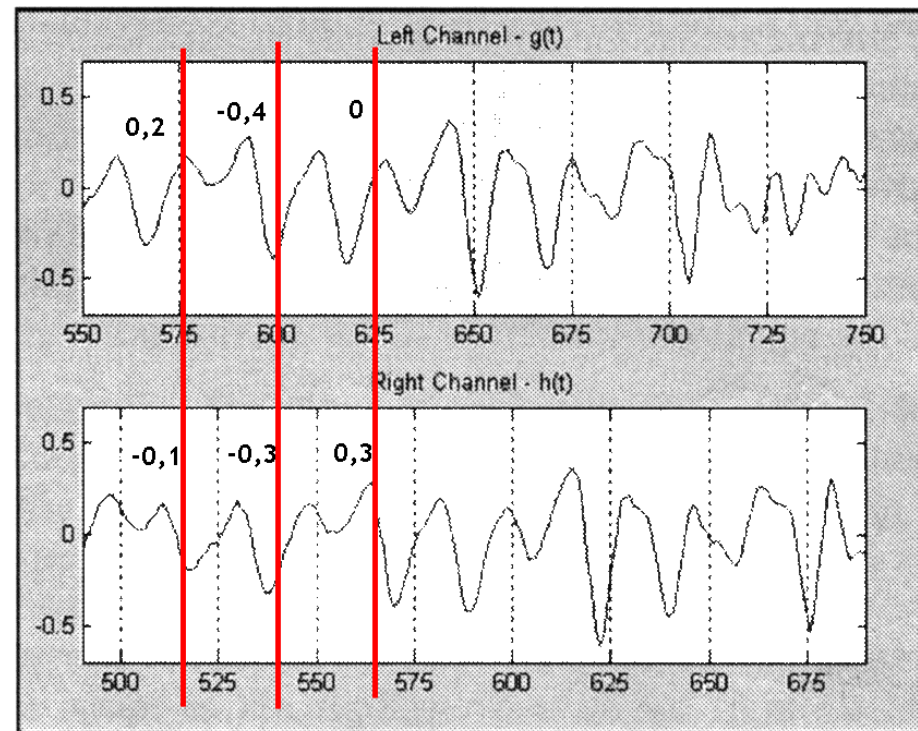
# Kreuz-Korrelation

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

- ◆  $g, h$ : 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  $g$ )

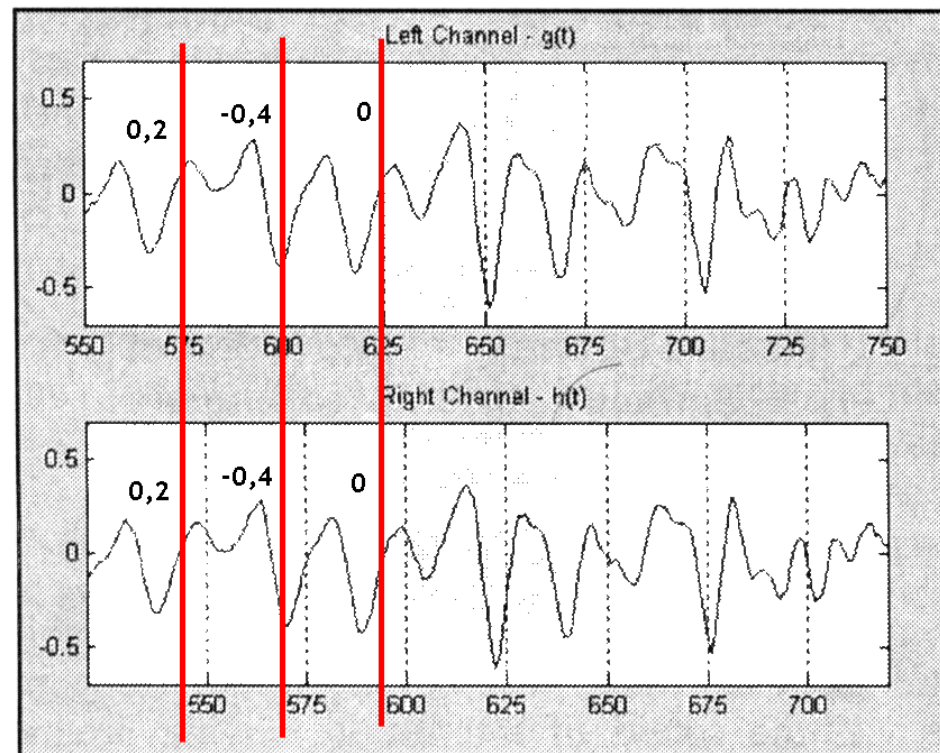
# Kreuz-Korrelation

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

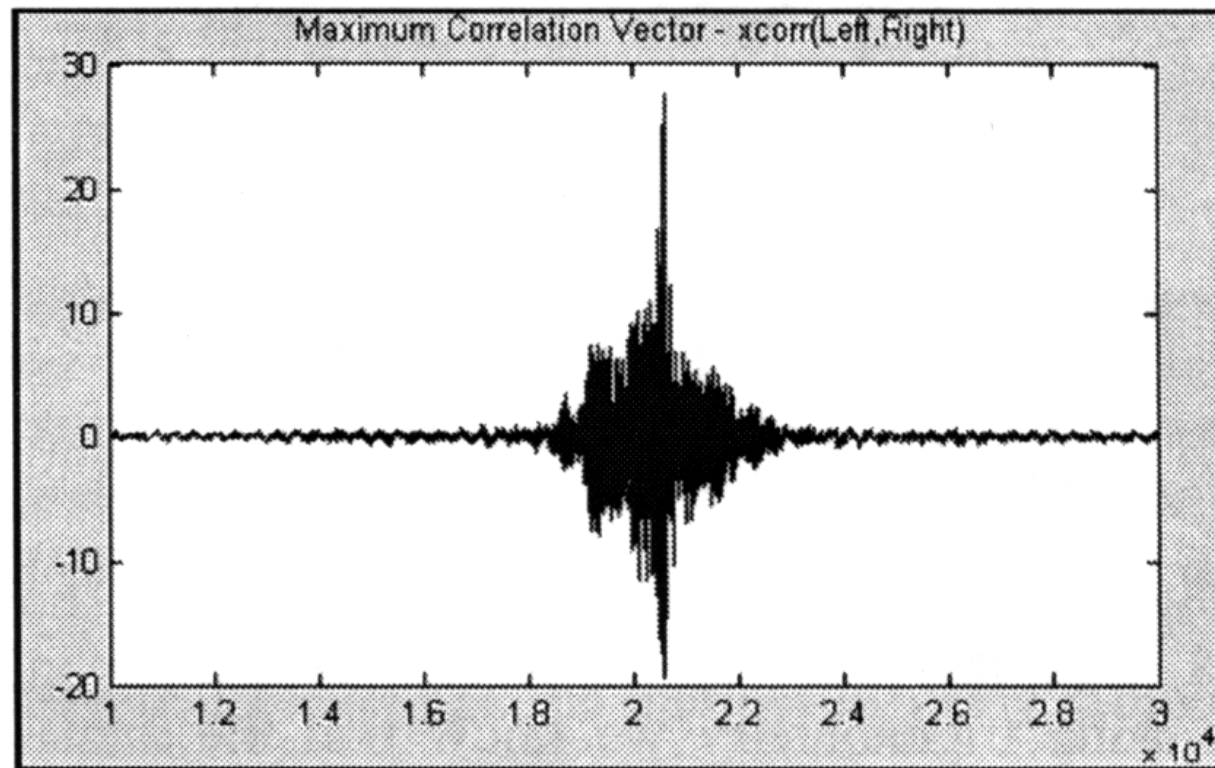


# Kreuz-Korrelation

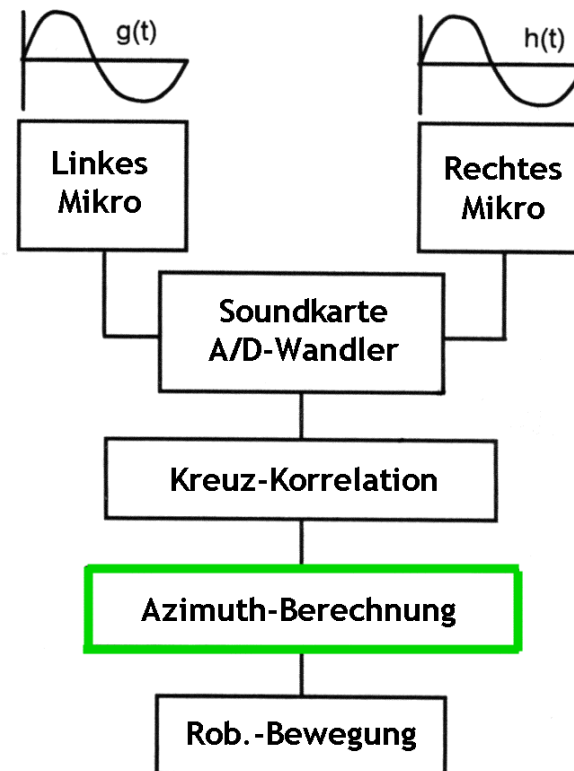
$$\text{Corr}(g, h)_j(t) \equiv \sum_{k=0}^{N-1} g_{j+k} h_k$$



# Kreuz-Korrelation



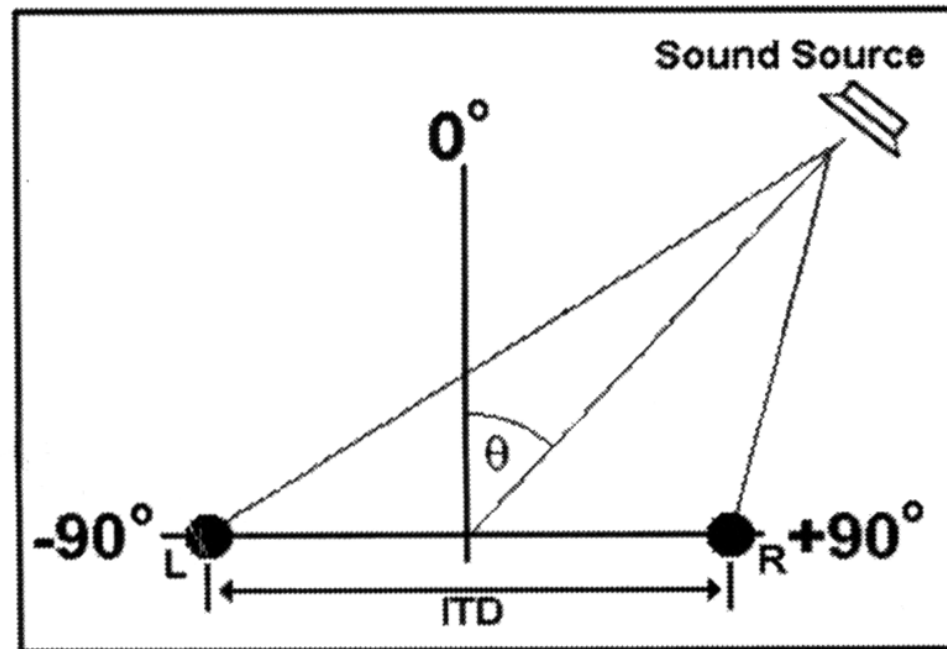
# Technische Umsetzung





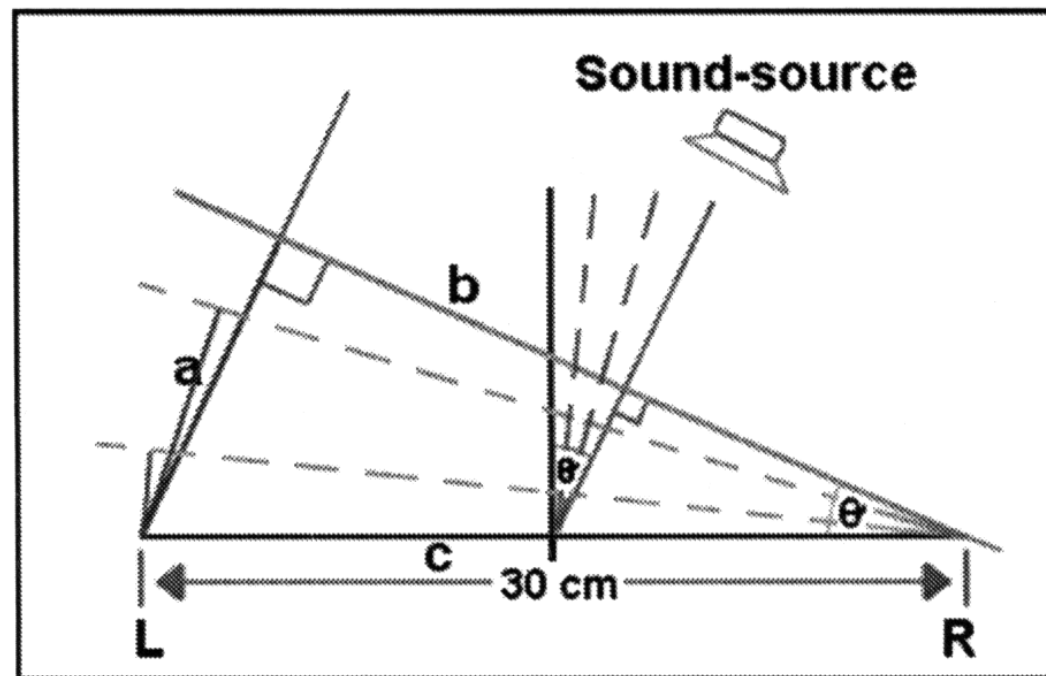
# Technische Umsetzung

## Azimuth Winkel



# Technische Umsetzung

## Azimuth Winkel





# Technische Umsetzung

## Berechnung des Azimuth Winkels

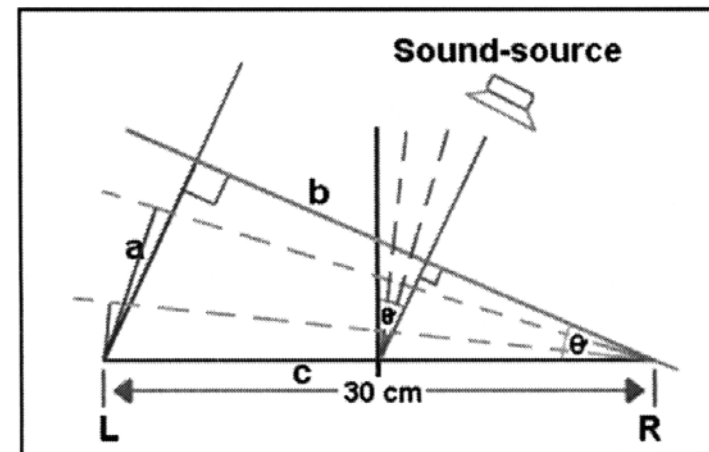
$$\Delta = 1/44.1 \times 10^3 = 2.2676 \times 10^{-5} \text{ s}$$

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

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

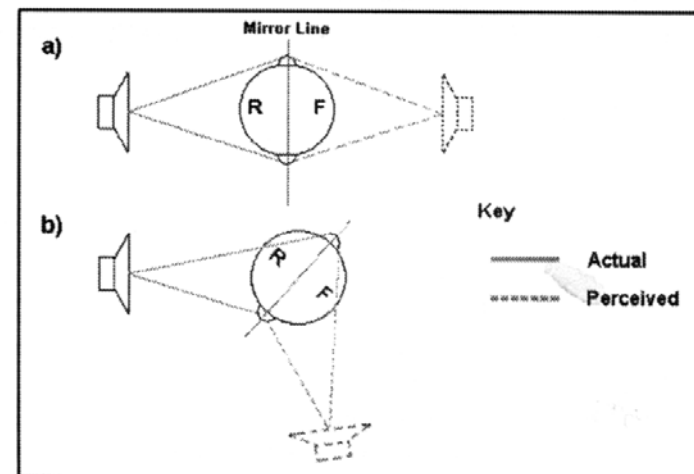
$$\sin \Theta = \frac{a}{c} \therefore \Theta = \sin^{-1} \frac{a}{c}$$

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

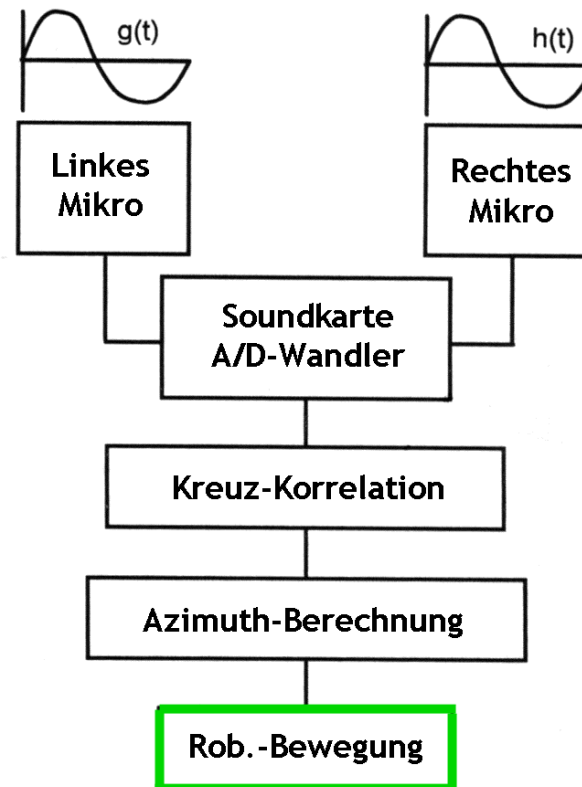


# Technische Umsetzung

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



# Technische Umsetzung



# Technische Umsetzung

## Messergebnisse

Winkel	Zeitdifferenz [in $\mu\text{sec}$ ]	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  $180^\circ$  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?