

Einfluss der Hörereignisrichtung auf die haptische Schätzung virtueller Längen

M. Stamm, M.E. Altinsoy und S. Merchel

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, Technische Universität Dresden

Email: Maik.Stamm@tu-dresden.de

Einführung

Die virtuelle Form- und Objekterkennung ist für unterschiedliche Anwendungen von großer Bedeutung, z.B. im Bereich der Teleoperation, der „Haptifizierung“ wissenschaftlicher Daten oder der Lern- und Hilfsmittel für Blinde. Stamm et al. arbeiteten in [1] entscheidende Kriterien für die Erkennung geometrischer Charakteristiken in virtuellen Umgebungen heraus. Dabei wurde deutlich, dass einige Probanden erhebliche Orientierungsschwierigkeiten im virtuellen Raum aufwiesen. Sie hatten Probleme den haptischen Interaktionspunkt (HIP) zu lokalisieren und stießen oft an die Grenzen des Arbeitsbereiches. Aus diesem Grund scheint es zweckmäßig, dem Nutzer zusätzliche Orientierungsinformationen zur Lokalisierung des HIP zur Verfügung zu stellen. Hierzu eignen sich im Besonderen akustische Cues, die es ermöglichen das haptische räumliche Auflösungsvermögen zu ergänzen bzw. zu erweitern und somit die Sicherheit des Nutzers bei der virtuellen Interaktion zu erhöhen. Jedoch müssen die möglichen Interaktionseffekte einer solchen multimodalen Wiedergabe sehr genau untersucht werden. Im Kontext der virtuellen Objekterkennung stellt sich die wichtige Frage, ob die haptische Wahrnehmung geometrischer Eigenschaften durch simultan wiedergegebene akustische Lokalisationsinformationen beeinträchtigt wird. In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb untersucht, welchen Einfluss die Hörereignisrichtung auf die Schätzung der Ausdehnung bzw. Länge eines virtuellen Objektes hat.

Räumliche Wiedergabe

Für die Wiedergabe der akustischen Lokalisationsinformationen wurde ein Zweikanal-Stereofonie-Setup gewählt. Die Verschiebung der Phantomschallquelle im Azimutwinkel ϕ zum Nutzer erfolgt über Amplitudenpanning. Dabei werden die Verstärkungsfaktoren g_1 und g_2 des Signals $s(t)$ zur Ansteuerung der im Basiswinkel $2\phi_0$ positionierten Lautsprecher über das „tangent law“ berechnet (Abbildung 1):

$$\frac{\tan \phi}{\tan \phi_0} = \frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2} \quad (1)$$

Um unerwünschte Lautheitsänderungen der Phantomschallquelle in Abhängigkeit der Hörereignisrichtung zu vermeiden, ist die Summe der Quadrate der Verstärkungsfaktoren zu normalisieren:

$$\sqrt{\sum_{n=1}^2 g_n^2} = g_1^2 + g_2^2 = 1 \quad (2)$$

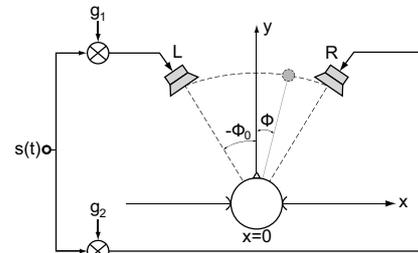


Abbildung 1: Positionierung der Phantomschallquelle.

Experiment

Setup

Als Steuerungsglied dient ein Rechner, der mit dem Force-Feedback-Gerät PHANToM Omni sowie mit der externen Soundkarte RME Hammerfall DSP Multiface II verbunden ist. Die Soundkarte leitet die gewichteten akustischen Signale zur Wiedergabe an zwei Lautsprecher des Typs GENELEC 8040A weiter. Der Lautsprecherbasiswinkel $2\phi_0$ wurde entgegen der Wahl im klassischen Stereofonie-Setup auf 90° erhöht, um eine „breitere“ akustische Ausdehnung simulieren zu können.

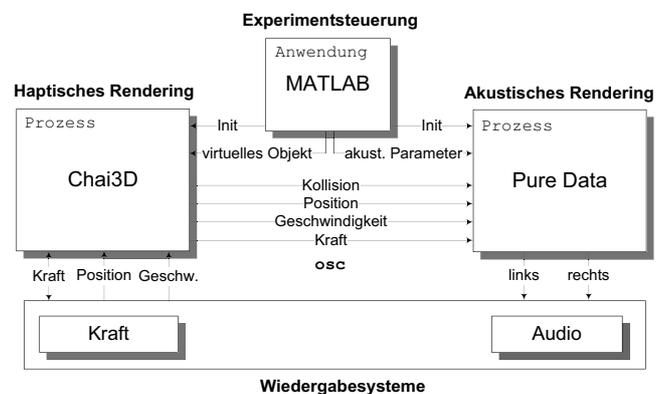


Abbildung 2: Experimentelles Software-Setup.

In Abbildung 2 ist das entwickelte Software-Setup dargestellt. MATLAB wird für die automatisierte Steuerung des Experiments verwendet. Zudem initiiert MATLAB die Prozesse für das haptische Rendering (Chai3D) und akustische Rendering (Pure Data). Chai3D kommuniziert fortwährend mit dem PHANToM Omni sowie mit Pure Data, das für die Echtzeit-Generierung der akustischen Signale eingesetzt wird.

Stimuli

Im Experiment sollten drei Quader auf ihre Länge geschätzt werden. Die Längen betragen $l_1=6$ cm, $l_2=7.5$ cm und $l_3=9$ cm. Um sicherzustellen, dass alle Probanden

die gleichen Weglängen zurücklegen, wurden die Quader durch eine Ebene frontal geschnitten (Abbildung 3). So konnte die Abtastbewegung entlang der Schnittkanten zwischen Quader und Ebene geführt werden.

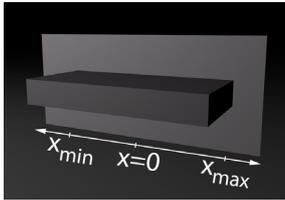


Abbildung 3: Modell des frontal geschnittenen Quaders.

Sobald der HIP mit dem Quader kollidierte und die Abtastgeschwindigkeit auf $v_{Abt} > 0$ anwuchs, gaben die Lautsprecher ein Rosa Rauschen ($L_s = 50$ dB(A)) wieder. Die Hörereignisrichtung ϕ wurde in Abhängigkeit von der aktuellen Abtastposition x variiert. Die linke Quadergrenze x_{min} bzw. rechte Quadergrenze x_{max} stimmte dabei mit einer vorgegebenen maximalen Verschiebung der Hörereignisrichtung um $-\phi_{max}$ bzw. $+\phi_{max}$ überein. Pro Quaderlänge wurden drei Variationen für die maximale Verschiebung der Hörereignisrichtung gewählt: $|\phi_{max}| = 0^\circ$, $|\phi_{max}| = 22.5^\circ$ und $|\phi_{max}| = 45^\circ$. Die resultierenden 9 Stimuli wurden jedem Probanden zweimal dargeboten, um die jeweiligen Mittelwerte zu berechnen. Die Reihenfolge der insgesamt 18 Darbietungen wurde randomisiert.

Ablauf

Zu Beginn absolvierten die Probanden ein Training, um sich mit dem Gerät, dem digitalen Modell und der Schätzung von Längen (zunächst unter Zuhilfenahme eines Lineals) vertraut zu machen. Anschließend wurden ihnen die Augen verbunden. Die Probanden schätzten nun die Länge von 18 nacheinander dargebotenen Quadern. Sie konnten den Quader dabei beliebig oft entlang der Schnittkante mit der Ebene umrunden. Sie wurden instruiert, die jeweiligen Seiten des Quaders mit einer Abtastgeschwindigkeit $v_{Abt} > 0$ „abzufahren“, um ein systematisches schrittweises Ausmessen der Länge zu verhindern und gleichzeitig die kontinuierliche Veränderung der Hörereignisrichtung zu verdeutlichen. Über die Funktion des akustischen Signales wurden keine Angaben gemacht. Das gesamte Experiment dauerte circa 25 Minuten.

Probanden

An den Untersuchungen nahmen insgesamt 15 Probanden (8x weiblich, 7x männlich) im Alter von 21 bis 54 Jahren ($\bar{\phi}$ 28 Jahre) teil. 2 von den 15 Probanden waren Linkshänder. 6 Probanden besaßen keinerlei Erfahrung, 9 Probanden besaßen wenig Erfahrung beim Umgang mit einem Force-Feedback-Gerät. Die Teilnehmer waren Auszubildende, Studenten oder Mitarbeiter der TU Dresden.

Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 4 sind die Mittelwerte der Längenschätzung in Abhängigkeit von der tatsächlichen Länge der virtuellen Quader sowie in Abhängigkeit der maximalen Azimutwinkel ϕ_{max} der Hörereignisrichtung dargestellt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Probanden unterschätzen die tatsächlichen Längen der virtuellen Quader. Die Schätzungen für die längeren Quader sind jedoch genauer als für die kürzeren (prozentuale mittlere Abweichung: $\overline{\Delta l_1} \approx 20\%$, $\overline{\Delta l_2} \approx 12\%$ und $\overline{\Delta l_3} \approx 8\%$).
- Die Standardabweichungen der gemittelten Schätzungswerte steigen mit zunehmender Quaderlänge an.
- Die Variation der maximalen Verschiebung der Hörereignisrichtung ($|\phi_{max}| = 22.5^\circ$ und $|\phi_{max}| = 45^\circ$) hat keinen signifikanten Einfluss auf die Schätzung der virtuellen Längen im Vergleich zur Referenz $|\phi_{max}| = 0^\circ$.

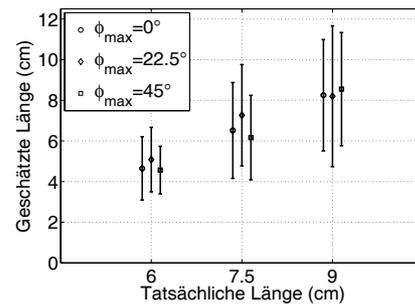


Abbildung 4: Mittelwerte der Längenschätzung in Abhängigkeit von der tatsächlichen Länge der virtuellen Quader sowie in Abhängigkeit der maximalen Azimutwinkel ϕ_{max} der Hörereignisrichtung (\pm Standardabweichung).

Die aufgezeigten Ergebnisse bestätigen demnach die Ergebnisse von [2] hinsichtlich der Unterschätzung der wahrgenommenen Längen von betasteten virtuellen Objekten. In der vorliegenden Arbeit konnte darüberhinaus nachgewiesen werden, dass dieser Zusammenhang auch für größere virtuelle Objekte gilt. Desweiteren wurde festgestellt, dass ein Hinzufügen stereofonischer Lokalisationsinformationen keinen systematischen Einfluss auf die haptische Wahrnehmung der horizontalen Ausdehnung bzw. der Länge virtueller Objekte hat. In diesem Fall dominiert der haptische Sinn die Wahrnehmung. Es scheint daher unproblematisch und zudem nach Aussagen zahlreicher Probanden wünschenswert, akustische Lokalisationsinformationen zur Verbesserung des Orientierungsvermögens zur Verfügung zu stellen.

Danksagung

Spezieller Dank gilt Prof. Jekosch für ihre Unterstützung. Die Autoren bedanken sich zudem bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung (DFG; 156/1-1).

Literatur

- [1] Stamm, M.; Altinsoy, M.E.; Merchel, S.: Identification accuracy and efficiency of haptic virtual objects using force-feedback. In: International Workshop on Perceptual Quality of Systems. Bautzen, 2010
- [2] Colwell, C.; Petrie, H.; Kornbrot, D.: Use of a Haptic Device By Blind and Sighted People: Perception of Virtual Textures and Objects. 1998