Reproduktion von Texturen basierend auf visuellen Informationen eines Touch-Display

Ugur Alican Alma[1], Ercan Altinsoy[2]

[1] Lehrstuhl für Akustik und Haptik, TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland, Email: ugur_alican.alma@tu-dresden.de

[2] Lehrstuhl für Akustik und Haptik, TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland, Email: ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Einleitung

Das Gebiet der visuell-haptischen Augmented Reality hat in letzter Zeit mit Touch-Displays ein rasantes Wachstum erfahren. Geräte mit Touchdisplay werden zu einem wichtigen Bestandteil unseres täglichen Lebens, da sie zahlreiche Aufgaben ausführen können. Parallel dazu erwarten Benutzer eine zuverlässigere und komfortablere Interaktion zwischen Mensch und Display, die durch haptisches Feedback unterstützt werden kann. So ist beispielsweise die Reproduktion von Texturempfindungen auf Displays von zunehmender Bedeutung für den Bereich der Haptik. In den letzten Jahren wurden in wegweisenden Studien messungsbasierte Renderingtechniken eingeführt, mit denen realistische haptische Texturen erstellt werden konnten. Auf Messung basierende Ansätze ignorieren jedoch die Erwartungen der Benutzer an eine virtuelle Umgebung und die begrenzten Fähigkeiten taktiler Rezeptoren [1]. Andererseits kann der empfundene Realismus einer haptischen Textur trügerisch sein, da Benutzer den Realismus der gerenderten Textur nur anhand visueller Hinweise eines Texturbildes beurteilen, wenn die reale Vorlage einer gerenderten Textur nicht verfugbar ist. Deshalb bestimmt die Kapazitat der visuellen Modalitat das Ausreichen einer taktilen Texturruckmeldung.

Die Fähigkeiten von Seh-und-Tastsinn hinsichtlich der Wahrnehmung von Texturen wurde in zahlreichen Studien verglichen. Obwohl in früheren Studien kein Unterschied zwischen beiden Modalitäten festgestellt werden konnte [2, 3, 4], zeigen die Studien von Heller, dass die Tastsinn einen größeren Einfluss als der Sehsinn auf die Wahrnehmung von Texturen hat [5, 6]. Die Dominanz des Tastsinns konnte jedoch nur für glatte Texturen bestätigt werden, während für grobe Texturen kein Unterschied festgestellt werden konnte. Guest and Spence [7] untersuchten die mulitmodale Interaktion von Rauigkeit und grafischer Darstellung. Diese Arbeit zeigt das haptische Störeinflüsse die visuelle Wahrnehmung bei der Rauheitswahrnehmung beeinflussen, nicht jedoch umgekehrt. Dies besagt, dass Berührung dominater ist als Vision, um Rauheit zu unterscheiden. In der Folge erklärte die Studie von Lederman, Thorne und Jones [8] dieses Problem, wobei die Dominanz einer einzelnen Modalität für die Texturaufgabe insbesondere durch die Verarbeitungsanforderungen bestimmt wird. Diese Studie zeigte das der Tastsinn den Sehsinn in 70% der Fälle dominiert, wenn die Teilnehmer aufgefordert wurden, die Rauheitsgröße von Oberflächen unimodal zu bewerten. Bei der Bewertung der räumlichen Dichte, dominierte die visuelle Wahrnehmung den Tastsinn in 70% der Fälle. Dementsprechend schlussfolgern die Autoren, dass beide Modalitaäten gleich gewichtet werden könnten, wenn die Probanden die Rauheit und räumliche Dichte mit Tast und Sehsinn bewertet hätten.

In der Studie [9] wurde festgestellt, das aufgezeichnete Schwingungsmuster vereinfacht werden können (in unterschiedlichem Maße für glatte und raue Texturen), wenn die Texturen Versuchspersonen ausschließlich haptisch präsentiert werden. Dieses Resultat ist jedoch möglicherweise nicht haltbar, wenn das vibrotaktile Feedback mit zusätzlicher visueller Texturinformation neu bewertet wird. Dies liegt daran, dass wir uns nur vorstellen oder abschätzen können, wie eine Textur visuell wahrgenommen werden kann, ohne sie zu berühren, wenn wir sie visuell sehen. Die Hypothese dieser Studie lautet, dass die Auflösung des vibrotaktilen Feedbacks geringer sein kann, wenn Benutzer zusätzlich visuelle Texturinformationen mithilfe von Displays erhalten. In diesem Fall können virtuelle Texturen ohne physikalisch genaue Vibrationen auf Touch-Displays gerendert werden. Diese Fragestellung wird in dieser Studie durch Untersuchungen mit 1) aufgezeichneten Vibrationen, 2) einzelnen Sinuskurven und 3) bandbegrenztem weißem Rauschen beantwortet, die in der vorherigen Arbeit verwendet wurden. Im Wahrnehmungstest bewerteten die Teilnehmer die Ähnlichkeit zwischen den Texturschwingungen und visuell wahrgenommenen Texturbildern.

Versuchsaufbau

Erstellung von taktilem und visuellem Feedback

Die vibrotaktilen Stimuli, mit Ausnahme von bandbegrenzten weißen Rauschens wurden basierend auf den gesammelten Beschleunigungsdaten der verwendeten Texturen erzeugt. Während der Messungen wurde ein 10g-Beschleunigungsmesser mit drei Achsen (Kistler 8692C10M1) als Stift verwendet, um Daten in seitlichen und normalen Achsen zu erfassen. Die Relativbewegung zwischen den Texturen und dem kontaktierten stationären Stift wurde udurch eine rotierende Trommel erzeugt, Die Relativgeschwindigkeit betrug 15 cm/s. Zur Vorbereitung der Texturschwingungen wurden die gemessenen Beschleunigungen in lateralen und normalen Achsen durch Berechnung ihres resultierenden Vektors in eindimensionale Daten umgewandelt. Dann wurden Tief und Hochpassfilter auf die eindimensionalen Daten angewandt, um nicht wahrnehmbare Frequenzen zu entfernen. So wurden aufgezeichnete Schwingungsreize erhal-

ten [14]. Die zweite Art von Reizen bestehen aus einzelnen Sinuskurven. Sie wurden für jede Textur unter Verwendung der leistungsstärksten Frequenzkomponente aus den Beschleunigungsmessungen erstellt. Die dritte Art von Stimuli besteht aus bandbegrenzten weißen Rauschen, das durch Filtern des weißen Rauschsignals erzeugt wurden, um Frequenzkomponenten zwischen 20 und 1000 Hz zu enthalten, wie bei den aufgezeichneten Schwingungen. Die Gesamt RMS Werte der einzelnen Sinus und Rauschstimuli wurden in Bezug auf die aufgezeichneten Schwingungen für die konstante Intensität ausgeglichen.

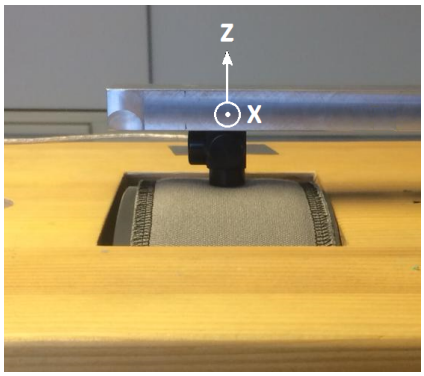

Abbildung 1: Einrichtung der Beschleunigungsmessung. Die rotierende Trommel sorgt für eine Relativbewegung zwischen der Textur und dem kontaktierten Beschleunigungsmesser.

Wie in Abb. 2 gezeigt, wurde in dieser Studie eine glatte und eine raue Textur verwendet, um die Auswirkung des Oberflächenprofils auf die Wahrnehmungsbewertungen zu untersuchen. Die Bilder wurden in Graustufen dargestellt, so dass sich die Teilnehmer nur auf die Oberflächenrauheit oder räumliche Dichte konzentrieren konnten. Das untere Bild ist eine glatte Stoffstruktur, und das obere Bild ist eine grobe Stoffstruktur. Die ausgewählten Texturen bestehen aus regelmäßig verteilten Elementen mit Strukturgrößen von 0,15 mm (glatte Textur) und 1 mm (grobe Textur). Die Texturbilder wurde mithilfe einer hochauflösende Kamera (Sony, Alpha 900) erstellt.

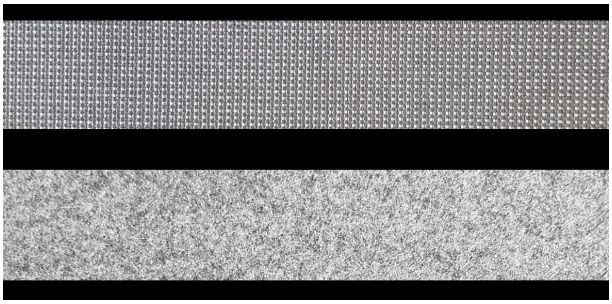

Abbildung 2: Die glatten und rauen Texturbilder sind oben zu sehen.

Die Testgeräte

Um eine Ähnlichkeitsbewertung auf einem Display durchzuführen zu können , wurde eine Versuchsapparatur, wie in Abb. 3 dargestellt, verwendet. Ein Touch-Display-Monitor (Gechic HD 1102H) wurde auf einem elektrodynamischen Schüttler (RFT Messelektronik) montiert und der die Steueroberfläche wurde so konzipiert, dass sie eine Skalierungsleiste und eine Wiedergabetaste zum Fahren enthält die taktilen und auditorischen Reize.

Die taktilen und akustischen Reize wurden für 5 Sekunden abgespielt nachdem die Probanden auf die Wiedergabetaste auf der Benutzeroberfläche geklickt hatten. Das Abspielen der auditiven Stimuli erfolgte über Kopfhörer (beyerdynamics DT- 770). Vor dem Experiment wurden die Probanden angewiesen, ihre Finger vorsichtig über das Display zu bewegen, um merkliche Veränderungen der Vibrationsintensität zu vermeiden. Darüber hinaus durften die Probanden ihre Finger nur im zentralen Bereich des Displays bewegen wo die Schwingungencharakteristik kalibriert wurde.

Experimentelle Methode

In dieser Studie wurde Ähnlichkeitsbewertung durchgeführt. Insgesamt wurden 6 Stimulationsbeispiele (3 Vibrationen x 2 Texturbilder) von den Probanden bewertet. Vor dem Test wurde die Abtastgeschwindigkeit des Fingers unter Verwendung einer visuellen Balkenführung auf dem Computerbildschirm auf 15 cm/s trainiert. Insgesamt nahmen 11 Probanden, 8 Männer und 3 Frauen im Alter zwischen 22 und 36 Jahren, an dem Experiment teil.

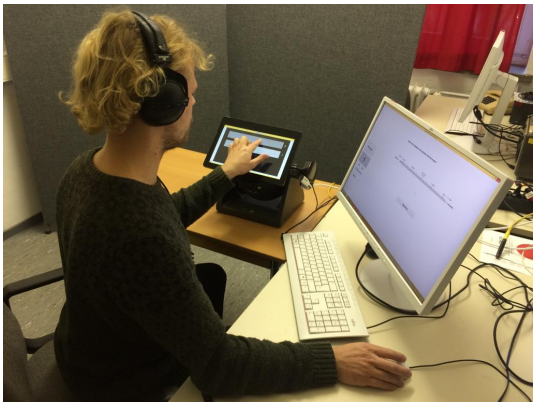

Abbildung 3: Der Testaufbau und das Bewertungsverfahren sind in der Abbildung dargestellt.

Das Bewertungsverfahren besteht aus zwei aufeinander folgenden Schritten: der Überprüfung der Stimuli und des Bewertungsprozesses. Wenn die Probanden die Stimuli auf dem Computerbildschirm aktivierten, wurden die Stimuli einzeln auf dem Touch-Display zur Inspektion angezeigt. Das Abspielen der Stimuli konnte beliebig oft wiederholt werden. Anschließend bewerteten die Versuchsteilnehmer die empfundene Übereinstimmung des präsentierten vibrotaktilen Stimulus und der dargestellten Textur mit verbalen Bezeichnungen nach der Rohrmann-Skalierungsmethode [10]. Die verbalen Bezeichnungen "überhaupt nicht", "wenig", mittel", sehr viel" und "vollständig" wurden äquidistant auf einer kontinuierlichen Intervallskala von 0 bis 100 an der Experimentschnittstelle positioniert.

Der Bewertungsprozess besteht aus zwei Phasen: einem

Training und einem Haupttest. Vor Beginn des Haupttests wurden die Probanden mit dem Bewertungsverfahren und den Arten der Reize vertraut gemacht. Die Ergebnisse der Trainingseinheit fanden bei der Auswertung des Experiments keine Berücksichtigung. Die Hauptsitzung zielte darauf ab, subjektive Bewertungsdaten aller Kombinationen von taktilen Reizen, auditorischen Reizen und Texturen zu sammeln. Alle Teilnehmer haben den Versuch einschließlich des Trainings in weniger als 15 Minuten absolviert.

Ergebnisse

Während des Versuchs wurden vibrotaktile Reize durch Probanden beurteilt. Die Ähnlichkeitsbewertungen jedes Stimulus waren normalverteilt. Zu Beginn der Analyse der Stimuli wurden Ähnlichkeitsbewertungen der Texturschwingungen für jede Textur aufgezeichnet, wie in Abb. 4 gezeigt. Da es keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den taktilen Stimuli gibt, wurde eine univariante ANOVA durchgeführt, um die vibrotaktile Reize aller Textur miteinander zu vergleichen. Diese Tests wurden für 33 Werte (3 Arten von vibrotaktilen Stimuli bei 11 Probanden) durchgeführt, wobei die Ähnlichkeitsbewertungen als abhängiger Wert verwendet wurden. Außerdem wurde eine zweifaktorielle ANOVA durchgeführt, um den Effekt der visuellen Rauheitsinformation für 66 Werte zu analysieren. In diesen Tests konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werde, was im Widerspruch zu einer früheren Studie steht.

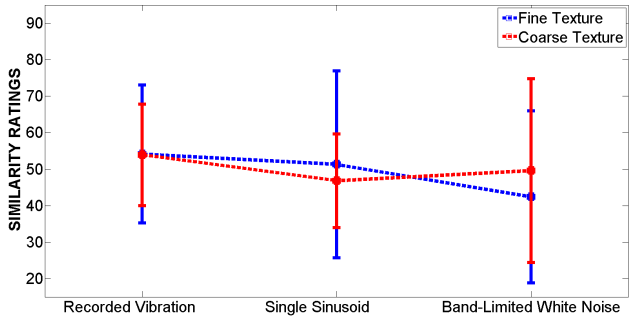

Abbildung 4: Die Ähnlichkeitsbewertungen von drei Texturschwingungen werden wie oben geschlossen.

Diskussion

In dieser Studie wurde die Eignung mehrerer Texturschwingungen anhand der Texturbilder unter bimodalen Bedingungen bewertet. In Anbetracht der früheren Studie [9], in der die Eignung des vibrotaktilen Feedbacks anhand von haptisch untersuchten realen Texturen getestet wurde, können zwei verschiedene Eignungsbeurteilungsverfahren verglichen werden. Als Benutzer aufgefordert wurden, das vibrotaktile Feedback anhand der visuellen Hinweise zu beurteilen, wurden die Unterschiede zwischen den Bewertungen des vibrotaktilen Feedbacks nicht so groß wie in der vorherigen Studie. Die Annahme das Tast und Sehsinn für die Bewertung von Texturen gleichwichtig sind, [8], konnte nicht bestätigt werden. Dies ist wahrscheinlich entweder auf unzureichende Hinweise zurückzuführen, die aus den Texturbildern erhalten werden, oder auf eine unzureichende Vorstellung von der Oberflächeninformation. Da die Bilder in guter Qualität präsentiert wurden, ist die zweite Möglichkeit die wahrscheinlichere Erklärung für das Problem. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die visuelle Bewertung der räumlichen Dichte der Textur [8] nicht mit der Bewertung der Eignung von Texturschwingungen auf der Grundlage visueller Hinweise vergleichbar ist. Daher kann das Erhalten nur einfacher Informationen aus einem Texturbild in einen praktischen Vorteil umgewandelt werden, dass virtuelle Texturen ohne physikalisch genaue Darstellung auf Touch-Displays gerendert werden können.

Darüber hinaus wurden die Bewertungen der vibrotaktilen Rückkopplung, die durch Simulation der Rauheitsdimension erstellt wurden, um 50% gruppiert. Die Wahrnehmung der taktilen Textur besteht jedoch aus mehreren taktilen Dimensionen wie Rauheit, Härte, Reibung und Temperatur. Und so kam es, dass die maximalen Ähnlichkeitswerte sind auf 50-65% begrenzt.

Literatur

[1] Rothenberg, M., Verrillo, R.T., Zahorian, S.A., Brachman, M.L. and Bolanowski Jr, S.J., 1977. Vibrotactile frequency for encoding a speech parameter. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(4), pp.1003-1012.

[2] Binns, H., 1937. Visual and tactual judgement as illustrated in a practical experiment. *British Journal of Psychology*, 27(4), p.404.

[3] Björkman, M., 1967. Relations Between Intra-Modal And Cross-Modal Matching. *Scandinavian Journal of Psychology*, 8(1), pp.65-76.

[4] Lederman, S.J. and Abbott, S.G., 1981. Texture perception: studies of intersensory organization using a discrepancy paradigm, and visual versus tactual psychophysics. *Journal of Experimental Psychology*, 7(4), p.902.

[5] Heller, M.A., 1982. Visual and tactual texture perception: Intersensory cooperation. *Perception and psychophysics*, 31(4), pp.339-344.

[6] Heller, M.A., 1989. Texture perception in sighted and blind observers. *Perception and psychophysics*, 45(1), pp.49-54.

[7] Guest, S. and Spence, C., 2003. Tactile dominance in speeded discrimination of textures. *Experimental Brain Research*, 150(2), pp.201-207.

[8] Lederman, S.J., Thorne, G. and Jones, B., 1986. Perception of texture by vision and touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance.*

[9] Alma, U.A. and Altinsoy, E., 2019, July. Perceived Roughness of Band-Limited Noise, Single, and Multiple Sinusoids Compared to Recorded Vibration. In

2019 IEEE World Haptics Conference (WHC) (pp. 337-342). IEEE.

[10] Rohrmann, B., 2007. Verbal qualifiers for rating scales: Sociolinguistic considerations and psychometric data. *Project report*, p.68.