Taktile Wahrnehmung im Kontext multimodaler virtueller Umgebungen

R. Rosenkranz, E.M. Altinsoy, M. Stamm, S. Merchel

Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, Email: Robert.Rosenkranz@tu-dresden.de

Einleitung

Häufig werden in der Produktentwicklung Qualitätsuntersuchungen unter Laborbedingungen unimodal durchgeführt. Der Mensch nimmt seine Umgebung jedoch multimodal wahr, so dass sich die Frage stellt, ob sich überhaupt Erkenntnisse für reale Situationen ableiten lassen. Wenn man Evaluationsuntersuchungen mit Kontextuierung durch weitere Modalitäten durchführt, lassen sich für den späteren Anwendungsfall aussagekräftigere Ergebnisse erzielen [1]. Über den Einsatz von Ganzkörperschwingungen zur Kontextuierung in virtuellen Umgebungen ist bisher wenig bekannt. Deswegen wurde die Problemstellung am Beispiel einer der typischsten, alltäglichen Situationen in denen Ganzkörperschwingungen auftreten — Fahrzeugsituationen — untersucht. Dabei stellen sich die folgende Fragen: Ist die Wiedergabe von Vibrationen für die Darbietung von Fahrzeugszenen in virtuellen Umgebungen relevant? Welche Signalanteile der Vibrationen sind relevant? Sind diese Signalanteile szenenabhängig?

Plausibilität

Prinzipiell bieten sich zwei Möglichkeiten zur Kontextuierung an [2]. Zum einen könnten die Ganzkörperschwingungen authentisch dargeboten, d.h. die konkrete Situation physikalisch exakt in die virtuelle Umgebung übertragen. Dies ist technisch sehr komplex, besonders wenn die Darbietung interaktiv erfolgen soll. Aus diesem Grund wird stattdessen versucht eine plausible Darbietung umzusetzen. Solange die taktile Modalität nicht selbst Untersuchungsgegenstand in der virtuellen Umgebung ist, reicht es aus den Eindruck zu Erwecken, dass in der virtuellen Umgebung auftretende Ereignisse ihre Entsprechung in einer vergleichbaren realen Umgebung haben. Dies ist wesentlich einfacher, da nur die für die jeweilige Anwendung relevanten Informationen dargeboten werden müssen. Die relevanten Signalteile der Ganzkörperschwingungen können durch Filterung von aufgenommenen Vibrationssignalen gefunden werden.

Aufnahme von Fahrzeugszenen

Als Ausgangspunkt der Abstraktion wurden deswegen zunächst verschiedene Fahrzeugszenen mit einem triaxialen Sitzkissenbeschleunigungssensor, zwei Messmikrofonen und einer Kamera aufgenommen. Die Beschleunigungsspektren von 2 Szenen sind in Abbildung 1 zu sehen. Insgesamt wurden vier verschiedene Szenen bei verschiedenen Straßenbelägen und Betriebszuständen unter Einsatz eines Mittelklassefahrzeugs ausgewählt: Konstantfahrt auf Asphalt bei 80 km/h, Konstantfahrt auf Kopfsteinpflaster bei 30 km/h, Beschleunigung aus dem Stand und Beschleunigung aus 100 km/h. Die Länge der Szenen beträgt circa 6 bis 11 s.

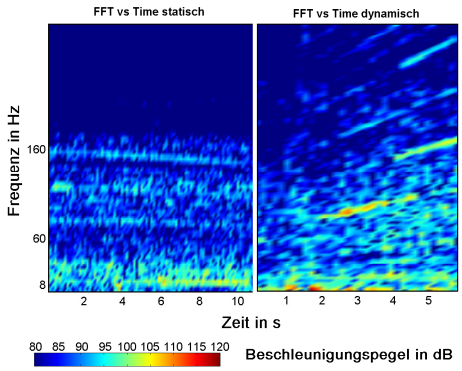

Abbildung 1: Beschleunigungsspektren Asphalt bei 80 km/h (li.) und Beschleunigung aus 100 km/h (re.)

Abstraktion der Stimuli durch Filterung

Zur schrittweisen Abstraktion wurden die Vibrationssignale gefiltert. Damit der wahrgenommene Unterschied zwischen zwei Signalvariationen nicht auf bereits bekannte, reine taktile Wahrnehmungseffekte zurückzuführen ist, wurden keine Signalanteile herausgefiltert, die unterhalb der Fühlschwellen [3] lagen, oder verdeckt wurden [5]. Als Ausgangspunkt für die Schrittweite der Grenzfrequenzen der Filter wurde die JNDF [4] gewählt. Es wurden 6 Variationen für alle 4 Szenen generiert: Die aufgenommenen Vibrationen (Original), keine Vibrationen sowie mit Hochpass (HP) 8 Hz, Tiefpass (TP) 8 Hz, HP 60 Hz und TP 60 Hz gefilterte Vibrationen. In einem Vorexperiment wurde die Unterscheidbarkeit der Variationen nochmals sichergestellt.

Durchführung des Experiments

Die multimodalen Szenen wurden im Multimodalen Messlabor des Lehrstuhls für Kommunikationsakustik [6] präsentiert, siehe (Abbildung 2). Vibrationen von 4 bis 12 Hz wurden triaxial über die Stewart-Plattform und Vibrationen von 12 bis 200 Hz über einen entzerrten elektro-dynamischen Shaker vertikal dargeboten. Die Wiedergabe von akustischen Stimuli erfolgte als fokussierte Quellen über Wellenfeldsynthese und die Wiedergabe von optischen Stimuli über einen HD-Beamer. Die Szenen wurden randomisiert dargeboten und zwecks Überprüfung der Berwertungskonsistenz einmal wiederholt. Am Experiment nahmen 17 Versuchspersonen teil (10 männlich, 7 weiblich, Ø-Alter 30 Jahre). Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Plausibilität jeder Szene auf einer quasikontinuierlichen Rohrmannskala von nicht bis sehr plausibel zu bewerten.

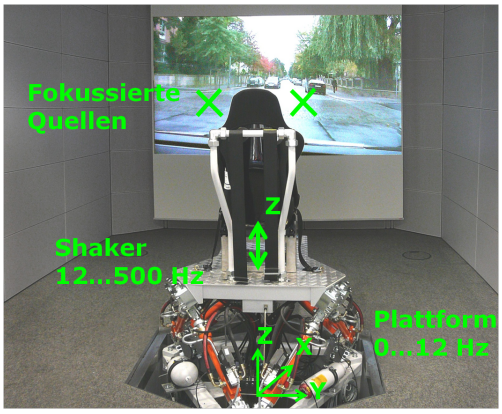

Abbildung 2: Experimentalaufbau im Multimodalen Messlabor, der zur Darbietung der Szenen genutzt wurde.

Auswertung und Diskussion

In Abbildung 3 bzw. 4 sind die Plausibilitätsbewertungen in Abhängigkeit der in den Szenen dargebotenen Vibrationen dargestellt. Die in den Vibrationen enthaltenen Frequenzbereiche sind schematisch unterhalb der x-Achse dargestellt. Es lässt sich bei allen Szenen erkennen, dass die Probanden die Szenen plausibler beurteilt, wenn Vibrationen zusätzlich zu akustisch-optischen Stimuli dargeboten werden. Die Vibrationen können stark abstrahiert werden, ohne dass die Plausibilität sinkt (TP 8 Hz). Vor allem die Frequenzbereiche von 4 bis 8 Hz bzw. von 8 bis 60 Hz scheinen für die Plausibilität die größte Bedeutung zu haben. Wenn diese fehlen, sinkt die Plausibilität stark (HP 60 Hz). Die Intra-individuelle Abweichung zwischen den Wiederholungen beträgt im Mittel nur 15% der Skala, d.h. die Bewertungen sind konsistent.

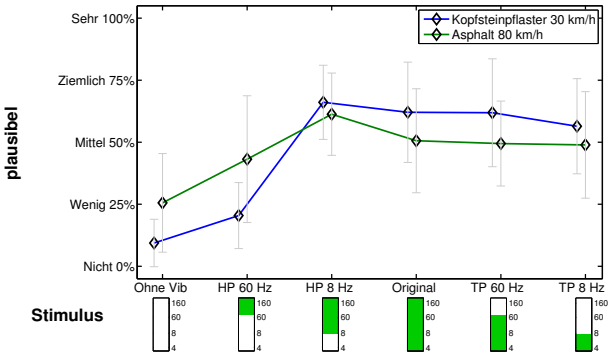

Abbildung 3: Plausibilität in Abhängigkeit der dargebotenen Vibrationen für verschiedene Straßenbeläge.

Beim Vergleich der Szenen auf unterschiedlichem Straßenbelag (Abbildung 3) zeigte sich ein Einfluss auf die Plausibilität. Die Begründung dafür liegt wahrscheinlich in der durch den Straßenbelag hervorgerufene Erwartungshaltung. Wenn keine Vibrationen bei auditiv als rauer wahrgenommenen Straßen (Kopfsteinpflaster) dargebotenen werden, widerspricht dies stärker den Erwartungen und die Plausibilität ist damit geringer. Wenn jedoch die erwarteten Vibrationen dargeboten werden, dann steigt die Plausibilität besonders stark. Auffällig ist, dass die Plausibilität der Szene auf Asphalt mit HP 8 Hz gefilterten Vibrationen signifikant ($p<0.05$) höher ist im Vergleich zu der selben Szene mit ungefilterten Vibrationen. Möglicherweise liegt die Begründung hierfür in einem geringeren Widerspruch zu den visuell kaum wahrnehmbaren Straßenunebenheiten, die große tieffrequente Auslenkungen verursachen, welche bei den Szenen mit HP 8 Hz gefilterten Vibrationen fehlen.

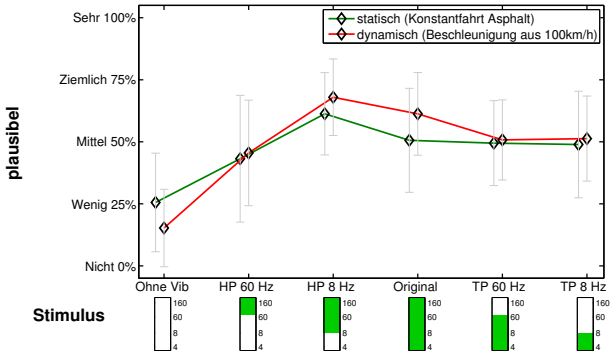

Abbildung 4: Plausibilität in Abhängigkeit der dargebotenen Vibrationen für verschiedene Fahrzustände.

Die Fahrsituation hat ebenfalls einen geringfügigen Einfluss auf die Plausibilität der Fahrzeugszene (Abbildung 4). Bei dynamischen Fahrsituation zeigen sich sich starke, hochfrequente, zeitlich veränderliche Vibrationen (Abbildung 1). Wenn diese dargeboten werden (Original, HP 8 Hz), führt dies im Vergleich zur Konstantfahrtsituation zu einer signifikante Verbesserung der wahrgenommenen Plausibilität.

Ausblick

Ausgehend von der vorliegenden Arbeit, sollte nun für die relevanten Frequenzbereiche eine synthetische Generierung versucht werden. Diese ist vor allem im Hinblick auf die interaktive Darbietung von Fahrzeugszenen interessant.

Literatur

[1] Genuit, K.: Vehicle Interior Noise—Combination of Sound, Vibration and Interactivity, Sound and Vibration December 2009, 08-12

[2] Blauert, J.: Communication Acoustics. Springer Verlag, Berlin, 2005

[3] Altinsoy, E.; Stamm, M.; Merchel, S.: Frequenzwahrnehmung von Ganzkoerperschwingungen im Vergleich zur auditiven Wahrnehmung II, DAGA 2010

[4] Merchel, S.; Altinsoy, M.E.; Stamm, M.: Just-Noticeable Frequency Differences for Whole-Body Vibrations, Internoise 2011

[5] Stamm, M.; Altinsoy, M.E.; Merchel, S.: Frequenzwahrnehmung von Ganzkoerperschwingungen im Vergleich zur auditiven Wahrnehmung I, DAGA 2010

[6] Altinsoy, M.E.; Jekosch, U.; Landgraf, J.; Merchel, S.: Progress in Auditory Perception Research Laboratories—Multimodal Measurement Laboratory of Dresden University of Technology, AES 2010