

# Taxonomie und Optimierungsmethode für Systeme zur Generierung von auditiven virtuellen Umgebungen

Andreas Silzle

Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum, andreas.silzle@ruhr-uni-bochum.de

## Einleitung

Ziel einer auditiven virtuellen Umgebung ist es, beim Zuhörer diejenigen auditiven Wahrnehmungen zu erzeugen, die nicht seiner wirklichen Umgebung, sondern derjenigen einer virtuellen Umgebung entsprechen, [1]. Es gibt drei unterschiedliche Ansätze eine auditive virtuelle Umgebung zu entwerfen: 1. Der *authentische* Ansatz zielt darauf ab, eine auditive Wahrnehmung beim Zuhörer zu erzeugen, die dieser nicht von der entsprechenden wirklichen Umgebung unterscheiden kann. 2. Beim *plausiblen* Ansatz sollen auditive Wahrnehmungen erzeugt werden, die der Zuhörer für Wahrnehmungen aus einer wirklichen Umgebung hält. Man beschränkt sich dabei auf die Merkmale, die für die entsprechende Applikation relevant sind. 3. Mit dem kreativen Ansatz sollen auditive Wahrnehmungen erzeugt werden, die weder authentisch noch plausible erscheinen, z.B. für die Anwendung in Computerspielen, [2].

## IKA-SIM

Die am Institut für Kommunikationsakustik entwickelte Software IKA-SIM verfolgt den Ansatz einer plausiblen Wiedergabe. Es kann dadurch eine Vereinfachung des implementierten Modells und eine drastische Reduzierung der benötigten Rechenzeit erreicht werden. Dadurch ist es möglich, eine Echtzeitimplementierung auf einem Standard-PC ohne spezielle Hardware-Unterstützung (DSP) zu erreichen. Die Echtzeitfähigkeit ist Voraussetzung für eine interaktive virtuelle Umgebung. Erst in einer solchen interaktiven virtuellen Umgebung kann der Hörer Schallquellen selbst bewegen oder seine eigene Bewegung natürlich wahrnehmen. Er kann z.B. seinen Kopf bei Kopfhörerwiedergabe drehen, ohne dass sich der ganze simulierte Raum mitbewegt. Eine umfassende Einführung und Beschreibung zu IKA-SIM wird in [3] gegeben.

## Qualitätselement und Qualitätsmerkmal

Zur Optimierung und Qualitätsbeurteilung eines Systems müssen die Ziele benannt sein, die erreicht werden sollen. Diese werden mit Hilfe von *Qualitätsmerkmalen* beschrieben. Es müssen Meßmethoden definiert werden, die den Grad der Erfüllung dieser Ziele beschreiben. Und es sollte eine möglichst umfassende Beschreibung aller Parameter geben, die einen Einfluss auf diese Qualitätsmerkmale haben. Diese werden als *Qualitätselemente* bezeichnet.

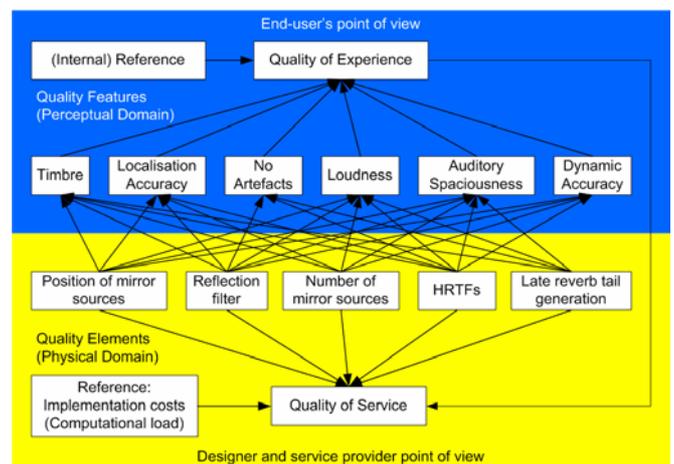
Die Hauptziele für die hier beschriebene Software zur Erzeugung einer auditiven virtuellen Umgebung (AVE) sind:

1. Plausible 3D Audio-Wiedergabe
2. Interaktivität
3. Niedrige Implementierungskosten (Prozessorbelastung)

Die beiden ersten Ziele sind diejenigen des Benutzers einer solchen Software. Neben der Benutzerzufriedenheit ist der Designer oder Betreiber am dritten Ziel interessiert und nur wenn dieses erfüllt wird, wird es einen erfolgreichen kommerziellen Einsatz eines solchen Systems geben.

Mindestens die folgenden Qualitätsmerkmale, die sich in der Wahrnehmungsebene befinden, müssen zur Erfüllung von Ziel 1 und 2 beachtet werden, [4]: Klangfarbe, Präzision der Lokalisation, Artefaktfreiheit, Lautheit, Räumlichkeit, Dynamische Präzision (Ansprechempfindlichkeit, Überganglosigkeit der Bewegung). Die Wichtigkeit dieser einzelnen Merkmale ist von der konkreten Applikation des AVE-Generators abhängig. Die meisten Merkmale werden in mehreren Einzelfacetten wahrgenommen, d.h. sie sind mehrdimensional.

Die Qualitätselemente, die sich in der physikalischen bzw. algorithmischen Ebene befinden und die diese Qualitätsmerkmale beeinflussen, sind stark abhängig von der konkreten Implementierung. Für die bestehende Implementierung von IKA-SIM sind dies: die Außenohrübertragungsfunktionen, die Ordnung und Anzahl der Spiegelschallquellen, die Position der Spiegelschallquellen (u.U. nach einer Selektion), die Absorptionsfilter und die späte Nachhallerzeugung. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den Qualitätselementen und Qualitätsmerkmalen und die sich daraus ergebende Taxonomie des Gesamtsystems.



**Abbildung 1:** Taxonomie für interaktive AVEs. Abgeleitet von [5] und [6] unter Benutzung der Qualitätsmerkmale aus [4].

Als Beispiel für diesen Zusammenhang sei das Qualitätselement Außenohrübertragungsfunktionen (HRTF), bestimmt u.a. durch ihre Messung, die implementierte Länge, die räumliche Quantisierung und die zeitliche Überblendung genannt. Sie hat einen signifikanten Einfluss auf alle Qualitätsmerkmale. Sie bestimmt aber nicht alleine die Klangfarbe der AVE. Diese wird auch von allen anderen Qualitätselementen beeinflusst.

menten beeinflusst. D.h. die Qualitätsmerkmale lassen sich nicht unabhängig voneinander „einstellen“. Es ist ein multivariater Prozess.

Hinzu kommt, dass der Zusammenhang zwischen den Qualitätselementen und den Qualitätsmerkmalen i.A. nichtlinear ist. Als Beispiel sei die Präzision der Lokalisation in Abhängigkeit von der implementierten Länge der Außenohrübertragungsfunktionen genannt. Sehr kurze Filterlängen erzeugen eine völlig ungenügende Lokalisation, in einem mittleren Bereich (1,3 bis 3 ms) besteht nun ein linearer Zusammenhang zwischen der Filterlänge und der Verbesserung der Lokalisation, bei noch größeren Filterlängen tritt dann keine Verbesserung mehr ein, d.h. es erfolgt eine Sättigung. Dieser Zusammenhang ist weiterhin abhängig von der Ordnung der Spiegelschallquellen. Für Spiegelschallquellen höherer Ordnungen sind kürzere Filter ausreichend, [7]. Die implementierte Länge der Außenohrübertragungsfunktionen ist entscheidend für die Prozessorbelastung durch das System, [3].

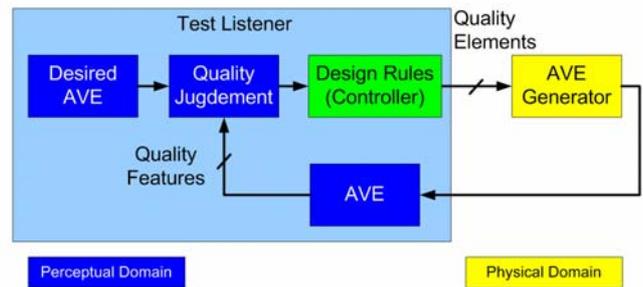
Die Qualitätsbestimmung vom Testhörer hängt nicht allein von den Qualitätsmerkmalen ab, die durch die Qualitätselemente bestimmt werden. Der Hörer beurteilt alle Wahrnehmungen bzgl. interner Referenzen, die u.a. von seinen Erfahrungen und seinen Intentionen zur Benutzung des Systems abhängen, [6]. Bei der Qualitätsbeurteilung und Optimierung einer AVE muss diese interne Referenz beachtet werden und durch genaue Instruktionen und Training einander angeglichen werden, wenn mehrere Personen die Beurteilung vornehmen.

Der Designer bzw. Betreiber eines solchen Systems ist auf die gleiche Weise wie der Endbenutzer selbst an dessen Zufriedenheit interessiert, des weiteren möchte er eine möglichst Kosten sparende, d.h. einfache, und den Prozessor wenig belastenden Implementierung. Im Telekommunikationsbereich, aus dem die Taxonomie abgeleitet ist, wird dies als „Quality of Service“ bezeichnet, [5]. Er möchte die Qualität für den Benutzer („Quality of Experience“) maximieren, bei minimalem Einsatz für die Implementierung und den Betrieb des Systems. Wie oben aufgezeigt ist dies eine Optimierungsaufgabe für ein mehrdimensionales, nichtlineares und multivariates System. Deswegen wird die folgende Optimierungsmethode vorgeschlagen.

## Optimierungsmethode

Da sich die qualitätsbestimmenden Merkmale in der Wahrnehmungsebene befinden und es keine Modelle für die Beurteilung des angestrebten Systems gibt, kann nur mit Versuchspersonen eine Qualitätsbeurteilung erfolgen. Eine geschulte Versuchsperson kann alle Qualitätsmerkmale fast gleichzeitig im Auge bzw. Ohr behalten und mit externen oder internen Referenzen vergleichen und beurteilen. Wenn nun alle wichtigen Qualitätselemente eines solchen Systems zur Erzeugung einer auditiven virtuellen Umgebung in Echtzeit zur Variation zur Verfügung stehen, dann kann die Versuchsperson sehr schnell unterschiedliche Parameter ändern und hört sofort deren Auswirkungen. Dadurch besteht die Möglichkeit, die starke gegenseitige Abhängigkeit der Qualitätsmerkmale von den Qualitätselementen ausreichend zu berücksichtigen. Zusätzlich ist der Optimierungsvorgang

durch einen geschlossenen Regelkreis dargestellt, der die Notwendigkeit eines in Echtzeit einstellbaren Systems unterstreicht und die Versuchsperson als diejenige definiert, die sowohl Mess-, Vergleichs- als auch Korrekturereinrichtung ist.



**Abbildung 2:** Echtzeit-Optimierungsmethode für interaktive AVEs. Basierung auf [6].

Ein Teilaspekt der AVE-Optimierung, die Selektion und Optimierung von Außenohrübertragungsfunktionen ist bereits erfolgreich mit der genannten Methode durchgeführt worden. Der Hörtest ergab eine signifikante Verbesserung bzgl. der Qualitätsmerkmale gegenüber den mit anderen Verfahren gefundenen Lösungen, siehe [8].

## Zusammenfassung

Am Beispiel der interaktiven auditiven virtuellen Umgebung IKA-SIM wurden die für eine plausible Wiedergabe wichtigen Qualitätsmerkmale in der Wahrnehmungsebene benannt und ihr nichtlinearer, multivariater Zusammenhang mit den Qualitätselementen in der physikalischen Ebene gezeigt. Als Optimierungsmethode wurde die Benutzung eines Systems mit in Echtzeit einstellbaren Parametern durch geschulte Testpersonen vorgeschlagen.

## Literatur

- [1] Blauert, J., *Spatial Hearing, The Psychophysics of Human Sound Localization*. 1997, MIT Press.
- [2] Novo, P., *Auditory Virtual Environments*, in *Communication Acoustics*, J. Blauert, Editor. 2005, Springer Verlag.
- [3] Silzle, A., Novo, P., Strauss, H. *IKA-SIM: A System to Generate Auditory Virtual Environments*. 116th AES Convention. 2004. Berlin, Germany.
- [4] Pellegrini, R.S., *A Virtual Reference Listening Room as an Application of Auditory Virtual Environments*. Ph.D. in Institute of Communication Acoustics. 2002, Bochum, Ruhr-Universität Bochum.
- [5] Möller, S., *Quality of Transmitted Speech for Humans and Machines*, in *Communication Acoustics*, J. Blauert, Editor. 2005, Springer Verlag.
- [6] Jekosch, U., *Basic Concepts and Terms of "Quality", Reconsidered in the Context of Product-Sound Quality*. Acta Acustica united with Acustica, 2004. **90**(6), p. 999-1006.
- [7] Lehnert, H., Richter, M. *Auditory Virtual Environment: Simplified Treatment of Reflections*. 15th International Congress on Acoustics (ICA). 1995. Trondheim, Norway.
- [8] Silzle, A. *Selection and Tuning of HRTFs*. 112th AES Convention. 2002. Munich, Germany.

Der Autor bedankt sich bei Prof. Jens Blauert und Sebastian Möller für die Anregungen und Diskussionen zum vorgetragenen Thema.