

Echtzeitfähige Raumakustiksimulation gekoppelter Räume: akustisches Portal Rendering

Dirk Schröder

Institut für Technische Akustik, 52056 Aachen, Deutschland, Email: dschroeder@akustik.rwth-aachen.de

Einleitung

Virtuelle Realität (VR) bezeichnet die Darstellung einer echtzeitfähigen, computergenerierten, interaktiven virtuellen Umgebung und findet Anwendung in einer Vielzahl von Applikationen, z.B. virtuelles Prototyping und Evaluierung eines Konzert- oder Theatersaals (siehe Abb. 1). Die echtzeitfähige, raumakustisch gesehen hochwertige und vor allem interaktive Simulation der auditiven Komponente stellt eine grundlegende Anforderung an das VR-System dar um die Glaubwürdigkeit [1] und damit das Immersionsgefühl eines Benutzers in die virtuelle Welt zu intensivieren. Dies beinhaltet sowohl zur Laufzeit bewegbare Primärquellen, wie auch uneingeschränkte Interaktionsmöglichkeiten mit der virtuellen Umgebung, z.B. das Öffnen einer Tür, und die echtzeitfähige Simulation der daraus resultierenden Änderung modaler Raumstrukturen.

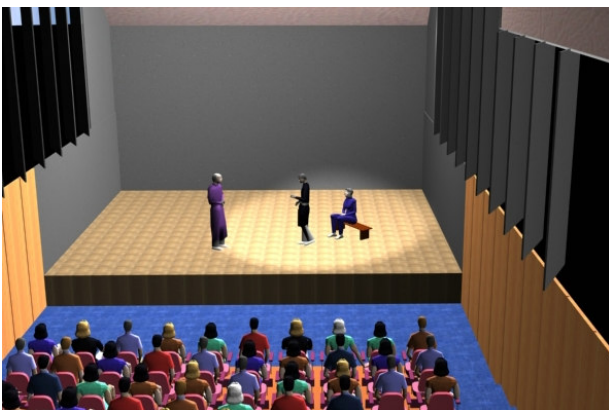


Abbildung 1: Virtueller Theatersaal

Im Allgemeinen sind raumakustische Simulationsverfahren auf die Verarbeitung eines Einzelraums ausgerichtet und benötigen daher für die Auralisation komplexer virtueller Umgebungen, z.B. eines gesamten Gebäudekomplexes, die ganzheitliche Raumgeometrie, selbst wenn Teile der Szene für die momentane Position des Benutzers akustisch gesehen nicht von Interesse sind. Die hohe Anzahl der zu verarbeitenden Raumprimitive, d.h. Polygone, führt zu sehr hohen Simulationszeiten, die die Anforderungen der Echtzeit nicht mehr erfüllen können.

Dies führte zu der Erweiterung des auf der DAGA'05 vorgestellten echtzeitfähigen Spiegelschallquellen (SSQ)-Verfahrens [2]. Dabei wird die virtuelle Szene in autonom-operierende Teilszenen, z.B. Räume, partitioniert, die über Portale, z.B. Türen, miteinander verknüpft werden. Durch eine anschließende raumabhängige Sortierung generierter Spiegelschallquellen sowie der effiziente Traversierung der Teilszenen wird die interaktive Echtzeit-Auralisierung auch von komplexen virtuellen Umgebungen mit diesem erweiterten Verfahren ermöglicht.

Partitionierung der virtuellen Szene

Für die effiziente Verwaltung einer beliebigen Anzahl an Räumen wurde für den bestehenden Algorithmus das Konzept des Szenengraphen [3] adaptiert.

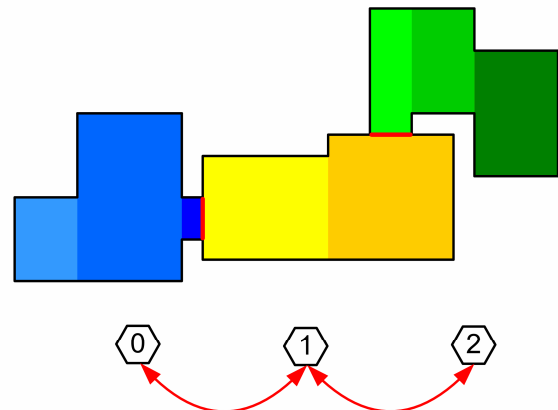


Abbildung 2: Die Szene wurde in drei Räume unterteilt, welche durch Knoten (gekennzeichnet durch Hexagone) des Szenengraphen repräsentiert werden. Die Räume sind mit ihren Nachbarn über zwei Portale verknüpft (Raum0/Raum1 und Raum1/Raum2).

Ein Szenengraph ist eine Menge von Knoten, die bezüglich ihrer Nachbarschaftsbeziehungen miteinander verbunden werden. Jeder Knoten beinhaltet die logische und räumliche Darstellung des entsprechenden Raums und wird mit seinen Nachbarräumen über so genannte Portale, z.B. Türen oder Fenster, beliebig verknüpft (siehe Abb. 2). Jedes Portal kann genau einen von zwei Zuständen einnehmen. Der Zustand ‚aktiv‘ verbindet die entsprechenden beiden Räume miteinander, während der Zustand ‚passiv‘ ihre Verbindung unterbricht. Zur Laufzeit können die Zustände der einzelnen Portale beliebig variiert werden, d.h. Raumnachbarschaften können während der Simulation geändert werden, z.B. durch das Öffnen und Schließen von Türen oder Fenstern, wodurch ein hohes Maß an Interaktivität für die Echtzeit-Auralisation erreicht wird.

Akustisches Portal Rendering

Die raumakustische Simulation der gesamtheitlichen Raumgeometrie mittels des SSQ-Verfahrens würde zu einer sehr hohen Anzahl an zu verarbeitenden SSQ führen, was eine echtzeitfähige Auralisation unmöglich macht. Die Datenstruktur des Szenengraphen erlaubt die Bestimmung von raumabhängigen SSQ-Teilmengen, die in einem vorverarbeitenden Schritt entsprechend der jeweiligen SSQ-Raumherkunft bestimmt werden. Zusätzlich wird die Potenzmenge $P(S)$ gebildet, wobei S eine Menge von n Räumen ist. Die Potenzmenge von S besitzt 2^n Elemente

und jede dieser Teilmenge referenziert auf eine n -bit lange Zahl, deren m -tes bit kennzeichnet, ob der m -te Raum aktiv ($m=1$) oder inaktiv ($m=0$) ist. Durch Verknüpfung der SSQ-Teilmenge mit den entsprechenden Teilmenge der Potenzmenge $P(S)$ wird, abhängig von den Portalzuständen und der momentanen Empfängerposition, ein gezieltes Ein- und Ausschalten potentiell hörbarer bzw. redundanter SSQ ermöglicht.

ID	R2	R1	R0	SSQ Untermenge
7	1	1	1	R2 R1 R0
6	1	1	0	R2 R1
5	1	0	1	R2 R0
4	1	0	0	R2
3	0	1	1	R1 R0
2	0	1	0	R1
1	0	0	1	R0
0	0	0	0	Primärquelle

Abbildung 3: Potenzmenge $P(S)$ für eine Drei-Raum-Situation. Alle SSQ werden entsprechend ihrer Raumherkunft in gekapselte Teilmenge einsortiert.

Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Potenzmenge P einer Szene S , bestehend aus den Räumen $R1$, $R2$ und $R3$, sowie deren Verknüpfung mit den entsprechenden SSQ-Teilmenge. Während der Echtzeit-Auralisation werden nun die von der momentanen Empfängerposition aus erreichbaren Räumen mittels einer Abfrage des Szenengraphen bestimmt und die entsprechenden SSQ-Teilmenge aktiviert, was zu einer signifikanten Reduktion an zu verarbeitenden Spiegelschallquellen führt. Wird zum Beispiel der Raum $R2$ ungültig, da z.B. die Tür zwischen Raum $R1$ und $R2$ geschlossen wurde, so müssen nur noch SSQ-Teilmenge zur Laufzeit verarbeitet werden, die nicht den Raumindex $R2$ enthalten. Dies reduziert die Summe der in diesem Beispiel zu testenden SSQ-Teilmenge von 8 auf 4, d.h. es sind nur noch die Potenzteilmenge $P(0)$, $P(1)$, $P(2)$, $P(3)$ für die Auralisation relevant.

Performanz & Ergebnis

Die Leistungsfähigkeit des bestehenden Algorithmus wird durch die Erweiterung nur geringfügig beeinflusst. Auf dem bestehenden Testsystem (AMD Athlon XP 3000+, 1 GB SD-RAM) können weiterhin 250 000 SSQ in Echtzeit (800 ms, inklusive SSQ-Translation, SSQ-Hörbarkeitstest und Filterbau) verarbeitet werden ohne dabei die Simulation in ihren Freiheitsgraden einzuschränken.

Die Testszene besteht aus drei Räumen mit insgesamt 44 und 48 Polygonen für das bestehende bzw. das erweiterte Verfahren. Portale bestehen jeweils aus zwei Polygonen, da sie als reflektierende Wand, d.h. wie eines der übrigen Polygone, behandelt werden müssen um die Veränderung der Raumakustik korrekt zu simulieren. Innerhalb der Szene sind drei Primärquellen verteilt, die sich jeweils in einem der drei Räume befinden (siehe Abb. 4).

Dies führt zur Generierung von 78 393 Spiegelschallquellen im Vergleich zu 56 946 Spiegelschallquellen, die mit dem bestehenden Verfahren für die Simulation von Reflexionen bis max. dritter Ordnung benötigt werden.

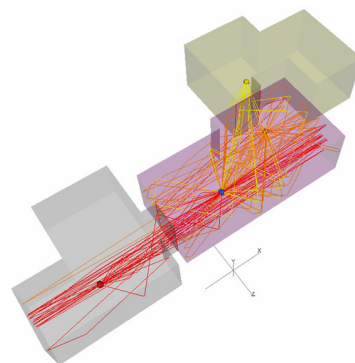


Abbildung 4: Resultierende Strahlengänge dreier Primärquellen, welche in drei verschiedenen Räumen verteilt sind. Diese drei Räume sind über zwei Portale miteinander verknüpft, die zur Laufzeit zwischen dem Zustand ‚aktiv‘ und ‚passiv‘ beliebig wechseln können.

Die Anzahl der zu verarbeitenden Spiegelschallquellen sinkt allerdings drastisch wenn Portale während der Echtzeit-Simulation geschlossen werden bzw. Räume inaktiv werden, wohingehend die Summe der Spiegelschallquellen mittels des alten Ansatzes unverändert bleibt (siehe Tab. 1).

Aktive Räume	Bestehendes Verfahren	Erweitertes Verfahren
R2, R1, R0	56 946 SSQ	78 393 SSQ
R1, R0	56 946 SSQ	16 581 SSQ
R1, R2	56 946 SSQ	22 863 SSQ
R1	56 946 SSQ	1 371 SSQ

Tabelle 1: Summe der zu verarbeitenden Spiegelschallquellen (drei Primärquellen) für einen in Raum 1 befindlichen Empfänger in Abhängigkeit von möglichen Portalzuständen.

Die Erweiterung des bestehenden SSQ-Verfahrens um das Konzept eines portal-verknüpften Szenengraphen ermöglicht eine interaktive raumakustischen Simulation, wobei die Rechenzeit durch das Ausnutzen von Portalinformationen reduziert werden kann. Anstatt alle Spiegelschallquellen auf Hörbarkeit zu untersuchen werden nur Teilmenge untersucht, da viele Räume, z.B. in Gebäudekomplexen, von der momentanen Hörerposition aus nicht erreichbar sind. Dies führt zu einer massiven Verringerung der benötigten Rechenzeit und ermöglicht die Echtzeit-Auralisation auch von komplexen virtuellen Umgebungen.

Literatur

- [1] SLATER, M., STEED, A., CHRYSANTHOU, Y., *Computer Graphics and Virtual Environments: From Realism to Real-Time*, Addison Wesley, 2001.
- [2] SCHRÖDER, D., LENTZ, T., *Echtzeit-Implementierung des Spiegelschallquellenverfahrens*, Fortschritte der Akustik, DAGA 2005, München, Deutschland, 2005.
- [3] AKENINE-MÖLLER, T., HAINES, E., *Real-time Rendering*, Second Edition, A.K. Peters Ltd., Natick, USA, 2002.