

A. Sontacchi / R. Höldrich

## **Kopfhörer und Lautsprecherkonzepte für eine virtuelle Akustik.**

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Im Folgenden werden Ansätze für eine virtuelle Akustik sowohl für Kopfhörer- als auch für Lautsprecherapplikationen vorgestellt. Der Ausgangspunkt dieser Konzepte bildet die Kodierung des Schallfeldes in sphärischen Harmonischen (Kugelharmonische, N-dimensionales orthogonales Vektoren Set). Die „Ambisonic Kodierung“ [1], bei der ausschließlich sphärische Harmonische 0. und 1.Ordnung verwendet werden, wird durch zusätzliche Signale, den höheren Ordnungen („Higher Order Ambisonics“ HOA), entsprechend erweitert. Dadurch vergrößert sich nicht nur der Bereich der optimalen Abhörposition, sondern es erfolgt auch eine Verbesserung der Lokalisation durch die erhöhte räumliche Abtastung des Schallfeldes. Bei der Wiedergabe mit Kopfhörer können, in Abhängigkeit von der Entfernung der Abhörposition zu den Quellen und der Orientierung („Blickrichtung“) bzgl. einer Referenzrichtung, die durch einen „Head Tracker“ System erfasst werden, die Pegel als auch die Positionen der virtuellen/realen Quellen entsprechend modifiziert werden. Bei der Wiedergabe mit einem geeigneten Lautsprecherarray können Quellen in unterschiedlichen Distanzen abgebildet werden. Auch hier wird die Anzahl der benötigten Übertragungskanäle durch entsprechende Kodierungsvorschriften minimiert. Diese Kodierungsform kann für den tieffrequenten Bereich als eine Art „Überführung des Ambisonic Ansatzes in den Wave Field Synthesis (WFS) Ansatz“ beschrieben werden. Die vorgestellten Konzepte basieren vorerst auf synthetischen Schallfelder, da entsprechende Mikrofonierungstechniken für reale Schallfelder noch nicht vorhanden bzw. ausgereift sind.

### **Wiedergabe mit Kopfhörer**

Damit man eine beliebige Schallquelle aus einer beliebigen bestimmten Richtung wahrnimmt, müssen bei der Wiedergabe mit Kopfhörer die beiden Signale, die jeweils dem linken und rechten Ohr angeboten werden, geeignet aufbereitet werden. Dazu werden im allgemeinen die Außenohrübertragungsfunktionen (Head Related Transfer Functions HRTF) verwendet. Sie berücksichtigen in Abhängigkeit von der Position der Quelle die interauralen frequenzabhängigen Zeit- und Pegelunterschiede sowie die Auswirkungen (frequenzabhängige Reflexionserscheinungen) von Pinna, Kopf und Torso. Zahlreiche Untersuchungen [2],[3], u.v.a. zeigen, dass sich die Richtungswahrnehmung in der Horizontalebene leichter standardisiert lässt als in der Vertikalebene. Somit können für 2D Systeme (Quellenabbildung über 360°) standardisierte HRTF's verwendet werden, die für bestimmte Schalleinfallswinkel vorliegen. Bei dem vorgeschlagen Wiedergabekonzept werden nur ein begrenzte Anzahl von Übertragungsfunktionen (Filter) verwendet. Durch die Transformation der Quellsignale in den Ambisonic – Domain ist es möglich zeit invariante Filter zu verwenden (d.h. Es ist keine Interpolation zwischen den Filter Sets notwendig). Durch geeignete Matrixoperationen an den erweiterten Ambisonic Signalen können Schallfelder nicht wie bisher nur gedreht, sondern auch die Entfernung zwischen Quelle und Abhörpunkt bei der Kodierung berücksichtigt werden. Dabei wird die Anzahl der zu übertragenden

Informationskanäle nicht erhöht. Somit können die Anforderungen einer recheneffizienten, echtzeitfähigen Anwendung erfüllt werden. Drehungen des Kopfes in eine Richtung können durch Drehung des Schallfeldes in die Gegenrichtung ersetzt werden. Da sich die Ambisonic Signale durch eine N-dimensionale orthogonale Kodierung der Raumrichtungen ergeben, können diese Drehungen des Schallfeldes durch Rotationsmatrizen realisiert werden. Die Berücksichtigung der Distanz zwischen Quelle und Hörer kann durch eine entsprechende Kodierung erfolgen. Die dabei zu Grunde liegenden Kodierungsvorschriften ergeben sich aus zwei physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Zum Einen nimmt, bei Annahme einer Quelle mit konstantem Pegel, die wahrgenommene Lautstärke durch eine Näherung an die Quelle zu (Entfernungshalbierung bei z.B. Kugelstrahler: Pegelzunahme von 3 dB) und zum Anderen wird der wahrgenommene Winkel zwischen Quelle, Hörer und einem Referenzpunkt bei Entfernungsabnahme gedehnt (Quelle vorne) bzw. gestaucht (Quelle hinten).

### Wiedergabe mit Lautsprecher

Bei der Wiedergabe mit Lautsprecher wird ebenso wie bei der Kopfhörerapplikation ein Hauptaugenmerk auf die Anzahl der notwendigen Übertragungskanäle gelegt und des Weiteren auch eine Unabhängigkeit der Kodierungsvorschriften von der vorhandenen Lautsprecheranordnungen angestrebt. Dadurch ergibt sich eine mögliche Systemlösung bei der die vorteilhaften Eigenschaften des WFS und die des HOA Ansatzes kombiniert werden. Die Distanzkodierung wird basierend auf der Krümmung des eintreffenden Schallfeldes vorgenommen. Das resultierende System kann als Abfolge zweier Prozeduren aufgefasst werden. In der ersten Prozedur erfolgt für jede abzubildende Quelle, in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zum idealen Abhörpunkt, eine Transformation (s. Abb.1, Part1) mit Hilfe des WSF Ansatzes (abgeleitet vom Huygen'schen Prinzip) auf einen virtuellen Lautsprecherarray (im 2D-Fall: Kreislinie mit beliebiger Anzahl von Lautsprecher). Durch diese Transformation kann die Entfernung gesteuert werden. Die dadurch erhaltenen virtuellen Lautsprechersignale werden anschließend in der zweiten Prozedur in den Ambisonic Domain kodiert und können nach erfolgter Modifikation in einer begrenzten Anzahl von Übertragungskanälen (unabhängig von Anzahl der Schallquellen und virtuellen Lautsprecher) gespeichert, übertragen oder durch eine Dekodiervorschrift (abhängig vom realen Lautsprecherlayout) über eine Lautsprecheranordnung wiedergegeben werden (s. Abb. 1, Part 2).

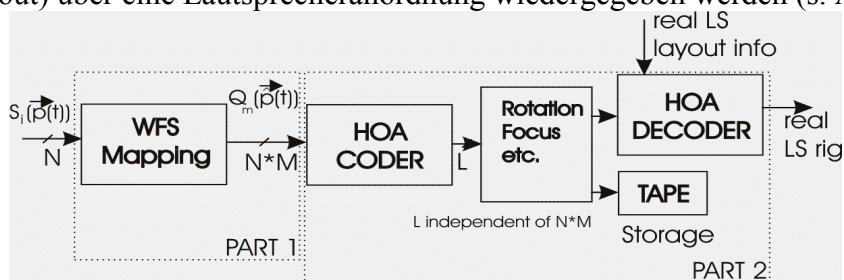


Abbildung 1: Systemdesign Blockschaltbild für die Wiedergabe mit Lautsprecher

#### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1]... Gerzon, M., „With-height Sound Reproduction“, J. Audio Eng. Soc., Vol. 21, No.1, Jan/Feb 1972, pp 2-10.
- [2]... Blauert, J., „Räumliches Hören“, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974.
- [3]... Gilkey, R.H. , Anderson, T.R., „Binaural and spatial hearing in real and virtual environments“, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, New Jersey, 1996.

#### Autorenangaben

Univ.Ass. DI Alois Sontacchi  
o.Univ. Prof. Mag. DI. Dr. Robert Höldrich  
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Inffeldgasse 10/3  
A-8010 Graz  
Tel.: ++43 / 316 / 873 - 4063  
Fax.: ++43 / 316 / 873 - 4051  
E-mail: alois.sontacchi@kug.ac.at