

Wiedergabe binauraler Signale mit virtuellem Kopfhörer basierend auf Wellenfeldsynthese und Headtracking

G. Theile¹, K. Laumann^{1,2}

¹ Institut für Rundfunktechnik GmbH, 80939 München, Deutschland

² AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80333 München, Deutschland

Email: theile@irt.de

Einleitung

Die virtuelle Darstellung von Lautsprechern ist eine praxisnahe Anwendung der virtuellen Akustik. Sie erlaubt im Prinzip völlige Unabhängigkeit von der Wahl der Lautsprecherkonfiguration. Diverse praktische Probleme bei der Installation einer Surround Sound Wiedergabeordnung in der Wohnung entfallen, und problemlos kann jede Kanalzuordnung berücksichtigt werden. Ein bekanntes Verfahren ist die Anwendung der Wellenfeldsynthese (WFS) [1].

Zur DAGA 2006 wurde das Verfahren „Binaural Sky“ vorgestellt [2]. Ein über dem Kopf des Hörers befestigtes kreisförmiges WFS-Array erzeugt an den Ohren fokussierte Quellen, welche in Kombination mit einer geeigneten „Crosstalk-Kompensation“ [3] als virtueller Kopfhörer wirken. Mittels Tracking der Kopfausrichtung wird erreicht, dass bei Kopfdrehungen die Positionen der fokussierten Quellen relativ zu den Ohren unverändert bleiben und die Systemeigenschaften eines realen Kopfhörers nachgebildet werden können. Wird der virtuelle Kopfhörer für die Wiedergabe von BRS-Signalen [4] gemäß Abb. 1 eingesetzt, so erhält man eine stabile raumbezogene Darstellung virtueller Quellen unabhängig von der Kopfausrichtung.

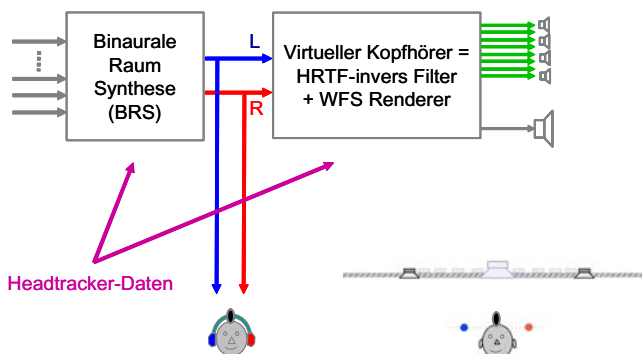


Abbildung 1: Das Binaural Sky Konzept [2] basiert auf einer Kombination des BRS-Verfahrens [4] mit einem WFS-basierten virtuellen Kopfhörer. Beide Systeme werden mittels Headtracker-Daten dynamisch gesteuert. Linker Hörer mit realen Kopfhörer, rechter Hörer mit virtuellem Kopfhörer.

HRTF-invers-Filterung

Beim räumlichen Hören wertet das Gehör Ohrsignalmerkmale aus, die sich aus der Wirkung der Außenohrübertragungsfunktionen (Head Related Transfer Functions, HRTFs) auf die Ohreingangssignale ergeben. Eine Schallquelle außerhalb der Medianebene erzeugt grundsätzlich zwei unterschiedliche Ohreingangssignale, gekennzeichnet durch die HRTF für das zugewandte Ohr und die HRTF für das abgewandte Ohr. Die Richtungs-

wahrnehmung basiert im Wesentlichen auf dem spontanen Vergleich der zwei Ohreingangssignale hinsichtlich ihrer zeitlichen und spektralen HRTF-bedingten Eigenschaften. Um diese Auswertung binauraler Merkmale auch für Kunstkopfsignale fehlerfrei zu ermöglichen, müssen die Übertragungsfunktionen zwischen Kunstkopfausgang und Ohrsignaleingang für beide Ohren den Wert 1 annehmen. Dies geschieht normalerweise mit Hilfe eines Kopfhörers, wobei eine Diffusfeldentzerrung des Kopfhörers gemäß Recommendation ITU-R BS.708 [5] sowie die entsprechende Diffusfeldentzerrung des Kunstkopfes die geforderten linearen Übertragungsfunktionen zwischen Kunstkopfausgängen und Ohrsignaleingängen gewährleisten [6].

Für eine adäquate Wiedergabe mittels Lautsprecher werden "Crosstalk-Cancelling"-Verfahren ("Transaural-Verfahren", z.B. [3]) eingesetzt, die das Übersprechen an den beiden Ohren kompensieren. Das Crosstalk-Cancelling soll nicht nur bewirken, dass die bei der Überlagerung der Lautsprecher-signale an den Ohren des Hörers entstehenden Übersprechanteile ausreichend unterdrückt werden. Die hier eingesetzte spezielle „HRTF-invers-Filterung“ soll darüber hinaus gewährleisten, dass der virtuelle Kopfhörer ein ebenes Diffusfeld-Übertragungsmaß im Toleranzbereich gemäß Recommendation ITU-R BS.708 aufweist.

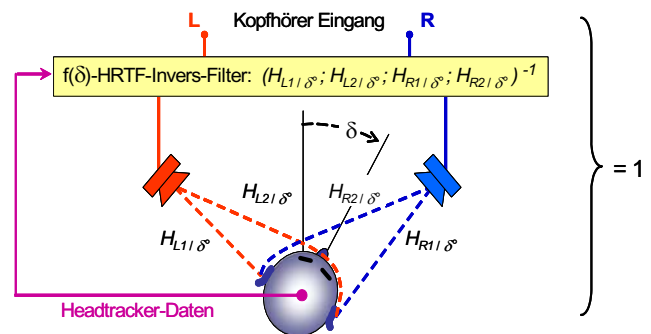


Abbildung 2: Dynamische HRTF-invers-Filterung zur Erzeugung eines "virtuellen Kopfhörers" bei Lautsprecherwiedergabe (Transaural-Verfahren)

Soll der Hörer den Kopf drehen können, müssen zur Einhaltung dieser Forderung die momentane Kopfausrichtung ermittelt und die Filter entsprechend exakt angepasst werden. Abb. 2 zeigt das Prinzip der Headtracker-Daten gesteuerten Nachführung der HRTF-Invers-Filterung.

Jedoch gibt es bei der dynamischen HRTF-invers-Filterung verschiedene technische Schwierigkeiten, welche zu wahrnehmbaren Beeinträchtigungen der Qualität des virtuellen Kopfhörers hinsichtlich Abbildungsschärfe und Klangfarbe führen würden. Sie lassen sich mit Hilfe der

Wellenfeldsynthese umgehen, indem die Lautsprecher durch „fokussierte Schallquellen“ ersetzt und die Positionen der fokussierten Schallquellen dynamisch nachgeführt werden [1], [2]. Der virtuelle Kopfhörer wird nicht durch die dynamische Nachführung $f(\delta)$ einer HRTF-invers-Filterung wie in Abb. 2 realisiert, sondern mittels einer statischen (0°)-HRTF-Invers-Filterung und entsprechender Nachführung von WFS-generierten fokussierten Schallquellen (Abb. 3). Die HRTF-invers-Filterung bleibt unverändert und ist bei jeder Kopfdrehrichtung optimal.

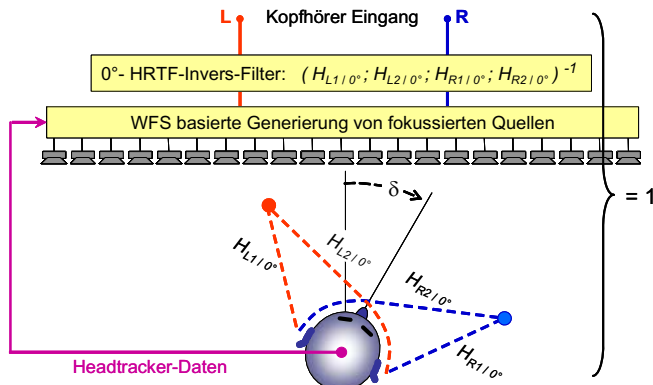


Abbildung 3: Statische HRTF-invers-Filterung mit dynamischer Nachführung von WFS-generierten fokussierten Schallquellen zur Erzeugung eines virtuellen Kopfhörers

Das grundsätzliche Prinzip der HRTF-invers-Filterung zeigt das Blockschaltbild von Abb. 4. Mit den beiden Ausgangssignalen der HRTF-invers-Filterung werden die beiden WFS-generierten fokussierten Quellen gemäß Abb. 3 betrieben (roter und blauer Punkt).

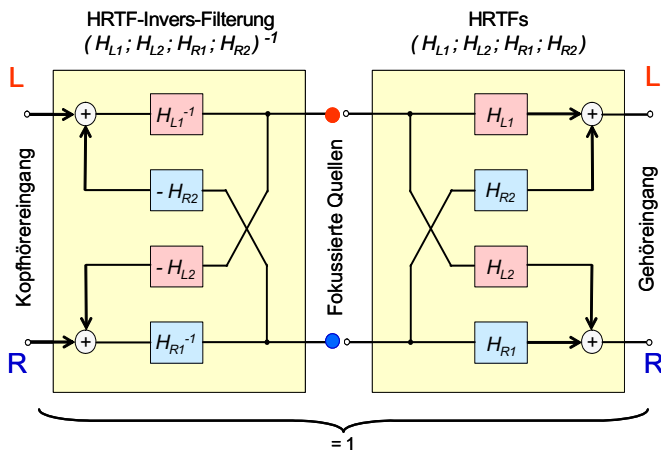


Abbildung 4: Prinzip der HRTF-invers-Filterung

Die Gesamt-Übertragungsfunktion der beiden Blöcke ist gleich 1 ($L' = L$ und $R' = R$), wobei der Gehöreingang die Schnittstelle zwischen Außenohr und Ohrkanaleingang darstellt, vgl. [6]. Die messtechnische Überprüfung kann sehr einfach mit Hilfe eines diffusfeldentzerrten Kunstkopfes erfolgen, die bekannten Probleme beim Einsatz eines Kunstkopfes als Kuppler zur Messung von Kopfhörer-Übertragungsmaßen [7] sind beim virtuellen Kopfhörer nicht relevant.

Untersuchungen

Um eine genaue Nachbildung der Kopfhörereigenschaften unter praktischen Bedingungen gewährleisten zu können, ist eine ausreichende Toleranz des Verfahrens gegenüber Positionsänderungen des Kopfes notwendig. Dazu werden die fokussierten Quellen mit Hilfe einer dynamischen Positionsanpassung für einen wesentlich größeren Bewegungsradius unterhalb des Arrays hinsichtlich ihrer Eigenschaften konstant gehalten, so dass die statische HRTF-invers-Filterung unbeeinträchtigt bleibt. Hierüber wird in [8] berichtet.

Zur Evaluierung des virtuellen Kopfhörers ist es notwendig, seine Eigenschaften hinsichtlich verschiedener Beurteilungsattribute mit denen eines realen Kopfhörers zu vergleichen. Beide Kopfhörer müssen theoretisch identische Höreignisse erzeugen. Ein charakteristisches Phänomen der Kopfhöreriwiedergabe ist die Im-Kopf-Lokalisation und entsprechende Gesetzmäßigkeiten der Lateralisation. In [9] werden erste Ergebnisse aus Lateralisationsexperimenten vorgestellt, die einerseits mit realem und andererseits mit virtuellem Kopfhörer gewonnen wurden.

Optimierungen des Systems hinsichtlich Qualität und Stabilität – auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher praktischer Anwendungen – betreffen nicht nur die Ausformung des WFS-Renderers, sondern ebenso die Realisierung der statischen HRTF-invers-Filterung. In weiteren Untersuchungen werden die HRTFs für kleine Entfernungen, mit verschiedenen Elevationen und Richtungen gemessen, so dass sich auf dieser Grundlage die optimale Anzahl und Anordnung der fokussierten Quellen bestimmen lässt.

Literatur

- [1] Theile, G.; Wittek, H.: "Wave-field Synthesis – A Promising Spatial Audio Rendering Concept". J. Institute of Image Information and Television Engineers, Japan, 2007. URL: http://www.irt.de/fileadmin/media/downloads/themengebiete/WFS_Theile-Wittek.pdf
- [2] Menzel, D.; Wittek, H.; Fastl, H.; Theile, G.: "Binaurale Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese". Tagungsband DAGA 2006, Braunschweig, 20.-23.03., DEGA 2006
- [3] Bauck, J.; Cooper, D. H.: "Generalized Transaural Stereo and Applications". J. Audio Eng. Soc. 44, 683-705 (1996)
- [4] Rathbone, B.; Fruhmann, M.; Spikofski, G.; Mackensen, P.; Theile, G.: "Untersuchungen zur Optimierung des BRS-Verfahrens". Tonmeistertagung 2000, Tagungsband
- [5] ITU-Recommendation ITU-R BS.708: "Determination of the electro-acoustical properties of studio monitor headphones". 1990.
- [6] Theile, G.: "On the Standardization of the Frequency Response of High Quality Studio Headphones". J. Audio Eng. Soc., S. 956-969, (1986)
- [7] Schroeter, J.; Spikofski, G.; Theile, G.: "Messung des Diffusfeldübertragungsmaßes von Kopfhörern am Kunstkopf". Acustica (60), 1986, S.105-116
- [8] Franke, R.; Theile, G.; Laumann, K.; Leckschat, D.: "Berücksichtigung der Kopfposition bei der Erzeugung eines virtuellen Kopfhörers mittels Wellenfeldsynthese". DAGA 2008
- [9] Scherr, M.; Laumann, K.; Theile, G.; Krump, G.: "Evaluierung eines virtuellen Kopfhörers bezüglich Lateralisation". DAGA 2008