

(19)



(11)

EP 2 182 744 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
07.09.2011 Patentblatt 2011/36

(51) Int Cl.:
H04S 7/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08167919.3**

(22) Anmeldetag: **30.10.2008**

(54) **Wiedergabe eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich**

Replaying a sound field in a target sound area

Retransmission d'un champ sonore dans une zone de sonorisation ciblée

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.05.2010 Patentblatt 2010/18

(73) Patentinhaber: **Deutsche Telekom AG
53113 Bonn (DE)**

(72) Erfinder:
• **Ahrens, Jens
10823 Berlin (DE)**
• **Spors, Sascha
10243 Berlin (DE)**

(74) Vertreter: **Vossius & Partner
Siebertstrasse 4
81675 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A-2004/073352 WO-A-2005/015954
DE-A1-102005 003 431**

- **GEIER, M. ET AL.: "The SoundScape Renderer: A Unified Spatial Audio Reproduction Framework for Arbitrary Rendering Methods" AUDIO ENGINEERING SOCIETY, CONVENTION PAPER, [Online] 20. Mai 2008 (2008-05-20), Seiten 1-6, XP002510679 Gefunden im Internet: URL: <http://www.aes.org/tmpFiles/elib/20090116/14460.pdf> [gefunden am 2009-01-16]**
- **JENS AHRENS ET AL: "Analytical driving functions for higher order Ambisonics" ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, 2008. ICASSP 2008. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 31. März 2008 (2008-03-31), Seiten 373-376, XP031250566 ISBN: 978-1-4244-1483-3**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 182 744 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Wiedergabe beziehungsweise die Rekonstruktion eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich mit Hilfe mehrerer Lautsprecher.

[0002] Zur authentischen physikalischen Rekonstruktion eines Schallfeldes über einen ausgedehnten Bereich kann die Technik der Wellenfeldsynthese verwendet werden. Diese Technik verwendet eine große Anzahl von Lautsprechern und vermeidet dadurch das Problem, dass in einen Bereich innerhalb der Lautsprecheranordnung, dem sogenannten "Sweet Spot", die Rekonstruktion des gewünschten Schallfeldes signifikant genauer ist als im Rest des Hörbereichs, wie es beispielsweise bei der Stereo-Technik auftritt (Bei Stereoverfahren wird allerdings nicht ein Schallfeld physikalisch rekonstruiert. Es wird vielmehr mit zwei Lautsprechern eine Illusion erzeugt, die sich dem natürlichen Vorbild sehr ähnlich anhört jedoch ganz andere physikalische Eigenschaften hat. Bei Stereoverfahren gibt es einen Sweet Spot insofern, als dass sich die Illusion an diesem Punkt am authentischsten anhört). Die Lautsprecheransteuerungssignale für die einzelnen Lautsprecher werden analytisch berechnet. In der praktischen Realisierung kommt es jedoch zu großen Abweichungen vom gewünschten Schallfeld über den gesamten potentiellen Hörbereich. Die Technik der Wellenfeldsynthese ist beispielsweise in der Veröffentlichung von S. Spors, R. Rabenstein und J. Ahrens, "The Theory of Wave Field Synthesis Revisited", in: Proceedings of the 124th Convention of the Audio Engineering Society, May 17-20, Amsterdam, The Netherlands, 2008 beschrieben.

[0003] Eine andere bekannte Technik zur Rekonstruktion eines Schallfeldes wird mit Ambisonics bezeichnet und ist beispielsweise in der WO 2005/015954 A2 beschrieben. Diese Technik erfordert kreisförmige bzw. kugelförmige Anordnungen von Lautsprechern, wobei die Lautsprechersignale mithilfe von numerischen Algorithmen generiert werden. Die im Rechenweg notwendige Beschränkung der räumlichen Bandbreite der Ansteuerungssignale bewirkt, dass die Rekonstruktion des gewünschten Schallfeldes im Zentrum der Lautsprecheranordnung am genauesten ist. Im Zentrum der Lautsprecheranordnung befindet sich daher ein Sweet Spot. Mit zunehmendem Abstand vom Zentrum der Lautsprecheranordnung werden die Abweichungen im rekonstruierten Schallfeld größer. In der Veröffentlichung von J. Hannemann und K. D. Donohue, "Virtual Sound Source Rendering Using a Multipole-Expansion and Method-of-Moments Approach", J. Audio Eng. Soc., Bd. 56, Nr. 6, Juni 2008, wird ein dem Ambisonics-Verfahren verwandtes Verfahren beschrieben, das es ermöglicht, die Anordnung der Lautsprecher und den Ort des Sweet Spot relativ frei zu wählen. Auch hier werden die Lautsprechersignale mit numerischen und somit sehr rechenintensiven Algorithmen berechnet.

[0004] Mit Erweiterungen von Ambisonics, beispielsweise der als Higher Order Ambisonics bezeichneten Technik, kann in Verbindung mit einer analytischen Berechnung der Lautsprecheransteuerungssignale ein effizienteres Verfahren bereitgestellt werden. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der Veröffentlichung von J. Ahrens und S. Spors, "Analytical driving functions for higher order ambisonics", in: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Las Vegas, Nevada, 30. März bis 4. April 2008 beschrieben. Auch gemäß dem dort beschriebenen Verfahren stimmt jedoch das resultierende wiedergegebene Schallfeld umso schlechter mit dem gewünschten Schallfeld überein, je weiter man sich vom Zentrum der Anordnung entfernt. Es existiert also wiederum ein Sweet Spot im Zentrum der Lautsprecheranordnung.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein effizientes Verfahren und eine Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfeldes bereitzustellen, wobei ein Sweet Spot innerhalb einer Lautsprecheranordnung frei gewählt werden kann. Die Anordnung der Lautsprecher soll hierbei möglichst wenig Einschränkungen unterliegen.

[0006] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Patentansprüche gelöst.

[0007] Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich bereitgestellt. Hierfür werden auf einer den Zielbeschallungsbereich umgebenden Kontur elektroakustische Wandler, also Lautsprecher, angeordnet. Zunächst wird ein Ansteuersignal für die elektroakustischen Wandler analytisch bestimmt. Bei dieser analytischen Bestimmung ergibt sich ein resultierendes Schallfeld, das in einem Bereich um das Zentrum der Kontur, dem Sweet Spot, dem wiederzugebenden Schallfeld genau entspricht. Je größer der Abstand vom Zentrum wird, desto größer werden die Abweichungen vom wiederzugebenden Schallfeld, was der analytischen Bestimmung inhärent ist. Die analytische Bestimmung kann gemäß einem bekannten Verfahren durch analytisches Lösen einer Integralgleichung erreicht werden, die das wiederzugebende Schallfeld beschreibt. Zur Lösung dieser Integralgleichung, die ein Oberflächen- oder Linienintegral über das Ansteuerungssignal der elektroakustischen Wandler und die Übertragungsfunktion der elektroakustischen Wandler ist, können die Komponenten der Integralgleichung in orthogonale Basisfunktionen zerlegt werden, beispielsweise mittels einer Fourierzerlegung.

[0008] Das gewünschte Schallfeld wird also in Basisfunktionen zerlegt, die auf der Kontur, auf der sich die Lautsprecher befinden orthogonal sind. Das gewünschte Schallfeld ist dann bezüglich der Zerlegung um den gewünschten Sweet Spot bandzubegrenzen. Ferner ist das gewünschte Schallfeld bezüglich der Zerlegung um das Zentrum der Lautsprecheranordnung bandzubegrenzen. Die Verbindung zwischen beiden Zerlegungen stellen mathematische Translations-theoreme dar. Der Ausgangspunkt ist in jedem Fall eine Integralgleichung. Dabei ist es erfindungsgemäß möglich, die Lautsprecheransteuerungssignale dann über die explizite Lösung der Integralgleichung (wie im folgenden detailliert beschrieben) zu gewinnen. Alternativ können die Lautsprecheransteuerungssignale über die Zusammenhänge des

Kirchhoff-Helmholtz-Integrals (wie bei Wellenfeldsynthese) gewonnen werden.

[0009] Das ermittelte Ansteuerungssignal wird derart geändert, dass der Bereich, in dem das resultierende Schallfeld dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht, aus dem Zentrum der Kontur zu einer gewünschten Position innerhalb des Zielbeschallungsbereichs verschoben wird. Dies kann beispielsweise mittels mathematischer Translationstheoreme erfolgen. Die gewünschte Position kann an einer festen Position vorbestimmt werden, sie kann aber auch je nach Position eines Empfängers verschoben werden. Im letzteren Fall erfolgt die Änderung des Ansteuerungssignals dann vorzugsweise in Echtzeit. Beispielsweise kann mit diesem Verfahren dann eine Position eines Empfängers innerhalb des Zielbeschallungsbereichs bestimmt werden und das Ansteuerungssignal dann derart geändert werden, dass die gewünschte Position entsprechend nachgeführt wird.

[0010] Das geänderte Ansteuerungssignal wird den elektroakustischen Wandlern zugeführt. Die Wandler wandeln die eingespeisten elektrischen Signale in Schallsignale um, und strahlen diese in den Zielbeschallungsbereich ab.

[0011] Ferner wird mit der vorliegenden Erfindung auch eine Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich bereitgestellt. Die Vorrichtung weist mehrere, auf einer den Zielbeschallungsbereich umgebenden Kontur angeordnete elektroakustische Wandler, und ein Verarbeitungsmodul auf. Das Verarbeitungsmodul ist in der Lage, aus Signalen über die gewünschte Position und Audioeingangssignalen ein Ansteuerungssignal für die elektroakustischen Wandler analytisch zu bestimmen und das Ansteuerungssignal derart zu ändern, dass der Sweet Spot, also der Bereich, in dem das resultierende Schallfeld dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht, zu der gewünschten Position verschoben wird. Die Ansteuerungssignale können mittels einer Verstärkereinheit verstärkt werden und den elektroakustischen Wandlern zugeführt werden.

[0012] Mit der vorliegenden Erfindung kann der Bereich, an dem die Rekonstruktion des gewünschten Schallfeldes am genauesten ist, zu einer gewünschten Position hin verschoben werden. Somit kann die Wiedergabe auf einen beliebigen Ort innerhalb des Zielbeschallungsbereichs optimiert werden. Diese Verschiebung oder Translation kann in Echtzeit ausgeführt werden, so dass die Wiedergabe zum Beispiel einem sich bewegenden Empfänger nachgeführt werden kann. Die Bestimmung des Ortes des Empfängers kann hierbei mittels Sensoren, beispielsweise einer Kamera, durchgeführt werden.

[0013] Die Erfindung kann zur Wiedergabe von Audiosignalen, insbesondere Mehrkanalton-Audiosignalen verwendet werden. Die Audiosignale können durch verschiedenste Geräte bereitgestellt werden, wie beispielsweise CD-, DVD- oder Blu-ray Disc-Geräte, MP3-Geräte, Computer oder ähnliches. Die wiedergegebenen Audiosignale können dabei beispielsweise MPEG2- oder MPEG4-Signale sein oder in einem Dolby-Format vorliegen.

[0014] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher beschrieben, wobei

Fig. 1 schematisch eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt und

Fig. 2 ein erzeugtes Schallfeld zeigt, wobei in Fig. (a) der Sweet Spot im Zentrum der Lautsprecheranordnung ist und in Fig. (b) zu einem anderen Punkt innerhalb der Lautsprecheranordnung verschoben wurde.

[0015] In Fig. 1 ist schematisch eine Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Auf einer Kontur 11 um einen Zielbeschallungsbereich 10 sind mehrere Lautsprecher 20 angeordnet. Die Ansteuerungssignale für die Lautsprecher 20 werden in einem Verarbeitungsmodul 30 bestimmt und über eine Verstärkereinheit 31 den Lautsprechern 20 zugeführt. Dem Verarbeitungsmodul 30 werden hierfür Informationen 1 über den momentanen Ort, für den die Schallrekonstruktion optimiert werden soll, also den sogenannten Sweet Spot oder die Sweet Area, und Audioeingangssignale 2 eingespeist. Der Sweet Spot sollte sich hierbei innerhalb des Zielbeschallungsbereichs 10 befinden. Außerdem erhält das Verarbeitungsmodul 30 ein drittes Eingangssignal 3, das Information über das gewünschte Schallfeld trägt (z.B. Position der virtuellen Schallquelle).

[0016] Zur Berechnung der Ansteuerungssignale für die Lautsprecher 20 wird zunächst das Ansteuerungssignal analytisch, beispielsweise gemäß dem in der oben bereits angesprochenen Veröffentlichung von J. Ahrens und S. Spors durchgeführten Verfahren, berechnet.

[0017] In dem dort beschriebenen Verfahren, das hier lediglich als Beispiel beschrieben ist, wird von einer Beschreibung des wiederzugebenden Schallfeldes P durch ein Integral über das Ansteuerungssignal D der Lautsprecher, die auf einer Kontur um den Zielbeschallungsbereich herum angeordnet sind, und die räumliche Übertragungsfunktion G der Lautsprecher dargestellt:

$$P = \int D \cdot G d\Omega$$

[0018] Das Integral ist hierbei ein Oberflächen- oder Linienintegral, je nachdem ob die Berechnung in drei Dimensionen

oder lediglich in einer Ebene erfolgen soll.

[0019] Diese Integralgleichung wird durch eine Zerlegung der involvierten Größen in orthogonale Basisfunktionen B und Bestimmung der jeweiligen Zerlegungskoeffizienten gelöst. Entsprechend kann das Schallfeld P dargestellt werden durch

$$P = \sum \overset{\circ}{P} B$$

wobei $\overset{\circ}{P}$ die entsprechenden Zerlegungskoeffizienten bezeichnet. Dies kann beispielsweise durch eine Fourierzerlegung erfolgen. Das Lautsprecheransteuerungssignal D kann somit folgendermaßen berechnet werden:

$$D = \sum \frac{\overset{\circ}{P}}{\overset{\circ}{G}} B$$

[0020] Im Falle einer Fourierzerlegung bezeichnen die Größen P und G also die entsprechenden Fourierkoeffizienten.

[0021] Diese Summe hat theoretisch unendlich viele Summanden. Da dies in der Praxis im Allgemeinen nicht implementierbar ist, und auch um übermäßiges räumliches Aliasing zu vermeiden, wird die Summation begrenzt. Dies hat jedoch zur Folge, dass das resultierende wiedergegebene Schallfeld umso schlechter mit dem gewünschten Schallfeld übereinstimmt, je weiter man sich vom Zentrum der Zerlegung entfernt. Der sogenannte Sweet Spot beziehungsweise die Sweet Area, also der Bereich der optimalen Wiedergabe, befindet sich also bei dieser analytischen Bestimmung im Zentrum der Lautsprecheranordnung, da die Position des Zentrums der Zerlegung mit dem Zentrum der Lautsprecheranordnung übereinstimmt.

[0022] Als Ergebnis dieser Berechnung kann die kontinuierliche Ansteuerungsfunktion folgendermaßen beschrieben werden:

$$D_N(\alpha, \omega) = \frac{1}{2\pi_0} \sum_{v=-N}^N \frac{\check{\bar{P}}_v(\omega)}{\check{\bar{G}}_v(\omega)} e^{jv\alpha}$$

$\bar{P}_v$ und $\bar{G}_v$ sind hierbei die Zerlegungskoeffizienten des Schallfeldes und der Übertragungsfunktion. Auch dies ist lediglich ein Beispiel für die Beschreibung der kontinuierlichen Ansteuerungsfunktion. Dieses Beispiels gilt für die zweidimensionale Betrachtung kreisförmiger Lautsprecheranordnungen.

[0023] Um den Ort, wo die Rekonstruktion des gewünschten Schallfeldes am genauesten ist, zu einem gewünschten Ort zu verschieben, wird gemäß der Erfindung das Zentrum der Zerlegung in der oben gezeigten Gleichung für das Lautsprecheransteuerungssignal D verschoben. Dies kann beispielsweise mittels verschiedener mathematischer Translationstheoreme erfolgen. Somit kann die Wiedergabe auf einen beliebigen Ort innerhalb der Lautsprecheranordnung optimiert werden.

[0024] Beispielsweise kann auf der Basis der oben beschriebenen analytischen Berechnung der inhärente Sweet Spot durch Einschränken der räumlichen Bandbreite des wiederzugebenden Schallfeldes P, das eine Funktion des Ortes und der Frequenz ist, in Bezug auf das Zentrum der Zerlegung, das sich vom Zentrum der Lautsprecheranordnung unterscheidet, verschoben werden. Der Sweet Spot oder die Sweet Area ist dann um dieses neue Zentrum der Zerlegung angeordnet. Die Zerlegung des Schallfeldes um ein beliebiges Zentrum x_c mit einer eingeschränkten Bandbreite $2M+1$ kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$P_M(x, \omega) = \sum_{\mu=-M}^M \check{\bar{P}}_{\mu}(\omega) J_{\mu}\left(\frac{\omega}{c} r'\right) e^{j\mu\alpha'}$$

[0025] In dieser Gleichung bezeichnen r' und α' die Ortskoordinaten bezüglich einem lokalen Koordinatensystem, dessen Ursprung bei x_c ist, J_{μ} bezeichnet die Besselfunktion μ -ter Ordnung, $\bar{P}$ bezeichnet die Zerlegungskoeffizienten des Schallfeldes. Zur Berechnung des Ansteuerungssignals werden jedoch die Zerlegungskoeffizienten benötigt bezüg-

lich der Zerlegung um den Ursprung des globalen Koordinatensystems, dessen Achsen parallel zu denen des lokalen Koordinatensystems liegen. Hierzu kann das Additionstheorem für harmonische Zylinderfunktionen in die obige Gleichung eingesetzt werden:

$$P_M(x, \omega) = \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} J_{\nu}\left(\frac{\omega}{c}r\right) e^{j\nu\alpha} \times \underbrace{\sum_{\mu=-M}^M \tilde{P}_{\mu}(\omega) J_{\nu-\mu}\left(\frac{\omega}{c}r_c\right) e^{j(\nu-\mu)\alpha_c}}_{= \tilde{P}_{\nu,M}(\omega)}$$

[0026] Hierbei wird mit r_c und α_c die Position des lokalen Koordinatensystems im globalen Koordinatensystem beschreiben. Um P_M wiederzugeben, werden die Zerlegungskoeffizienten $\tilde{P}_{\nu,M}(\omega)$ in die obigen Gleichung zur Berechnung des Lautsprecheransteuerungssignals D eingesetzt. Es werden also zwei Bandbreitenbeschränkungen deutlich: zum einen ist P_M bezüglich der Zerlegung um x_c bandbreitenbegrenzt, wobei diese Begrenzung mit M bezeichnet wird. P_M weist dennoch eine unendliche räumliche Bandbreite bezüglich der Zerlegung um den Koordinatenursprung auf. Weiterhin ist das Ansteuerungssignal bandbreitenbegrenzt in Bezug auf die Zerlegung um den Koordinatenursprung. Diese Beschränkung ist mit N bezeichnet. Die erwünschte Komponente des wiedergegebenen Schallfeldes ist also zweifach bandbreitenbegrenzt.

[0027] Eine solche Translation des Zerlegungszentrums kann in Echtzeit ausgeführt werden, so dass die Wiedergabe beispielsweise einem sich bewegendem Empfänger nachgeführt werden kann. In einem solchen System kann beispielsweise eine Kamera verwendet werden, um die Position des Empfängers zu bestimmen und die Wiedergabe dann auf diese Position zu optimieren. Die Bestimmung der Position des Empfängers kann auch durch einen Sensor erfolgen, den der Hörer beispielsweise in der Hosentasche mit sich führt.

[0028] In Fig. 2 ist das durch die Lautsprecher erzeugte Schallfeld gezeigt. Die Lautsprecher befinden sich hierbei auf der gestrichelt angedeuteten, kreisförmigen Kontur, die den Zielbeschallungsbereich umgibt. In Fig. 2a ist das Schallfeld gezeigt, dass sich durch die analytische Bestimmung durch das oben beschriebene Verfahren ergibt. Hierbei ist der Sweet Spot, der durch den markierten Punkt gezeigt ist, im Zentrum der Kontur.

[0029] Bewegt sich jedoch ein Empfänger zu dem in Fig. 2b markierten Punkt innerhalb des Zielbeschallungsbereichs, erlaubt es die vorliegende Erfindung, den dem System inhärenten Sweet Spot so nachzuführen, dass die Schallfeldwiedergabe für den ausgewählten Empfänger optimal ist. Das entsprechende Schallfeld ist in Fig. 2b gezeigt, der nur verschobene Sweet Spot wiederum mit einem Kreuz markiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wiedergabe eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich mittels mehrerer, auf einer den Zielbeschallungsbereich umgebenden Kontur angeordneter elektroakustischer Wandler, mit den Schritten:

- analytisches Bestimmen eines Ansteuerungssignals für die elektroakustischen Wandler durch orthogonales Zerlegen des wiederzugebenden Schallfeldes um das Zentrum der Kontur und räumliches Bandbegrenzen des wiederzugebenden Schallfeldes bezüglich der Zerlegung, derart, dass das resultierende Schallfeld in einem Bereich um das Zentrum der Kontur dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht;
- Ändern des Ansteuerungssignals durch Verschieben des Zentrums der Zerlegung zu einer gewünschten Position und räumliches Bandbegrenzen des wiederzugebenden Schallfeldes bezüglich der zur gewünschten Position verschobenen Zerlegung mittels eines mathematischen Translationstheorems, so dass der Bereich, in dem das resultierende Schallfeld dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht, zu der gewünschten Position innerhalb des Zielbeschallungsbereichs verschoben wird; und
- Zuführen des geänderten Ansteuerungssignals an die elektroakustischen Wandler.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ansteuerungssignal durch analytisches Lösen einer das wiederzugebende Schallfeld beschreibenden Integralgleichung bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Integralgleichung ein Oberflächen- oder Linienintegral über das Ansteuerungssignal der elektroakustischen Wandler und die räumliche Übertragungsfunktion ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Lösung der Integralgleichung durch eine Zerlegung des Schallfeldes, des Ansteuerungssignals und der Übertragungsfunktion in orthogonale Basisfunktionen erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ansteuersignal über die Zusammenhänge des Kirchhoff-Helmholtz-Integrals bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Verschiebung zu einer gewünschten Position in Echtzeit erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die gewünschte Position der Position eines sich bewegenden Empfängers entspricht, wobei die gewünschte Position der Position des Empfängers nachgeführt wird.
8. Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfeldes in einem Zielbeschallungsbereich (10), insbesondere durch ein Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, mit mehreren elektroakustischen Wandlern (20) und einem Verarbeitungsmodul (30) zum Zuführen eines Ansteuerungssignals an die elektroakustischen Wandler (20), wobei das Verarbeitungsmodul (30) dazu ausgebildet ist, das Ansteuerungssignal analytisch durch orthogonales Zerlegen des wiederzugebenden Schallfeldes um das Zentrum der Kontur und durch räumliches Bandbegrenzen des wiederzugebenden Schallfeldes bezüglich der Zerlegung derart zu bestimmen, dass das resultierende Schallfeld in einem Bereich um das Zentrum der Kontur (11) dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht und das Ansteuerungssignal durch Verschieben des Zentrums der Zerlegung zu einer gewünschten Position und räumliches Bandbegrenzen des wiederzugebenden Schallfeldes bezüglich der zur gewünschten Position verschobenen Zerlegung mittels eines mathematischen Translationstheorems derart zu ändern, dass der Bereich, in dem das resultierende Schallfeld dem wiederzugebenden Schallfeld entspricht, zu der gewünschten Position innerhalb des Zielbeschallungsbereichs (10) verschoben wird.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, ferner mit einer Verstärkereinheit (31) zum Verstärken des vom Verarbeitungsmodul (30) bestimmten geänderten Ansteuerungssignals und zum Zuführen des verstärkten Signals den elektroakustischen Wandlern (20).
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, ferner mit einem Audiowiedergabegerät zum Bereitstellen eines das Schallfeld beschreibenden Audiosignals.

Claims

1. Method for reproducing a sound field in a target region for acoustic irradiation by means of multiple electroacoustic transducers arranged on a contour surrounding the target region for acoustic irradiation, having the steps:
 - analytical determination of a drive signal for the electroacoustic transducers through orthogonal decomposition of the sound field to be reproduced about the center of the contour and spatial band limiting of the sound field to be reproduced with respect to the decomposition in such a manner that the resulting sound field corresponds to the sound field to be reproduced in a region about the center of the contour;
 - alteration of the drive signal by displacing the center of the decomposition to a desired position and spatial band limiting of the sound field to be reproduced with respect to the decomposition displaced to the desired position by means of a mathematical translation theorem so that the region where the resulting sound field corresponds to the sound field to be reproduced is displaced to the desired position within the target region for acoustic irradiation; and
 - delivery of the altered control signal to the electroacoustic transducers.
2. Method according to claim 1, wherein the drive signal is determined by analytical solution of an integral equation describing the sound field to be reproduced.
3. Method according to claim 2, wherein the integral equation is a surface or line integral over the control signal for the electroacoustic transducers and the spatial transfer function.

4. Method according to claim 3, wherein the solution of the integral equation is accomplished through a decomposition of the sound field, the drive signal, and the transfer function into orthogonal basis functions.
5. Method according to claim 1, wherein the drive signal is determined through the relationships of the Kirchhoff-Helmholtz integral.
6. Method according to any one of the preceding claims, wherein the displacement to a desired position takes place in real time.
7. Method according to claim 6, wherein the desired position corresponds to the position of a moving receiver, wherein the desired position follows the position of the receiver.
8. Device for reproducing a sound field in a target region for acoustic irradiation (10), in particular by means of a method according to any one of the preceding claims, having multiple electroacoustic transducers (20) and a processing module (30) for delivering a drive signal to the electroacoustic transducers (20), wherein the processing module (30) is adapted to determine the drive signal analytically through orthogonal decomposition of the sound field to be reproduced about the center of the contour and through spatial band limiting of the sound field to be reproduced with regard to the decomposition in such a manner that the resulting sound field in a region about the center of the contour (11) corresponds to the sound field to be reproduced and to alter the drive signal by displacing the center of the decomposition to a desired position and spatial band limiting of the sound field to be reproduced with respect to the decomposition displaced to the desired position by means of a mathematical translation theorem in such a manner that the region where the resulting sound field corresponds to the sound field to be reproduced is displaced to the desired position within the target region for acoustic irradiation (10).
9. Device according to claim 8, further having an amplifier unit (31) for amplifying the altered drive signal determined by the processing module (30) and for delivering the amplified signals to the electroacoustic transducers (20).
10. Device according to claim 8 or 9, further having an audio reproduction device for providing an audio signal describing the sound field.

Revendications

1. Procédé de reproduction d'un champ acoustique dans une zone de sonorisation cible au moyen de plusieurs convertisseurs électroacoustiques disposés sur un contour entourant la zone de sonorisation cible, comprenant les étapes :
 - détermination analytique d'un signal de commande pour les convertisseurs électroacoustiques par décomposition orthogonale du champ acoustique à reproduire autour du centre du contour et par limitation spatiale de bande du champ acoustique à reproduire par rapport à la décomposition de manière que, dans une zone autour du centre du contour, le champ acoustique qui en résulte corresponde au champ acoustique à reproduire;
 - modification du signal de commande par décalage du centre de la décomposition vers une position souhaitée et limitation spatiale de bande du champ acoustique à reproduire par rapport à la décomposition décalée vers la position souhaitée, au moyen d'un théorème mathématique de translation de manière à décaler la zone dans laquelle le champ acoustique correspond au champ acoustique à reproduire vers la position souhaitée à l'intérieur de la zone de sonorisation cible ; et
 - fourniture du signal de commande modifié aux convertisseurs électroacoustiques.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le signal de commande est déterminé par résolution analytique d'une équation intégrale décrivant le champ acoustique à reproduire.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'équation intégrale est une intégrale de surface ou de ligne sur le signal de commande des convertisseurs électroacoustiques et la fonction de transmission spatiale.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la résolution de l'équation intégrale s'effectue par une décomposition du champ acoustique, du signal de commande et de la fonction de transmission en fonctions de base orthogonales.
5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le signal de commande est déterminé par les corrélations de l'intégrale

de Kirchhoff-Helmholtz.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le décalage vers une position souhaitée s'effectue en temps réel.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel la position souhaitée correspond à la position d'un récepteur en mouvement, la position souhaitée suivant la position du récepteur.
8. Dispositif de reproduction d'un champ acoustique dans une zone de sonorisation cible (10), notamment par un procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant plusieurs convertisseurs électroacoustiques (20) et un module de traitement (30) pour fournir un signal de commande aux convertisseurs électroacoustiques (20), le module de traitement (30) étant conçu de manière à déterminer le signal de commande de manière analytique par décomposition orthogonale du champ acoustique à reproduire autour du centre du contour et par limitation spatiale de bande du champ acoustique à reproduire par rapport à la décomposition de manière que le champ acoustique qui en résulte corresponde, dans une zone autour du centre du contour (11), au champ acoustique à reproduire, et à modifier le signal de commande par décalage du centre de la décomposition vers une position souhaitée et par limitation spatiale de bande du champ acoustique à reproduire par rapport à la décomposition décalée vers la position souhaitée au moyen d'un théorème mathématique de translation de manière à décaler la zone dans laquelle le champ acoustique qui en résulte correspond au champ acoustique à reproduire, vers la position souhaitée à l'intérieur de la zone de sonorisation cible (10).
9. Dispositif selon la revendication 8, comprenant en plus une unité d'amplificateur (31) pour amplifier le signal de commande modifié, déterminé par le module de traitement (30), et pour fournir le signal amplifié aux convertisseurs électroacoustiques (20).
10. Dispositif selon les revendications 8 ou 9, comprenant en plus un lecteur audio pour la fourniture d'un signal audio décrivant le champ acoustique.

Fig. 1

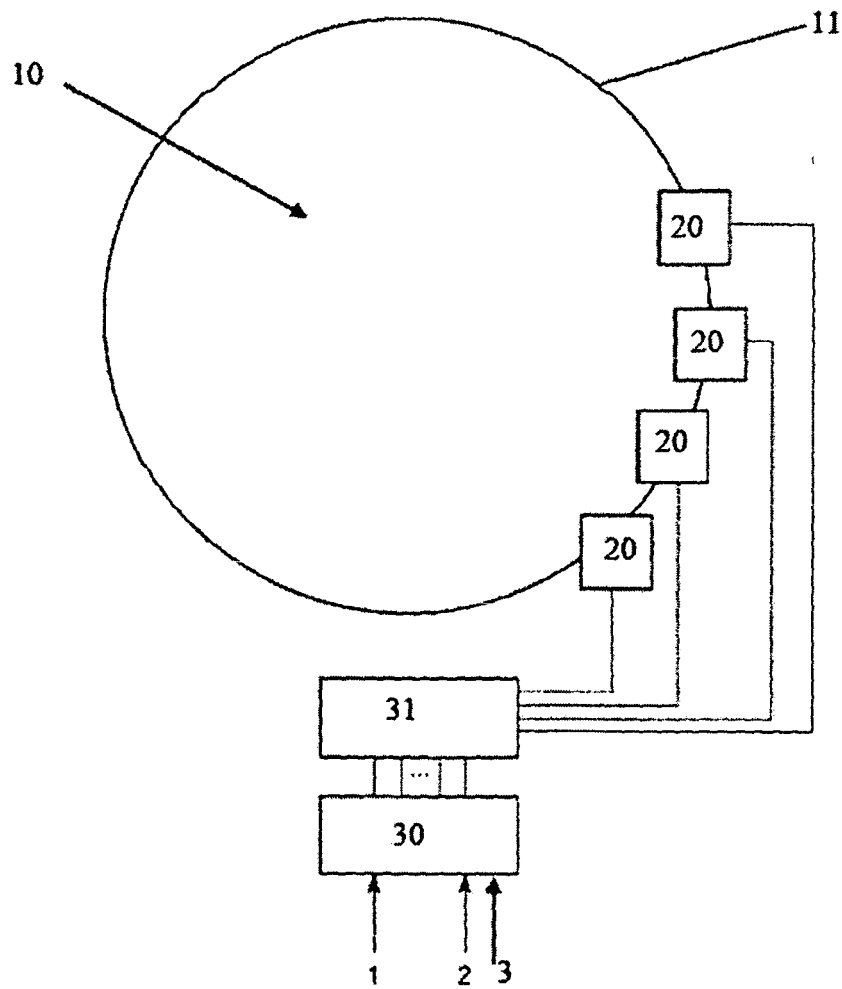
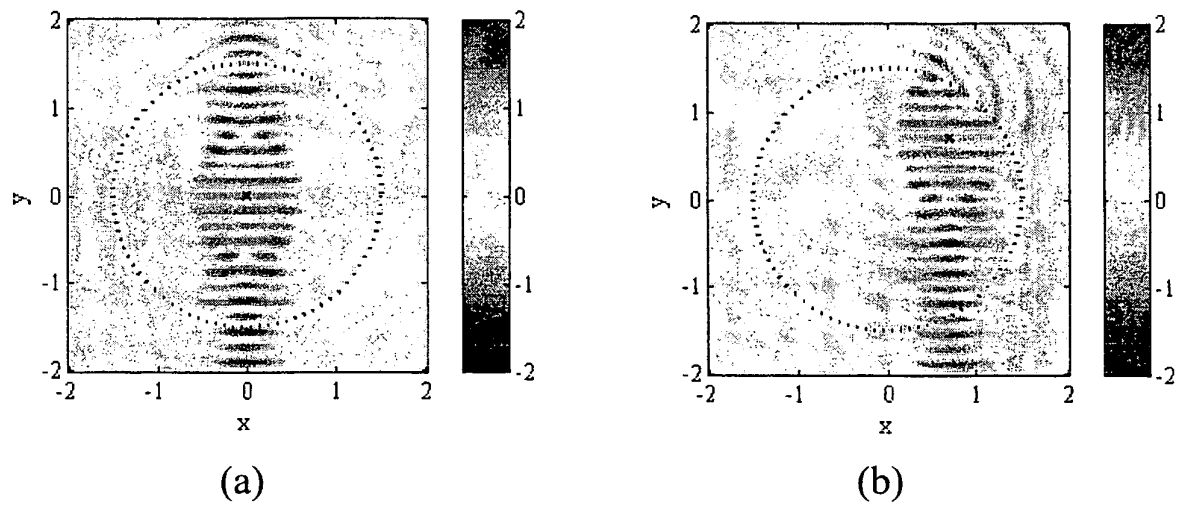


Fig. 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2005015954 A2 [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **S. Spors ; R. Rabenstein ; J. Ahrens.** The Theory of Wave Field Synthesis Revisited. *Proceedings of the 124th Convention of the Audio Engineering Society*, 17. Mai 2008 [0002]
- **J. Hannemann ; K. D. Donohue.** Virtual Sound Source Rendering Using a Multipole-Expansion and Method-of-Moments Approach. *J. Audio Eng. Soc.*, Juni 2008, vol. 56 (6 [0003]
- **J. Ahrens ; S. Spors.** Analytical driving functions for higher order ambisonics. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 30. März 2008 [0004]