



(11)

EP 2 373 054 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
17.08.2016 Patentblatt 2016/33

(51) Int Cl.:
H04R 1/40 (2006.01) **H04R 3/12** (2006.01)
H04S 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10155873.2**

(22) Anmeldetag: **09.03.2010**

(54) **Wiedergabe in einem beweglichen Zielbeschallungsbereich mittels virtueller Lautsprecher**

Playback into a mobile target sound area using virtual loudspeakers

Reproduction dans une zone de sonorisation ciblée mobile à l'aide de haut-parleurs virtuels

(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 MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.10.2011 Patentblatt 2011/40

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

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

(74) Vertreter: **Vossius & Partner
Patentanwälte Rechtsanwälte mbB
Siebertstrasse 3
81675 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2009/124772 DE-A1-102005 003 431
DE-A1-102007 032 272**

- Menzel, D.; Wittek, H.; Theile, G.; Fastl, H.: "The Binaural Sky: A Virtual Headphone for Binaural Room Synthesis" 2. November 2005 (2005-11-02), XP002596281 Gefunden im Internet:
URL:http://www.tonmeister.de/symposium/2005/np_pdf/R04.pdf [gefunden am 2010-08-12]
- THEILE G: "Neue Anwendung der Wellenfeldsynthese: Binaural Sky" FKT FERNSEH UND KINOTECHNIK, FACHVERLAG SCHIELE & SCHON GMBH., BERLIN, DE, Bd. 61, Nr. 10, 1. Oktober 2007 (2007-10-01), Seiten 539-542, XP001545649 ISSN: 1430-9947
- Menze, D.; Wittek, H.; Fastl, H.; Theile, G.: "Binaurale Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese - Realisierung und Evaluierung" 23. März 2006 (2006-03-23), XP002596282 Gefunden im Internet:
URL:<http://www.mmk.ei.tum.de/publ/pdf/06/06men1.pdf> [gefunden am 2010-08-12]

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 2 373 054 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Wiedergabe bzw. Rekonstruktion eines Schallfeldes in einem begrenzten Bereich mithilfe mehrerer Lautsprecher.

[0002] Zur Erzeugung eines räumlichen Schalleindrucks können stereophonische Techniken eingesetzt werden. Bei diesen Techniken wird mithilfe von zwei oder mehr Lautsprechern durch Pegeldifferenzen und/oder Laufzeitdifferenzen ein räumlicher Schalleindruck beim natürlichen Hören erzeugt. Der gewünschte räumliche Höreindruck entsteht dabei jedoch nur innerhalb eines begrenzten Bereichs, dem sogenannten "Sweet Spot", innerhalb der Lautsprecheranordnung. Weiterhin gibt es verschiedene Ansätze zur Nachführung bzw. Vergrößerung des Sweet Spot bei stereophonischer Wiedergabe, wie sie beispielsweise in der DE-A-10 125 229, oder der DE-A-10 2005 052 904 beschrieben sind. Bei Stereoverfahren wird ein Schallfeld allerdings nicht physikalisch rekonstruiert, sondern es wird eine Illusion erzeugt, die sich dem natürlichen Vorbild sehr ähnlich anhört, jedoch ganz andere physikalische Eigenschaften hat. Auch kann mit der Stereophonie nur der Eindruck einer Schallquelle vermittelt werden, die mindestens den Abstand zu den nächstgelegenen Lautsprechern hat.

[0003] 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 einem Sweet Spot innerhalb der Lautsprecheranordnung die Rekonstruktion des gewünschten Schallfeldes signifikant genauer ist als im Rest des Hörbereichs, wie es beispielsweise bei der Stereo-Technik auftritt. 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 potenziellen 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.

[0004] Mittels der Wellenfeldsynthese kann auch eine Erzeugung sogenannter virtueller fokussierter Schallquellen erreicht werden. Darunter versteht man die physikalische Re-Synthese einer Schallquelle, die sich zwischen dem Zuhörer und den Lautsprechern befindet. Fokussierte Schallquellen in der Wellenfeldsynthese und deren Eigenschaften sind beispielsweise in der Veröffentlichung von S. Spors, H. Wierstorf, N. Geier und J. Ahrens, "Physical and Perceptual Properties of Focused Sources in Wave Field Synthesis" beschrieben, die als Convention Paper der 127. Convention der Audio Engineering Society, New York, USA, 9.-12. Oktober 2009, veröffentlicht ist.

[0005] Eine andere bekannte Technik zur Rekonstruktion eines Schallfeldes wird mit Ambisonics bezeichnet und ist beispielsweise in der WO 2005/0195954 A2 beschrieben. Diese Technik erfordert kreisförmige bzw. kugelförmige Anordnungen von Lautsprechern, wobei die Lautsprecher signale typischerweise 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 Lautsprecher signale mit numerischen und somit sehr rechenintensiven Algorithmen berechnet.

[0006] 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 höher die Frequenz ist und je weiter man sich vom Zentrum der Anordnung entfernt. Es existiert also wiederum ein Sweet Spot im Zentrum der Lautsprecheranordnung.

[0007] Die DE 10 2007 032 272 A1 beschreibt ein Verfahren zur Simulation einer Kopfhörerwiedergabe durch mehrere fokussierte Schallquellen, wobei bei der Darstellung des virtuellen Kopfhörers die Toleranz gegenüber Positionsänderungen des Kopfes dadurch erweitert wird, dass in Abhängigkeit von der ermittelten Position und Ausrichtung des Kopfes ein Datensatz über die geometrischen Beziehungen zwischen Lautsprechern, fokussierten Schallquellen und Ohren des Hörers in allen sechs Freiheitsgraden dynamisch berechnet wird.

[0008] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur effizienten physikalischen Rekonstruktion eines Schallfeldes in einem begrenzten Bereich mithilfe von mehreren Lautsprechern bereitzustellen, wobei der begrenzte Wiedergabebereich dynamisch und frei platziert bzw. dynamisch verschoben werden kann. Die Lautsprecheranordnung zur

Rekonstruktion des Schallfelds soll frei wählbar sein und der gewünschte Wiedergabebereich soll frei innerhalb bzw. vor der Lautsprecheranordnung ausgewählt werden können.

[0009] Der Gegenstand der Erfindung ist in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 8 definiert. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0010] Mit der vorliegenden Erfindung werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfelds in einem Zielbeschallungsbereich mittels mehrerer elektroakustischer Wandler bereitgestellt. Es ist eine Grundidee der vorliegenden Erfindung, fokussierte Quellen als virtuelle Schallquellen für die Wiedergabe in dem räumlich begrenzten Zielbeschallungsbereich zu nutzen. Die fokussierten Quellen werden hierbei durch die elektroakustischen Wandler erzeugt. Die Ansteuerung der virtuellen Schallquellen erfolgt entsprechend realer Lautsprecher an der entsprechenden Position, um ein gewünschtes Schallfeld innerhalb des Zielbeschallungsbereichs physikalisch zu rekonstruieren, wobei die Ansteuerungssignale für die fokussierten Schallquellen durch Wellenfeldsynthese, ein Ambisonics- oder ein Higher-Order-Ambisonics-Verfahren bestimmt werden. So werden zum Einen Ansteuerungssignale für die virtuellen fokussierten Schallquellen bestimmt, die auf einer Kontur um den Zielbeschallungsbereich angeordnet sind. Weiterhin werden Ansteuerungssignale für die tatsächlich angeordneten elektroakustischen Wandler bestimmt, durch die die virtuellen Quellen und die von diesen erwünschten Ausgangssignale erzeugt werden. Diese Ansteuerungssignale werden den elektroakustischen Wandlern zugeführt.

[0011] Zur Resynthese des Schallfelds innerhalb des Zielbeschallungsbereichs und zur Erzeugung der virtuellen Schallquellen durch die elektroakustischen Wandler mittels akustischer Fokussierung können bekannte Verfahren eingesetzt werden. Insbesondere können die Verfahren der Wellenfeldsynthese oder Ambisonics unabhängig voneinander entsprechend den Anforderungen gewählt werden. Die Verwendung der Wellenfeldsynthese ist jedoch bevorzugt.

[0012] Es ist weiterhin bevorzugt, die virtuellen Schallquellen näher am Zielbeschallungsbereich und/oder räumlich dichter anzuordnen als die elektroakustischen Wandler. Dadurch kann die Genauigkeit der Wiedergabe innerhalb des Zielbeschallungsbereichs erhöht werden. So entsteht ein Sweet Spot, also ein begrenzter Zielbeschallungsbereich mit verbesserten Wiedergabeeigenschaften. Durch zeitliches Verschieben der virtuellen Schallquellen kann dieser Sweet Spot, also der begrenzte Zielbeschallungsbereich, dynamisch nachgeführt werden, z.B. einem Zuhörer folgend, der sich bewegt.

[0013] Mit der vorliegenden Erfindung wird eine physikalische Rekonstruktion eines Schallfelds in einem begrenzten Bereich mithilfe mehrerer Lautsprecher bzw. elektroakustischer Wandler erreicht. Dies kann mittels einer geschlossenen, vorzugsweise konvexen Anord-

nung der elektroakustischen Wandler geschehen. Es ist jedoch auch eine nicht geschlossene, beispielsweise lineare Anordnung der elektroakustischen Wandler möglich. Weiterhin kann der gewünschte Wiedergabebereich dynamisch und frei innerhalb bzw. vor der Lautsprecheranordnung platziert werden und so beispielsweise dynamisch an eine Hörerposition angepasst werden. Die Berechnung der Ansteuerung der virtuellen Schallquellen und der tatsächlich vorhandenen elektroakustischen Wandler kann durch verschiedene Verfahren geschehen, in besonders effizienter Weise beispielsweise mit der Wellenfeldsynthese.

[0014] Die Erfindung kann vorteilhaft zur Beschallung eines sich bewegenden Zuhörers oder zur Beschallung eines Zuhörers an einer festen Position mit elektroakustischen Wandlern, die an den Wänden eines Raums angeordnet sind, angewendet werden. Auch ist eine Beschallung mehrerer Zuhörer möglich, indem fokussierte Schallquellen erzeugt werden, die auf mehreren Zielbeschallungsbereichen umgebenen Konturen angeordnet sind. Dazu ist es unter Umständen nötig den Einfluss der virtuellen Schallquellen untereinander zu kompensieren.

[0015] Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher beschrieben, wobei

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfelds zeigt,

Fig. 2 schematisch eine Vorrichtung zur Erzeugung der Ansteuerungssignale für die erfindungsgemäße Vorrichtung zeigt,

Fig. 3(a) bis (f) durch eine kreisförmige Lautsprecheranordnung erzeugte Schallfelder,

Fig. 4(a) und (b) durch eine rechteckige Lautsprecheranordnung erzeugte Schallfelder und

Fig. 5(a) und (b) durch eine lineare Lautsprecheranordnung erzeugte Schallfelder zeigen.

[0016] In Fig. 1 ist eine Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfelds in einem Zielbeschallungsbereich 3 gezeigt, mit der das erfindungsgemäße Verfahren technisch realisiert werden kann. Die elektroakustischen Wandler 16 befinden sich auf einer Kontur 15, die in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform den potentiellen Zielbeschallungsbereich 3 umschließt. Eine solche geschlossene Anordnung ist jedoch nicht zwingend notwendig; es ist beispielsweise auch eine lineare Anordnung der elektroakustischen Wandler möglich. Die elektroakustischen Wandler 16 wandeln die eingespeisten elektrischen Signale in Schallsignale um. Durch die den elektroakustischen Wandlern 16 zugeführten Signale werden durch die elektroakustischen Wandler 16 virtuelle Sekundärquellen (virtuelle Lautsprecher) 14 erzeugt, die wiederum auf einer Kontur 13 angeordnet sind, die

den Zielbeschallungsbereich 3 umgibt. Diese virtuellen Lautsprecher 14 werden als fokussierte Schallquellen erzeugt und entsprechend realer Lautsprecher an deren Position angesteuert, um das gewünschte Schallfeld entsprechend einer gewünschten virtuellen Schallquelle 1 innerhalb des Bereichs 3 zu erzeugen.

[0017] Die fokussierten Schallquellen 14 werden vorzugsweise räumlich dichter angeordnet als die elektroakustischen Wandler 16, da dadurch die Genauigkeit der Wiedergabe innerhalb des Beschallungsbereichs 3 höher ist und auf diese Weise ein "Sweet Spot" mit verbesserten Wiedergabeeigenschaften entsteht.

[0018] Die Lautsprecheransteuerungssignale 12 zum Erzeugen der fokussierten Schallquellen 14 auf der Kontur 13 werden in einer Signalverarbeitungseinheit 4 erzeugt. Hierfür werden im Allgemeinen die Positionen 6 und die Ausrichtungen 7 der Schallquellen 14 benötigt. Weiterhin ist eine Signalverarbeitungseinheit 5 vorgesehen, die die Ansteuerungssignale 11 für die virtuellen Lautsprecher 14 innerhalb des Zielbeschallungsbereichs 3 berechnet. Hierzu werden wiederum im Allgemeinen die Positionen 8 und Ausrichtungen 9 der virtuellen Lautsprecher 14 benötigt.

[0019] Prinzipiell ist das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung unabhängig vom verwendeten Verfahren zur Resynthese des Schallfelds innerhalb des Zielbeschallungsbereichs 3 und unabhängig vom verwendeten Verfahren zur Erzeugung der virtuellen Lautsprecher 14 durch die elektroakustischen Wandler 16 mittels akustischer Fokussierung. Insbesondere sind die Verfahren der Wellenfeldsynthese oder Ambisonics hierfür geeignet und können unabhängig voneinander entsprechend den Anforderungen gewählt werden. Eine besonders effiziente Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich bei der Verwendung der Wellenfeldsynthese.

[0020] Bei Anwendung der Wellenfeldsynthese können die Signalverarbeitungseinheiten 4 und 5 folgendermaßen realisiert werden.

[0021] In der Signalverarbeitungseinheit 4 werden die Ansteuerungssignale der virtuellen fokussierten Schallquellen 14 entsprechend der Positionen der elektroakustischen Wandler 16 und der virtuellen Lautsprecher 14 erzeugt. Hierzu werden zunächst die benötigten elektroakustischen Wandler 16 entsprechend der Position der fokussierten Schallquellen 14 und deren Abstrahlrichtung ausgewählt. Für die Auswahl der elektroakustischen Wandler 16 kann beispielsweise ein Verfahren benutzt werden, wie es aus der Dokument von S. Spors, "Extension of an Analytic Secondary Source Selection Criterion for Wave Field Synthesis", in: 123. Convention der Audio Engineering Society (AES), New York, USA, Oktober 2007 beschrieben wird. Eine wichtige Eigenschaft einer fokussierten Quelle ist, dass die Wellenfronten vor dem Fokuspunkt, also der Position der fokussierten Schallquelle, zu diesem hin konvergieren und dahinter wie eine Punktquelle am Fokuspunkt divergieren. Damit ist die Laufrichtung der Wellenfronten nur

in einem Halbraum gleich der einer Punktquelle im Fokuspunkt. Dieser Halbraum kann gemäß der Erfindung durch entsprechende Verfahren gesteuert werden, bei der Wellenfeldsynthese geschieht dies beispielsweise durch die Auswahl der aktiven elektroakustischen Wandler. Für die ausgewählten aktiven elektroakustischen Wandler kann dann beispielsweise entsprechend des Fokusoperators, wie er in der Doktorarbeit von E. Verheijen, "Sound Reproduction by Wave Field Synthesis", Delft University of Technology, 1997, beschrieben ist, die Eingangssignale der Signalverarbeitungseinheit 4 gewichtet und zeitverzögert werden.

[0022] In Fig. 2 ist schematisch die Anordnung und der Aufbau der Signalverarbeitungseinheiten gezeigt, mit denen die elektroakustischen Wandler 16 angesteuert werden können. Gemäß der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform können unter Verwendung der modellbasierten Wellenfeldsynthese die Lautsprechersignale durch Vorfilterung im Vorfilter 18, Gewichtung und Verzögerung des Signals von der virtuellen Quelle 10 gewonnen werden. Die Ausgangssignale der Signalverarbeitungseinheit 5 entstehen also durch Zeitverzögerung und Gewichtung des Quellensignals entsprechend der Theorie der Wellenfeldsynthese (siehe die oben genannte Doktorarbeit von E. Verheijen) für die Wiedergabe von virtuellen Punktquellen und ebenen Wellen oder anderer komplexer Schallfelder. In der Signalverarbeitungseinheit 4 kann für die fokussierten Quellen bei der Wellenfeldsynthese ebenso vorgefahren werden, wobei jedoch hier die Verzögerungen negativ sind und der Vorfilter 17 eine andere Charakteristik aufweist.

[0023] Es ist weiterhin möglich, Vorfilterungen, Gewichtungen und Verzögerungen auch in einer einzigen Signalverarbeitungseinheit zusammenzufassen bzw. zu kombinieren. Das Signal eines spezifischen elektroakustischen Wandler entsteht dann durch eine kombinierte Vorfilterung und mehrfache Gewichtung/Verzögerung des Signals 10 der virtuellen Quelle 10.

[0024] Die Effizienz der Realisierung mittels Wellenfeldsynthese liegt darin, dass Verzögerungen und Gewichtungen eines Eingangssignals sehr effizient umgesetzt werden können. Weiterhin können die notwendigen Zeitverzögerungen und Gewichtungen mittels einfacher Formeln aus der Geometrie und der gewünschten Quelle gewonnen werden. Hierbei ist jedoch auch die Verwendung von anderen Verfahren möglich. So können die fokussierten Schallquellen nicht nur durch die Wellenfeldsynthese realisiert werden, sondern es ist auch die Verwendung von Higher-Order Ambisonics möglich, wie sie auch von A.J. Berkhout, D. de Vries und P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis", Journal of the Acoustical Society of America, Volume 93(5): 2764-2778, Mai 1993, beschrieben wird. Weiterhin ist auch eine Spectral Division Method (siehe die oben genannte Veröffentlichung von S. Spors, R. Rabenstein und J. Ahrens) oder die Anwendung von modifizierten "time reversal focusing"-Ansätzen denkbar.

[0025] Die Ansteuerung der fokussierten Schallquellen kann, neben der oben dargestellten Wellenfeldsynthese, die model- oder datenbasiert sein kann, auch durch Time- und Amplitude Delay-Techniken erfolgen, wie Stereophonie oder VBAP, durch Higher-Order Ambisonics, einer Spectral Division-Methode, beispielsweise gemäß der Doktorarbeit von J. Daniel, "Representation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimedia", Université Paris 6, 2001, oder numerische (Least-Squares)-Ansätze erfolgen. Hierbei sind auch beliebige Kombinationen der Techniken für die Realisation und Ansteuerung der virtuellen fokussierten Schallquellen denkbar.

[0026] Beispiele für die Schallfelder, die durch verschiedene Anordnungen von elektroakustischen Wandlern erzeugt werden, sind in den Figuren 3 bis 5 gezeigt. In Fig. 3 ist ein kreisförmiger Hörbereich von 56 elektroakustischen Wandlern umgeben. Es wird die Wiedergabe einer ebenen Welle angestrebt. Eine solche Wiedergabe einer ebenen Welle ist in (a) und (b) für eine Frequenz von 1 kHz bzw. 4 kHz gezeigt. Hierbei ist in (b) deutlich zu sehen, dass Artefakte aufgrund der räumlichen Abtastung (spatial aliasing) auftreten. Diese erstrecken sich über nahezu den gesamten Hörbereich.

[0027] Figuren 3(c) und (d) zeigen die Erzeugung einer fokussierten Quelle mittels Wellenfeldsynthese, wiederum für eine Frequenz von 1 kHz bzw. 4 kHz. In (d) zeigt sich, dass es einen Bereich um die fokussierte Quelle gibt, der nahezu frei von Artefakten ist. Dies kann im Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ausgenutzt werden. Fig. 3(e) zeigt die Wiedergabe unter Verwendung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung. In Fig. 3(e) wird gezeigt, dass aus den 56 elektroakustischen Wandlern 56 fokussierte Quellen erzeugt werden, die kreisförmig mit einem Durchmesser von 40 cm um das Zentrum angeordnet sind und die für die Wiedergabe einer ebenen Welle mit 4 kHz entsprechend dem Verfahren gemäß der Erfindung angesteuert werden. Es ist klar ersichtlich, dass innerhalb des Zielbeschallungsbereichs eine Resynthese ohne Artefakte erfolgt. In Fig. 3(f) ist das gleiche Szenario gezeigt, nur wurde hier der Zielbeschallungsbereich verschoben. Auch hier ist klar zu sehen, dass die Resynthese ohne wesentliche Artefakte erfolgt.

[0028] Schallfelder ähnlich denen, die in Fig. 3(e) und (f) gezeigt sind, sind in Figuren 4(a) und (b) gezeigt, nur dass hier statt der kreisförmigen Anordnung der elektroakustischen Wandler eine rechteckige Anordnung verwendet wird. Eine solche Anordnung wird typischerweise bei praktischen Systemen benutzt. Wiederum zeigt Fig. 4(a) die Wiedergabe einer ebenen Welle mit 4 kHz und einem (kreisförmigen) Zielbeschallungsbereich in der Mitte, Fig. 4(b) die Situation, in der der Zielbeschallungsbereich verschoben ist. auch hier ist gezeigt, dass die Resynthese ohne wesentliche Artefakte erfolgt.

[0029] Schließlich wird gemäß den Figuren 5(a) und (b) eine lineare Lautsprecheranordnung betrachtet, wie

dies zum Teil bei praktischen Systemen genutzt wird. entsprechend Fig. 3 und 4 zeigt auch die Fig. 5 die Wiedergabe einer ebenen Welle mit 4 kHz, wobei in (a) der Zielbeschallungsbereich in der Mitte angeordnet ist. In Fig. 5(b) ist gegenüber (a) der Einfallswinkel der ebenen Welle im Zielbeschallungsbereich geändert. Auch hier ist deutlich zu sehen, dass die Resynthese ohne Artefakte erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wiedergabe eines Schallfelds in einem Zielbeschallungsbereich (3) mittels mehrerer elektroakustischer Wandler (16), mit den Schritten:

- Bestimmen von Ansteuerungssignalen (11) für mehrere virtuelle, auf einer den Zielbeschallungsbereich (3) umgebenden Kontur (13) angeordnete fokussierte Schallquellen (14) zur Wiedergabe des Schallfelds im Zielbeschallungsbereich (3), so dass im Zielbeschallungsbereich (3) das Schallfeld physikalisch rekonstruiert wird, wobei die Ansteuerungssignale (11) für die fokussierten Schallquellen (14) durch Wellenfeldsynthese, ein Ambisonics- oder ein Higher-Order-Ambisonics-Verfahren bestimmt werden;
- Bestimmen von Ansteuerungssignalen (12) für die elektroakustischen Wandler (16) zum Erzeugen der fokussierten Schallquellen (14) und zum Ansteuern der fokussierten Schallquellen (14) mit den Ansteuerungssignalen (11) für die fokussierten Schallquellen (14);
- Zuführen der Ansteuerungssignale (12) an die elektroakustischen Wandler (16).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Ansteuerungssignale (11) für die fokussierten Schallquellen (14) auf der Basis der Positionen und/oder der Ausrichtungen der fokussierten Schallquellen (14) bestimmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Ansteuerungssignale (12) für die elektroakustischen Wandler (16) zur Erzeugung der fokussierten Schallquellen (14) auf der Basis der Positionen und/oder der Ausrichtungen der elektroakustischen Wandler (16) und/oder der fokussierten Schallquellen (14) bestimmt werden.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Ansteuerungssignale für die elektroakustischen Wandler (16) zur Erzeugung der fokussierten Schallquellen (14) durch Wellenfeldsynthese, ein Ambisonics- oder Higher-Order-Ambisonics-Verfahren, ein Spectral-Division-Verfahren oder einen modifizierten "time-reversal focusing"-Ansatz

bestimmt werden.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die fokussierten Schallquellen (14) näher am Zielbeschallungsbereich (3) und/oder räumlich dichter als die elektroakustischen Wandler (16) angeordnet sind. 5
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Position des Zielbeschallungsbereichs (3) durch zeitliches Verändern der Positionen der fokussierten Schallquellen (14) zeitlich verändert wird. 10
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Ansteuerungssignale (11) für fokussierte Schallquellen (14) bestimmt werden, die auf mehrere Zielbeschallungsbereiche (3) umgebenden Konturen (13) angeordnet sind, so dass das Schallfeld in den mehreren Zielbeschallungsbereichen (3) wiedergegeben wird. 15 20
8. Vorrichtung zur Wiedergabe eines Schallfelds in einem Zielbeschallungsbereich (3) insbesondere durch ein Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, mit mehreren elektroakustischen Wandlern (16), einer ersten Signalverarbeitungseinheit (5) zum Bestimmen von Ansteuerungssignalen (11) für mehrere virtuelle, auf einer den Zielbeschallungsbereich (3) umgebenden Kontur (13) angeordnete fokussierte Schallquellen (14) zur Wiedergabe des Schallfelds im Zielbeschallungsbereich (3), so dass im Zielbeschallungsbereich (3) das Schallfeld physikalisch rekonstruiert wird, wobei die Ansteuerungssignale (11) für die fokussierten Schallquellen (14) durch Wellenfeldsynthese, ein Ambisonics- oder ein Higher-Order-Ambisonics-Verfahren bestimmt werden, und einer zweiten Signalverarbeitungseinheit (4) zum Bestimmen von Ansteuerungssignalen (12) für die elektroakustischen Wandler (16) zum Erzeugen der fokussierten Schallquellen (14) und zum Ansteuern der fokussierten Schallquellen (14) mit den Ansteuerungssignalen (11) für die fokussierten Schallquellen (14). 25 30 35 40 45
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die elektroakustischen Wandler (16) auf einer den Zielbeschallungsbereich (3) umgebenden Kontur (15), insbesondere einem Kreis oder einem Rechteck, angeordnet sind. 50
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die elektroakustischen Wandler (16) auf einer offenen Kontur, insbesondere eine Linie, angeordnet sind. 55
11. Vorrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10, wobei die fokussierten Schallquellen (14) näher am Zielbe-

schallungsbereich (3) und/oder räumlich dichter als die elektroakustischen Wandler (16) angeordnet sind.

Claims

1. A method for reproducing a sound field in a target sound area (3) by means of a plurality of electroacoustic transducers (16), comprising the steps of:
 - determining control signals (11) for a plurality of virtual focused sound sources (14) arranged on a contour (13) surrounding the target sound area (3) for reproducing the sound field in the target sound area (3) such that in the target sound area (3) the sound field is physically reconstructed, wherein the control signals (11) for the focused sound sources (14) are determined by wave field synthesis, an Ambisonics or a higher-order Ambisonics method;
 - determining control signals (12) for the electroacoustic transducers (16) for generating the focused sound sources (14) and for controlling the focused sound sources (14) with the control signals (11) for the focused sound sources (14);
 - feeding the control signals (12) to the electroacoustic transducers (16).
2. The method according to claim 1, wherein the control signals (11) for the focused sound sources (14) are determined on the basis of the positions and/or alignments of the focused sound sources (14).
3. The method according to claim 1 or 2, wherein the control signals (12) for the electroacoustic transducers (16) for generating the focused sound sources (14) are determined on the basis of the positions and/or orientations of the electroacoustic transducers (16) and/or of the focused sound sources (14).
4. The method according to any one of the preceding claims, wherein the control signals for the electroacoustic transducers (16) for generating the focused sound sources (14) are determined by wave field synthesis, an Ambisonics or a higher-order Ambisonics method, a spectral division method or a modified time-reversal focusing method.
5. The method according to any one of the preceding claims, wherein the focused sound sources (14) are arranged closer to the target sound area (3) and/or spatially closer than the electroacoustic transducers (16).
6. The method according to any one of the preceding claims, wherein the position of the target sound field (3) is temporally changed by temporally changing

the positions of the focused sound sources (14).

7. The method according to any one of the preceding claims, wherein control signals (11) are determined for focused sound sources (14) which are arranged on contours (13) surrounding a plurality of target sound areas (3) such that the sound field is reproduced in the plurality of target sound areas (3). 5
8. An apparatus for reproducing a sound field in a target sound area (3), in particular by a method according to any one of the preceding claims, with a plurality of electroacoustic transducers (16), a first signal processing unit (5) for determining control signals (11) for a plurality of virtual focused sound sources (14) arranged on a contour (13) surrounding the target sound area (3) for reproducing the sound field in the target sound area (3) such that in the target sound area (3) the sound field is physically reconstructed, wherein the control signals (11) for the focused sound sources (14) are determined by wave field synthesis, an Ambisonics or a higher-order Ambisonics method, and a second signal processing unit (4) for determining control signals (12) for the electroacoustic transducers (16) for generating the focused sound sources (14) and for controlling the focused sound sources (14) with the control signals (11) for the focused sound sources (14). 10 15 20 25 30
9. The apparatus according to claim 8, wherein the electroacoustic transducers (16) are arranged on a contour (15) surrounding the target sound area (3), in particular a circle or a rectangle. 35
10. The apparatus according to claim 8, wherein the electroacoustic transducers (16) are arranged on an open contour, in particular a line. 40
11. The apparatus according to claim 8, 9 or 10, wherein the focused sound sources (14) are arranged closer to the target sound area (3) and/or spatially closer than the electroacoustic transducers (16). 45

Revendications

1. Procédé servant à reproduire un champ sonore dans une zone de sonorisation ciblée (3) au moyen de plusieurs convertisseurs (16) électroacoustiques, comprenant les étapes suivantes consistant à : 50
 - déterminer des signaux de commande (11) pour plusieurs sources sonores (14) virtuelles focalisées disposées sur un contour (13) entourant la zone de sonorisation ciblée (3), servant à reproduire le champ sonore dans la zone de sonorisation ciblée (3) de sorte que le champ

sonore est physiquement reconstruit dans la zone de sonorisation ciblée (3), dans lequel les signaux de commande (11) pour les sources sonores (14) focalisées sont déterminés par une synthèse de champ d'ondes, par un procédé ambisonique ou par un procédé ambisonique d'ordre supérieur ;

- déterminer des signaux de commande (12) pour les convertisseurs (16) électroacoustiques servant à générer les sources sonores (14) focalisées et servant à commander les sources sonores (14) focalisées avec les signaux de commande (11) pour les sources sonores (14) focalisées ;

- amener les signaux de commande (12) aux convertisseurs (16) électroacoustiques.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les signaux de commande (11) pour les sources sonores (14) focalisées sont déterminés sur la base des positions et/ou des orientations des sources sonores (14) focalisées.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les signaux de commande (12) pour les convertisseurs (16) électroacoustiques servant à générer les sources sonores (14) focalisées sont déterminés sur la base des positions et/ou des orientations des convertisseurs (16) électroacoustiques et/ou des sources sonores (14) focalisées.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les signaux de commande pour les convertisseurs (16) électroacoustiques servant à générer les sources sonores (14) focalisées sont déterminés par une synthèse de champ d'ondes, par un procédé ambisonique ou un procédé ambisonique d'ordre supérieur, par un procédé de division spectrale ou par une approche modifiée focalisée sur le retournement temporel.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les sources sonores (14) focalisées sont disposées davantage à proximité de la zone de sonorisation ciblée (3) et/ou avec une plus grande concentration spatiale que les convertisseurs (16) électroacoustiques.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la position de la zone de sonorisation ciblée (3) est modifiée dans le temps par une modification temporelle des positions des sources sonores (14) focalisées.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les signaux de commande (11) sont déterminés pour les sources sonores (14) focalisées, qui sont disposées sur des contours (13)

entourant plusieurs zones de sonorisation ciblée (3)
si bien que le champ sonore est reproduit dans les
nombreuses zones de sonorisation ciblée (3).

8. Dispositif servant à reproduire un champ sonore 5
dans une zone de sonorisation ciblée (3) en particu-
lier par un procédé selon l'une quelconque des re-
vendications précédentes, comprenant plusieurs
convertisseurs (16) électroacoustiques,
une première unité de traitement de signal (5) ser- 10
vant à déterminer des signaux de commande (11)
pour plusieurs sources sonores (14) virtuelles foca-
lisées disposées sur un contour (13) entourant la
zone de sonorisation ciblée (3), servant à reproduire
le champ sonore dans la zone de sonorisation ciblée 15
(3) de sorte que le champ sonore est physiquement
reconstruit dans la zone de sonorisation sonore (3),
dans lequel les signaux de commande (11) pour les
sources sonores (14) focalisées sont déterminés par
une synthèse de champ d'ondes, un procédé ambi- 20
sonique ou un procédé ambisonique d'ordre supé-
rieur, et
une deuxième unité de traitement de signal (4) ser-
vant à déterminer des signaux de commande (12) 25
pour les convertisseurs (16) électroacoustiques ser-
vant à générer les sources sonores (14) focalisées
et servant à commander les sources sonores (14)
focalisées avec les signaux de commande (11) pour
les sources sonores (14) focalisées. 30
9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel les
convertisseurs (16) électroacoustiques sont dispo-
sés sur un contour (15) entourant la zone de sono-
risation ciblée (3), en particulier sur un cercle ou sur
un rectangle. 35
10. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel les
convertisseurs (16) électroacoustiques sont dispo-
sés sur un contour ouvert, en particulier une ligne. 40
11. Dispositif selon la revendication 8, 9 ou 10, dans
lequel les sources sonores (14) focalisées sont dis-
posées davantage à proximité au niveau de la zone
de sonorisation ciblée (3) et/ou avec une plus grande
concentration spatiale que les convertisseurs (16) 45
électroacoustiques.

50

55

Fig. 1

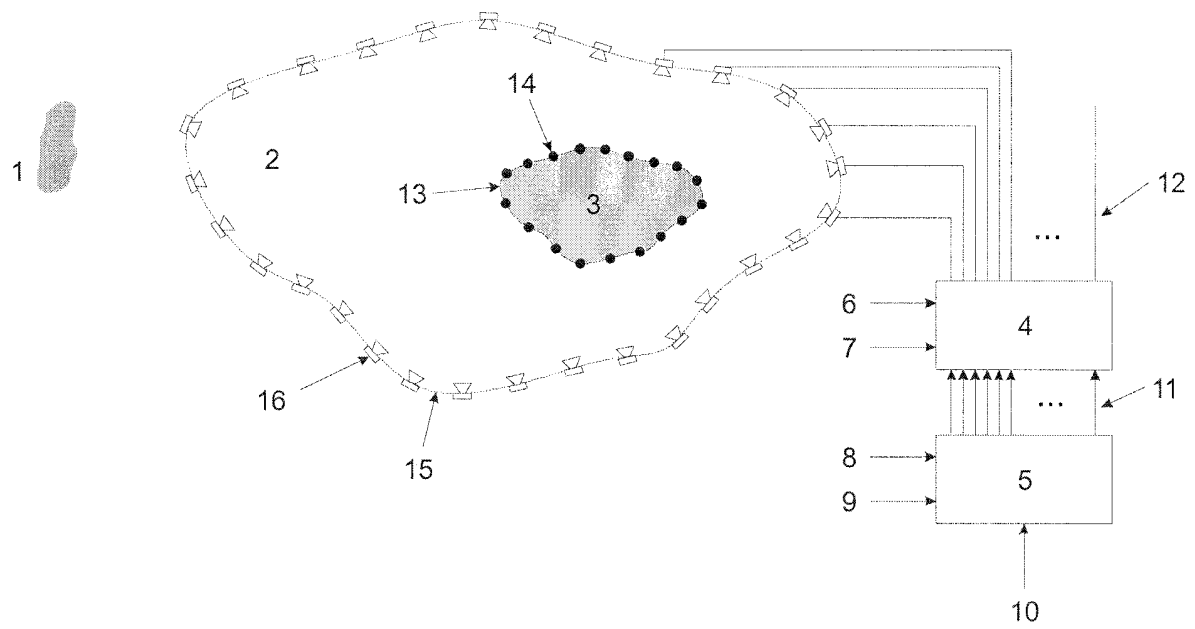


Fig. 2

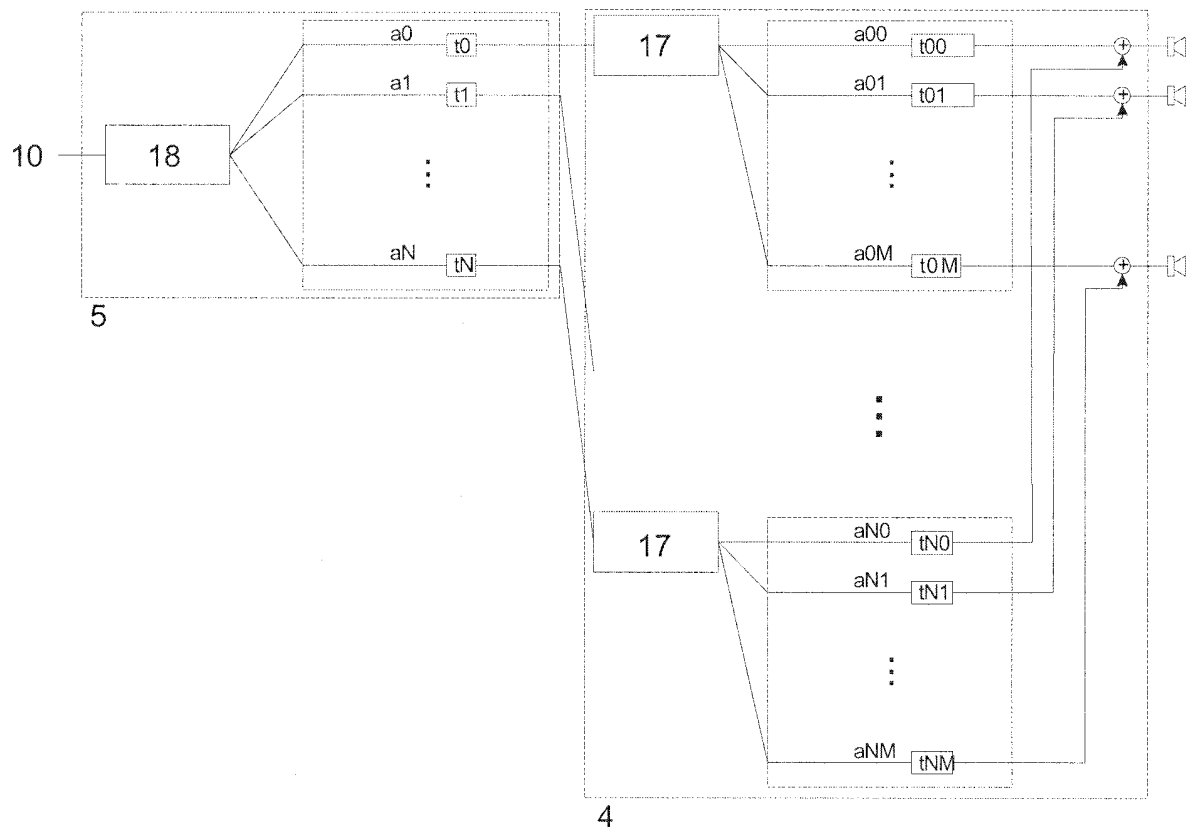


Fig. 3

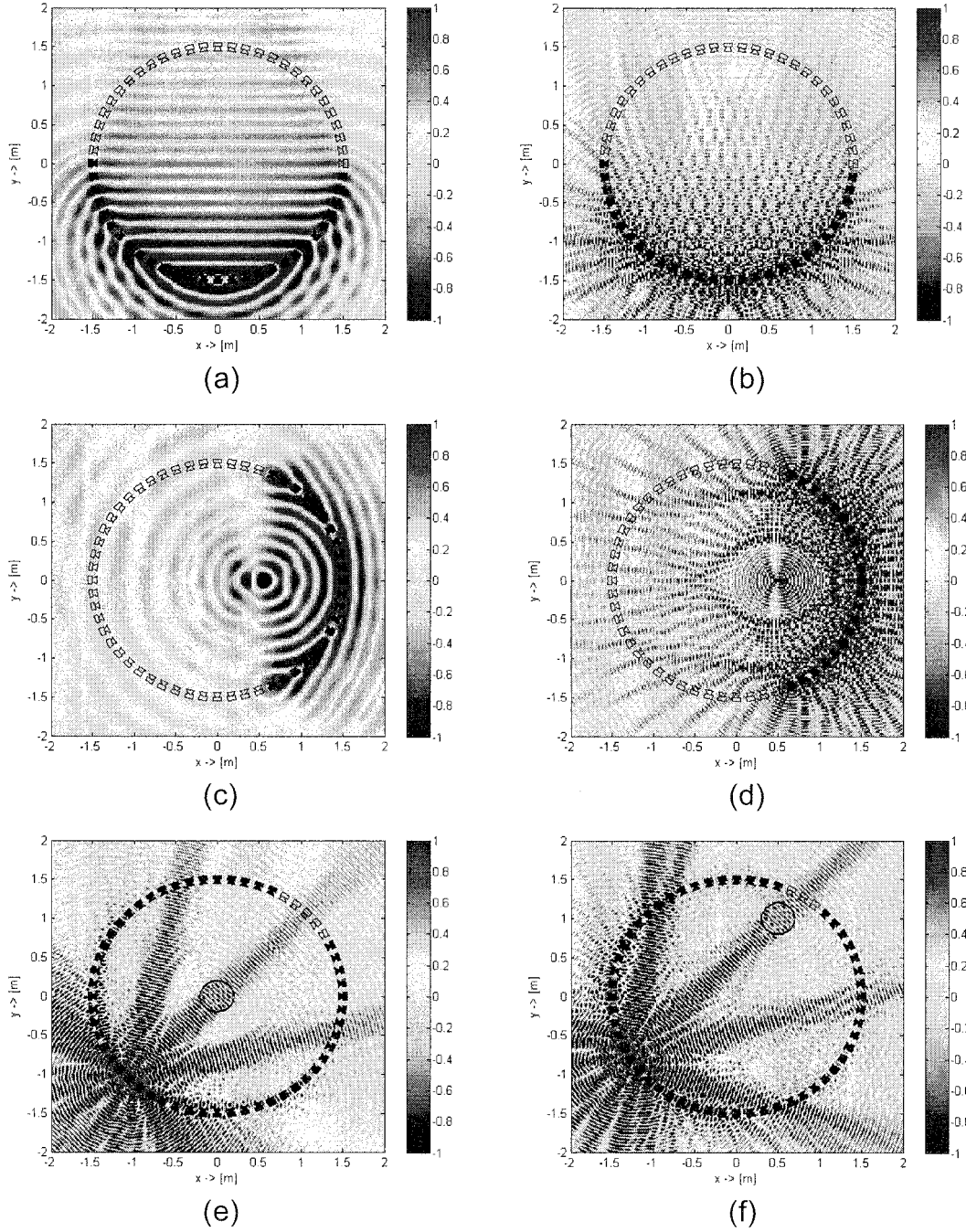


Fig. 4

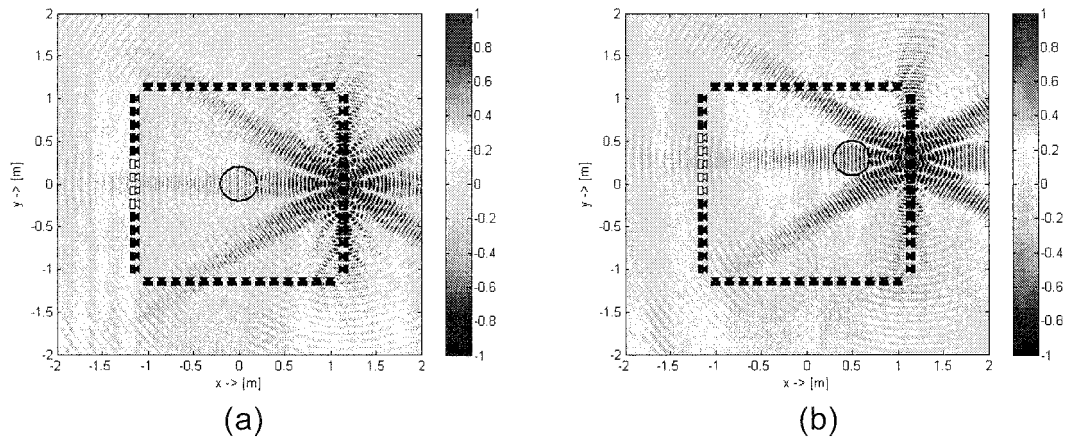
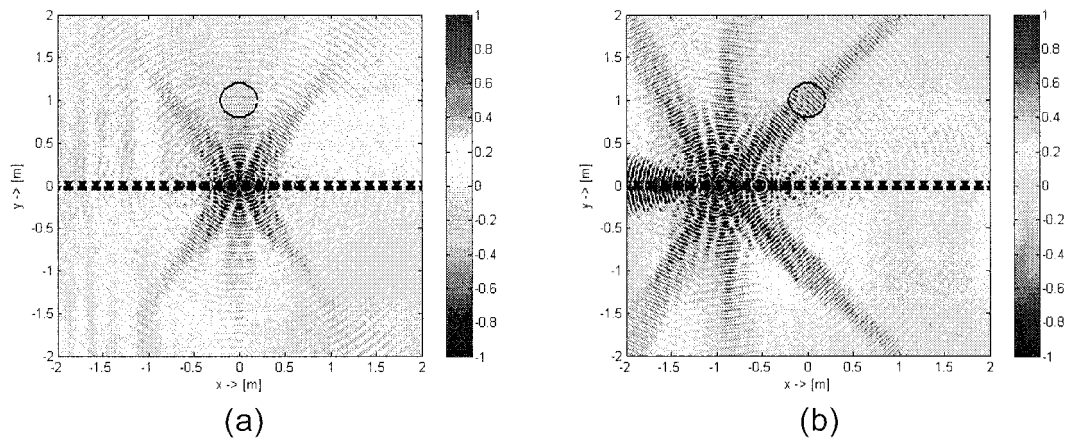


Fig. 5



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

- DE 10125229 A [0002]
- DE 102005052904 A [0002]
- WO 20050195954 A2 [0005]
- DE 102007032272 A1 [0007]

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 [0003]
- **S. SPORS ; H. WIERSTORF ; N. GEIER ; J. AHRENS.** Physical and Perceptual Properties of Focused Sources in Wave Field Synthesis. *Convention der Audio Engineering Society*, 09. Oktober 2009 [0004]
- **J. HANNEMANN ; K. D. DONOHUE.** Virtual Sound Source Rendering Using a Multipole-Expansion and Method-of-Moments Approach. *J. Audio Eng. Soc.*, 06. Juni 2008, vol. 56 [0005]
- **J. AHRENS ; S. SPORS.** Analytical driving functions for higher order Ambisonics. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 30. März 2008 [0006]
- **S. SPORS.** Extension of an Analytic Secondary Source Selection Criterion for Wave Field Synthesis. *123. Convention der Audio Engineering Society (AES)*, Oktober 2007 [0021]
- **E. VERHEIJEN.** Sound Reproduction by Wave Field Synthesis. *Delft University of Technology*, 1997 [0021]
- **A.J. BERKHOUT ; D. DE VRIES ; P. VOGEL.** Acoustic control by wave field synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America*, Mai 1993, vol. 93 (5), 2764-2778 [0024]
- **J. DANIEL.** Representation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimedia. *Universite Paris 6*, 2001 [0025]