



(11)

EP 2 754 151 B2

(12)

NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:
31.10.2018 Patentblatt 2018/44

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:
06.01.2016 Patentblatt 2016/01

(21) Anmeldenummer: **12756411.0**

(22) Anmeldetag: **23.08.2012**

(51) Int Cl.:
G10K 15/12 (2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/066392

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/034444 (14.03.2013 Gazette 2013/11)

(54) VORRICHTUNG, VERFAHREN UND ELEKTROAKUSTISCHES SYSTEM ZUR NACHHALLZEITVERLÄNGERUNG

DEVICE, METHOD AND ELECTRO-ACOUSTIC SYSTEM FOR PROLONGING A REVERBERATION PERIOD

DISPOSITIF, PROCÉDÉ ET SYSTÈME ÉLECTROACOUSTIQUE DE PROLONGEMENT D'UN TEMPS DE RÉVERBÉRATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **07.09.2011 DE 102011082310
07.09.2011 US 201161531899 P**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.07.2014 Patentblatt 2014/29

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung E.V.
80686 München (DE)**

(72) Erfinder: **RODIGAST, René
07639 Tautenhain (DE)**

(74) Vertreter: **Stöckeler, Ferdinand et al
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler
Zinkler, Schenk & Partner mbB
Patentanwälte
Radlkoferstrasse 2
81373 München (DE)**

- (56) Entgegenhaltungen:
- THEILE G ET AL: "Wellenfeldsynthese, NEUE MOEGLICHKEITEN DER RAEUMLICHEN TONAUFNAHME UND -WIEDERGABE", FKT FERNSEH UND KINOTECHNIK, FACHVERLAG SCHIELE & SCHON GMBH., BERLIN, DE, Bd. 57, Nr. 4, 1. April 2003 (2003-04-01), Seiten 735-739, XP002260015, ISSN: 1430-9947
 - BOONE M M: "Acoustic rendering with wave field synthesis", ACM SIGGRAPH AND EUROGRAPHICS CAMPFIRE: ACOUSTIC RENDERING FOR VIRTUAL ENVIRONMENTS, XX, XX, 29. Mai 2001 (2001-05-29), Seiten 1-9, XP002271770,
 - CORTEEL ETIENNE ET AL: "LISTENING ROOM COMPENSATION FOR WAVE FIELD SYNTHESIS. WHAT CAN BE DONE?", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL AES CONFERENCE, XX, XX, 25. Mai 2003 (2003-05-25), Seiten 1-17, XP008070938,
 - E CORTEEL: "Synthesis of Directional Sources Using Wave Field Synthesis, Possibilities, and Limitations", EURASIP JOURNAL ON ADVANCES IN SIGNAL PROCESSING, Bd. 2007, Nr. 1, 1. Januar 2007 (2007-01-01), Seite 090509, XP055038173, ISSN: 1687-6180, DOI: 10.1155/2007/90509

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung ein Verfahren und ein elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung.

[0002] Ein Raum ist aus akustischer Sicht nicht optimal für verschiedene Anwendungen. So verlangt eine musikalische Darbietung normalerweise etwas Hall um gut zu klingen. Andererseits sind Sprecher teilweise unverständlich, wenn der Raum zu hallig ist. Eine Anpassung der Nachhallzeit mit Hilfe einer Beschallungsanlage ist deshalb sinnvoll.

[0003] So werden zum Beispiel in Theatern, Kongresszentren, Planetarien, Seminarräumen, Multifunktionsräumen für unterschiedliche Anlässe unterschiedliche akustische Bedingungen erforderlich sein und insbesondere unterschiedliche Anforderungen an die Nachhallzeit benötigt. Zur Beeinflussung der Nachhallzeit können dabei elektroakustische Systeme zur Nachhallzeitverlängerung eingesetzt werden. Solche Systeme können entweder z.B. in eine bereits existierende Konzerthalle nachträglich eingebaut werden. Ebenso kann es jedoch sinnvoll sein, bereits bei Konstruktion und Bau entsprechender Gebäude und Hallen, z.B. beim Messebau, ein elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung vorzusehen und in die Gebäudeplanung mit einzubeziehen. Auch im Rahmen von Audio-Wiedergaben für Entertainmentzwecke kann eine Nachhallzeitverlängerung wünschenswert sein.

[0004] Im Folgenden wird die Technik der Wellenfeldsynthese näher erläutert. Die Wellenfeldsynthese (WFS; WFS = Wave-Field Synthesis) wurde an der TU Delft erforscht und erstmals in den späten 80er-Jahren vorgestellt (Berkhout, A.J.; de Vries, D.; Vogel, P.: Acoustic control by Wave-field Synthesis. JASA 93, 1993).

[0005] Infolge der enormen Anforderungen dieser Methode an Rechnerleistung und Übertragungsraten wurde die Wellenfeldsynthese bis jetzt nur selten in der Praxis angewendet. Erst die Fortschritte in den Bereichen der Mikroprozessortechnik und der Audiocodierung gestatten heute den Einsatz dieser Technologie in konkreten Anwendungen. Erste Produkte im professionellen Bereich werden nächstes Jahr erwartet.

[0006] Die Grundidee von WFS basiert auf der Anwendung des Huygens'schen Prinzips der Wellentheorie: Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die sich kugelförmig bzw. kreisförmig ausbreitet. Angewandt auf die Akustik kann durch eine große Anzahl von Lautsprechern, die nebeneinander angeordnet sind (einem so genannten Lautsprecherarray), jede beliebige Form einer einlaufenden Wellenfront nachgebildet werden. Im einfachsten Fall, einer einzelnen wiederzugebenden Punkquelle und einer linearen Anordnung der Lautsprecher, müssen die Audiosignale eines jeden Lautsprechers mit einer Zeitverzögerung und Amplitudenskalierung so gespeist werden, dass sich die abgestrahlten Klangfelder der einzelnen Lautsprecher richtig überlagern. Bei mehreren

Schallquellen wird für jede Quelle der Beitrag zu jedem Lautsprecher getrennt berechnet und die resultierenden Signale addiert. In einem Raum mit reflektierenden Wänden können auch Reflexionen als zusätzliche Quellen über das Lautsprecherarray wiedergegeben werden. Der Aufwand bei der Berechnung hängt daher stark von der Anzahl der Schallquellen, den Reflexionseigenschaften des Aufnahmeraums und der Anzahl der Lautsprecher ab.

[0007] Der Vorteil dieser Technik liegt im Besonderen darin, dass ein natürlicher räumlicher Klangeindruck über einen großen Bereich des Wiedergaberaums möglich ist. Im Gegensatz zu den bekannten Techniken werden Richtung und Entfernung von Schallquellen sehr exakt wiedergegeben. In beschränktem Maße können virtuelle Schallquellen sogar zwischen dem realen Lautsprecherarray und dem Hörer positioniert werden.

[0008] Durch die Technik der Wellenfeldsynthese (WFS) lässt sich somit ein guter räumlicher Klang für einen großen Hörerbereich erzielen. Wie oben ausgeführt, basiert die Wellenfeldsynthese auf dem Prinzip von Huygens, nach welchem sich Wellenfronten durch Überlagerung von Elementarwellen formen und aufbauen lassen. Nach mathematisch exakter theoretischer Beschreibung müssten unendlich viele Quellen in unendlich kleinem Abstand für die Erzeugung der Elementarwellen genutzt werden. Praktisch werden jedoch endlich viele Lautsprecher in einem endlich kleinen Abstand zueinander genutzt. Jeder dieser Lautsprecher wird gemäß dem WFS-Prinzip mit einem Audiosignal von einer virtuellen Quelle, das ein bestimmtes Delay und einen bestimmten Pegel hat, angesteuert. Pegel und Delays sind in der Regel für alle Lautsprecher unterschiedlich.

[0009] Wie oben ausgeführt, arbeitet ein Wellenfeldsynthesesystem auf der Basis des Huygens-Prinzips und rekonstruiert eine gegebene Wellenform beispielsweise einer virtuellen Quelle, die in einem bestimmten Abstand zu einem Hörer angeordnet ist durch eine Vielzahl von Einzelwellen. Der Wellenfeldsynthesealgorithmus erhält somit Informationen über die tatsächliche Position eines Einzellautsprechers aus dem Lautsprecherarray, um dann für diesen Einzellautsprecher ein Komponentensignal zu berechnen, das dieser Lautsprecher dann letztendlich abstrahlen muss, damit beim Zuhörer eine Überlagerung des Lautsprechersignals von dem einen Lautsprecher mit den Lautsprechersignalen der anderen aktiven Lautsprecher eine Rekonstruktion dahingehend durchführt, dass der Hörer den Eindruck hat, dass er nicht von vielen Einzellautsprechern "beschallt" wird, sondern lediglich von einem einzigen Lautsprecher an der Position der virtuellen Quelle.

[0010] Für mehrere virtuelle Quellen in einem Wellenfeldsynthesesetting wird der Beitrag von jeder virtuellen Quelle für jeden Lautsprecher, also das Komponentensignal der ersten virtuellen Quelle für den ersten Lautsprecher, der zweiten virtuellen Quelle für den ersten Lautsprecher, etc. berechnet, um dann die Komponentensignale aufzusummen, um schließlich das tatsächli-

che Lautsprechersignal zu erhalten. Im Falle von beispielsweise drei virtuellen Quellen würde die Überlagerung der Lautsprechersignale aller aktiven Lautsprecher beim Hörer dazu führen, dass der Hörer nicht den Eindruck hat, dass er von einem großen Array von Lautsprechern beschallt wird, sondern dass der Schall, den er hört, lediglich von drei an speziellen Positionen positionierten Schallquellen kommt, die gleich den virtuellen Quellen sind.

[0011] Die Berechnung der Komponentensignale erfolgt in der Praxis meist dadurch, dass das einer virtuellen Quelle zugeordnete Audiosignal je nach Position der virtuellen Quelle und Position des Lautsprechers zu einem bestimmten Zeitpunkt mit einer Verzögerung und einem Skalierungsfaktor beaufschlagt wird, um ein verzögertes und/oder skaliertes Audiosignal der virtuellen Quelle zu erhalten, das das Lautsprechersignal unmittelbar darstellt, wenn nur eine virtuelle Quelle vorhanden ist, oder dass nach Addition mit weiteren Komponentensignalen für den betrachteten Lautsprecher von anderen virtuellen Quellen dann zum Lautsprechersignal für den betrachteten Lautsprecher beiträgt.

[0012] Typische Wellenfeldsynthesealgorithmen arbeiten unabhängig davon, wie viele Lautsprecher im Lautsprecherarray vorhanden sind. Die der Wellenfeldsynthese zugrundeliegende Theorie besteht darin, dass jedes beliebige Schallfeld durch eine unendlich hohe Anzahl von Einzellautsprechern exakt rekonstruiert werden kann, wobei die einzelnen Einzellautsprecher unendlich nahe zueinander angeordnet sind. In der Praxis kann jedoch weder die unendlich hohe Anzahl noch die unendlich nahe Anordnung realisiert werden. Stattdessen existiert eine begrenzte Anzahl von Lautsprechern, die zudem in bestimmten vorgegebenen Abständen zueinander angeordnet sind. Damit wird in realen Systemen immer nur eine Annäherung an die tatsächliche Wellenform erreicht, die stattfinden würde, wenn die virtuelle Quelle tatsächlich vorhanden wäre, also eine reale Quelle sein würde.

[0013] Wellenfeldsyntheseeinrichtungen sind ferner in der Lage, mehrere verschiedene Quellenarten nachzubilden. Eine prominente Quellenform ist die Punktquelle, bei der der Pegel proportional $1/r$ abnimmt, wobei r der Abstand zwischen einem Zuhörer und der Position der virtuellen Quelle ist. Eine andere Quellenform ist eine Quelle, die ebene Wellen aussendet. Hier bleibt der Pegel unabhängig von der Entfernung zum Hörer konstant, da ebene Wellen durch Punktquellen erzeugt werden können, die in einem unendlichen Abstand angeordnet sind.

[0014] Nach dem obigen Exkurs zu existierenden Wellenfeldsyntheseeinrichtungen widmen wir uns nun den aus dem Stand der Technik bekannten Systemen zur Nachhallzeitverlängerung:

In US005109419A beschreibt Griesinger ein elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung in dem verschiedene Schallquellen über Mikrofon oder Direkteingang erfasst und über eine Reverbmatrix künstlich

verholt werden. Die Ausgangssignale dieses Systems werden an verteilte Lautsprecher gegeben und erzeugen so einen künstlichen Nachhall im Raum.

[0015] Ebenso beschreibt Poletti in "Reverberators for use in wide band assisted reverberation systems" US000000039189E ein elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung basierend auf der Erfassung von Raumsignalen und Verarbeitung dieser in einer Delaymatrix welche wiederum eine Anzahl an Lautsprecher ansteuert.

[0016] In US005142586A wird von Berkout ein Ansatz beschrieben in dem ein in einem Raum aufgenommenes Signal gefaltet und über ein rekonstruiertes Wellenfeld wiedergegeben wird.

[0017] In G. Theile, H. Wittek und M. Reisinger: "Wellenfeldsynthese, Neue Möglichkeiten der räumlichen Tonaufnahme und -wiedergabe", FKT Fernseh- und Kino-Technik, Fachverlag Schiele & Schon GmbH, Berlin, DE, Bd. 57, Nr. 4, 1. April 2003, Seiten 735 - 739,

ISSN: 1430-9947, wird Wellenfeldsynthese unter Bezugnahme auf die Probleme der Darstellung stereophoner Schallquellen und Integration unterschiedlicher Signal- und Testkonfigurationen beschrieben, um einen umfassenden Einblick und Überblick über das Tonaufnahm- und Wiedergabeverfahren zu geben.

[0018] In Marinus M. Boone: "Acoustic rendering with wave field synthesis", ACM SIGGRAPH AND EUROGRAPHICS CAMPFIRE: Acoustic Rendering for Virtual Environments, Snowbird, Utah, May 26 - 29, 2001; Seiten 1 - 9, wird ein Überblick über Wellenfeldsynthese, deren Theorie und deren Implementierung als ein Labor-Demonstrationssystem gegeben, wobei Anwendungsbeispiele und Verfahren bereitgestellt werden.

[0019] In der Patentliteratur gibt es weitere verschiedene Systeme zur Nachhallzeitverlängerung wie bspw. US 3614320 A und WO 2006092995 A1.

[0020] Keines der Systeme ermöglicht jedoch eine flexible, dynamische Anpassung an unterschiedliche und wechselnde akustische Bedingungen und Wünsche der Nutzer zur Nachhallzeitverlängerung.

[0021] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher die Bereitstellung besserter Konzepte für Vorrichtungen, Verfahren und elektroakustische Systeme zur Nachhallzeitverlängerung. Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1, ein Verfahren nach Anspruch 11, ein Computerprogramm nach Anspruch 12, ein elektroakustisches System nach Anspruch 13 und ein Verfahren nach Anspruch 14 gelöst.

[0022] Die Erfindung stellt eine Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung bereit. Die Vorrichtung umfasst ein Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation und einen Signalprozessor zur Erzeugung einer Mehrzahl von Audioausgangssignalen für eine Mehrzahl von Lautsprechern basierend auf einer Mehrzahl von Audioeingangssignalen, und basierend auf der Wellenfeldsyntheseinformation, wobei die Audiosignale von einer Mehrzahl von Mikrofonen aufgenommen wurden. Ferner

umfasst die Vorrichtung eine Bedieneinheit zur Festlegung einer virtuellen Position ein oder mehrerer virtueller Wände. Das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation ist dafür ausgelegt, die Wellenfeldsyntheseinformation basierend auf der virtuellen Position der ein oder mehreren virtuellen Wände zu berechnen. Des Weiteren ist für wenigstens eine der virtuellen Wände die virtuelle Position durch die Bedieneinheit einstellbar.

[0023] Indem man die virtuellen Wände nach außen verschiebt, erzielt man somit eine akustische Raumvergrößerung. Die akustische Raumvergrößerung wird zudem durch einen regenerativen Effekt erzielt, der darin besteht, dass die über Lautsprecher ausgegebenen generierten Audioausgangssignale wieder von den Mikrofonen aufgenommen werden und somit in die Generierung der Audioausgangssignale zu einem späteren Zeitpunkt eingehen.

[0024] Es wird somit eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung einer akustischen Raumvergrößerung bereitgestellt, wobei verteilte Mikrofone relevante Schallquellen und das akustische Umfeld erfassen und dies bezogen auf feste oder dynamische virtuelle Quellpositionen über ein Wellenfeldsynthesesystem wiedergeben.

[0025] Die Erfindung basiert auf dem Konzept, dass die virtuellen Quellen in einem Algorithmus erzeugt werden, welcher auf Wellenfeldsynthese beruht. Dabei beschreibt die Erfindung ein Verfahren bei dem mittels verteilter Mikrofone im zu beschallenden Raum die Akustik des Raumes mit den zu verstärkenden Quellen erfasst wird und über AD Wandler einem Prozessing System zugeführt wird. Das Prozessing System kann dabei aus einer Software bestehen, in der das Signal zuerst über Filter verarbeitet wird, und danach in einem Wellenfeldsynthese Algorithmus zu einer objektbasierten Schallquelle verarbeitet wird, welche wiederum über Filter verarbeitet wird, um dann über ein Wellenfeldsynthesesystem ausgespielt zu werden. Durch die Möglichkeiten der Wellenfeldsynthese können die erfassten Raumsignale nun beliebig positioniert werden und können als "virtuelle Wände" beliebig verschoben werden. Dadurch können individuelle Raumgeometrien erzeugt werden. Die aufgenommenen Raumsignale werden typischerweise als ebene Wellen dargestellt und entsprechen damit der akustischen Wirkung einer Wand. Diese virtuelle Wand kann nicht nur verschoben, sondern auch in Ihrem Winkel geändert werden und beeinflusst damit direkt die Reflexionsmuster der Schallquellen.

[0026] In einer Ausführungsform ist das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt, Delay-Werte und Amplitudenfaktor-Werte als Wellenfeldsyntheseinformation zu berechnen. Der Delay-Wert gibt dabei die Verzögerung an, um die eines der Audioeingangssignale verzögert an einem der Lautsprecher wiedergegeben wird. Der Amplitudenfaktor-Wert gibt an, um welchem Faktor die Amplitude eines der Audioeingangssignale modifiziert wird, um ein modifiziertes

Signal zu erhalten, das an einem der Lautsprecher ausgetragen wird.

[0027] Ferner kann das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt sein, zu jedem Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar für einen Zeitpunkt einen Delay-Wert und einen Amplitudenfaktor-Wert zu berechnen, wobei ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar, ein Paar aus einem der Lautsprecher und einer der virtuellen Wände ist.

[0028] In einer weiteren Ausführungsform ist das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt, den Delay-Wert und den Amplitudenfaktor-Wert für ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar basierend auf dem Abstand von dem Lautsprecher und der virtuellen Wand des Lautsprecher-virtuelle Wand-Paares zu berechnen.

[0029] Des Weiteren kann das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt sein, den Delay-Wert eines Lautsprecher-virtuelle Wand-Paares umso größer festzusetzen, je größer der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand ist.

[0030] Ferner kann das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt sein, den Amplitudenfaktor-Wert eines Lautsprecher-virtuelle Wand-Paares umso kleiner festzusetzen, je größer der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand ist.

[0031] Erfindungsgemäß ist die Bedieneinheit dafür ausgelegt, dass wenigstens eine der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass die virtuelle Wand beliebig parallel gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist. Ferner ist die Bedieneinheit dafür ausgelegt, dass wenigstens eine der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass die virtuelle Wand beliebig drehbar gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist.

[0032] In einer weiteren Ausführungsform ist die Bedieneinheit dafür ausgelegt, dass für alle der virtuellen Wände die virtuelle Position durch die Bedieneinheit einstellbar ist. Die Bedieneinheit kann dabei dafür ausgelegt sein, dass jede der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass jede virtuelle Wand beliebig parallel und drehbar gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform, kann die Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung ein parametrisches Filter zur Filterung von Resonanzfrequenzen umfassen.

[0034] Ferner wird ein elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung bereitgestellt, dass eine Mehrzahl von Mikrofonen, eine Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung nach einer der oben beschriebenen Ausführungsformen und ein Lautsprecherarray aus einer Mehrzahl von Lautsprechern umfasst. Die Mehrzahl von Mikrofonen ist dabei dafür ausgelegt, eine Mehrzahl von Audioeingangssignalen zu erzeugen, die in die Vorrich-

tung zur Nachhallzeitverlängerung eingespeist werden, und wobei die Mehrzahl von Lautsprechern des Lautsprecherarrays dafür ausgelegt sind, die Audioausgangssignale von der Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung eingespeist zu bekommen und die eingespeisten Audioausgangssignale wiederzugeben.

[0035] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert.

- Fig. 1 stellt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung gemäß einem Ausführungsbeispiel dar,
- Fig. 2 stellt ein Blockschaltbild dar, das das Zusammenwirken eines Moduls zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation und eines Signalprozessors zeigt,
- Fig. 3 stellt ein elektroakustisches WFS System zur Nachhallzeitverlängerung gemäß einem Ausführungsbeispiel dar,
- Fig. 4 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel eines elektroakustischen WFS Systems,
- Fig. 5 stellt einen mittleren Konferenzraum (5mx18x15m) dar, der mit 5 Deckenmikrofonen, 40 Deckenlautsprechern und einem umlaufenden horizontalen Band aus konventionellen Lautsprechern in einer reduzierten WFS Anordnung gemäß einer Ausführungsform ausgestattet ist,
- Fig. 6 zeigt eine Anordnung von Lautsprechern, virtuellen Wänden und Mikrofonen gemäß einem Ausführungsbeispiel, und
- Fig. 7 zeigt eine Anordnung von Lautsprechern und einer virtuellen Wand gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

[0036] Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung gemäß einer Ausführungsform. Die Vorrichtung umfasst ein Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 110. Des Weiteren umfasst die Vorrichtung einen Signalprozessor 120 zur Erzeugung einer Mehrzahl von Audioausgangssignalen y_1, y_2, \dots, y_n für eine Mehrzahl von Lautsprechern (nicht gezeigt) basierend auf einer Mehrzahl von Audioeingangssignalen s_1, s_2, \dots, s_n , die von einer Mehrzahl von Mikrofonen (nicht gezeigt) aufgenommen wurden, und basierend auf der Wellenfeldsyntheseinformation. Ferner umfasst die Vorrichtung eine Bedieneinheit 130 zur Festlegung einer virtuellen Position einer oder mehrerer virtueller Wände. Das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 110 ist dabei dafür ausgelegt, die Wellenfeldsyntheseinformation WS_{inf} basierend auf der virtuellen Position

der ein oder mehreren virtuellen Wände zu berechnen. Dabei ist für wenigstens eine der virtuellen Wände ihre virtuelle Position durch die Bedieneinheit einstellbar. In einer Ausführungsform können das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 110 und der Signalprozessor 120 in einem Modul (einem Wellenfeldsynthesemodul) realisiert sein.

[0037] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf Fig. 2 eine Ausgestaltung des Zusammenwirkens des Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation und des Signalprozessors dargelegt. In Fig. 2 werden das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 210 und der Signalprozessor 220 durch gestrichelte Linien dargestellt.

[0038] Das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 210 und der Signalprozessor 220 haben einen stark parallelen Aufbau dahingehend, dass ausgehend von dem dem Signalprozessor zugeführten Audiosignal für jede virtuelle Wand (eine virtuelle Quelle) und ausgehend von den Positionsinformationen für die entsprechende virtuelle Wand (virtuelle Quelle), die das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 210 von einer Bedieneinheit erhalten hat, zunächst Delay-Information (Verzögerungsinformationen) V_i sowie Amplitudenfaktoren (Skalierungsfaktoren) SF_i berechnet werden, die von den Positionsinformationen und der Position des gerade betrachteten Lautsprechers, z. B. dem Lautsprecher mit der Ordnungsnummer j , also LS_j , abhängen. Die Berechnung einer Verzögerungsinformation V_i sowie eines Skalierungsfaktors SF_i aufgrund der Positionsinformationen einer virtuellen Quelle (virtuellen Wand) und der Lage des betrachteten Lautsprechers j geschieht durch bekannte Algorithmen, die in Einrichtungen 300, 302, 304, 306 implementiert sind.

[0039] Auf der Basis der Verzögerungsinformationen $V_i(t)$ und $SF_i(t)$ sowie auf der Basis des der einzelnen virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals $AS_i(t)$ wird für einen aktuellen Zeitpunkt t_A ein diskreter Wert $AW_i(t_A)$ für das Komponentensignal K_{ij} in einem letztendlich erhaltenen Lautsprechersignal berechnet. Dies erfolgt durch Einrichtungen, 310, 312, 314, 316, wie sie in Fig. 2 schematisch dargestellt sind. Fig. 2 zeigt ferner gewissermaßen eine "Blitzlichtaufnahme" zum Zeitpunkt t_A für die einzelnen Komponentensignale. Die einzelnen Komponentensignale werden dann durch einen Summierer 320 in Knotenpunkten zusammengefasst, um den diskreten Wert für den aktuellen Zeitpunkt t_A des Lautsprechersignals für den Lautsprecher j zu ermitteln, der dann für den Ausgang dem Lautsprecher zugeführt werden kann.

[0040] Wie es aus Fig. 2 ersichtlich ist, wird zunächst für jede virtuelle Quelle einzeln ein aufgrund einer Delay-Information (Verzögerung) und einer Skalierung mit einem Amplitudenfaktor (Skalierungsfaktor) zu einem aktuellen Zeitpunkt gültiger Wert berechnet, wonach sämtliche Komponentensignale für einen Lautsprecher aufgrund der verschiedenen virtuellen Wände (virtuellen Quellen) summiert werden. Wäre beispielsweise nur ei-

ne virtuelle Quelle vorhanden, so würde der Summierer entfallen, und das am Ausgang des Summierers in Fig. 2 anliegende Signal würde z. B. dem Signal entsprechen, das von der Einrichtung 310 ausgegeben wird, wenn die virtuelle Quelle 1 die einzige virtuelle Quelle ist.

[0041] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass an dem jeweiligen Ausgang der Wert eines Lautsprechersignals erhalten wird, das eine Überlagerung der Komponentensignale für diesen Lautsprecher aufgrund der verschiedenen virtuellen Quellen 1, 2, 3, ..., n ist. Eine - solche Anordnung wäre prinzipiell für jeden Lautsprecher vorgesehen, es sei denn, dass, was aus praktischen Gründen bevorzugt wird, immer z. B. 2, 4 oder 8 zusammenliegende Lautsprecher mit demselben Lautsprechersignal angesteuert werden.

[0042] Fig. 3 stellt ein elektroakustisches WFS System zur Nachhallzeitverlängerung gemäß einem Ausführungsbeispiel dar.

[0043] Gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 sind in einem Raum gleichmäßig vier Mikrofone 350 1m abgependelt von der Decke installiert. Die Mikrofonsignale werden in einem WFS Algorithmus 360 zu einer virtuellen Quelle verarbeitet, welche als ebene Welle über ein WFS Beschallungssystem 370 im selben Raum wiedergegeben wird. Das WFS System beinhaltet eine Bedieneoberfläche zum Bewegen der 4 Mikrofonquellen. Mit dieser Bedieneinheit werden die 4 Mikrofonsignale erfasst und nach außen gezogen. Das Ergebnis ist eine akustische Vergrößerung des Raumes.

[0044] Somit können nun beliebig große Räume erzeugt werden. Durch die Positionierung der virtuellen Wände ändert sich die Nachhallzeit des Raumes bezogen auf die Position und Anordnung (Winkel) der Wände.

[0045] In einem Ausführungsbeispiel umfasst das Wellenfeldsynthesemodul 360 ein Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation gemäß der Ausführungsform von Fig. 1 und einen Signalprozessor gemäß der Ausführungsform von Fig. 1.

[0046] In einer Ausführungsform ist die Bedieneinheit 375 eine Bedieneinheit gemäß der Ausführungsform von Fig. 1.

[0047] Nach einer Ausführungsform stellt Einheit 355 in Fig. 3 ein Filter dar, das zur Filterung von Resonanzfrequenzen dient. Eine an einem der Lautsprecher 370 ausgegebene Schallwelle wird von den Mikrofonen 350 wieder aufgenommen und bei der Erzeugung der späteren Audiosignalausgabe über die Lautsprecher abermals berücksichtigt. Um dabei auftretende unerwünschte Resonanzen zu vermeiden, kann Filter 355 dabei zur Unterdrückung dieser Resonanzen eingesetzt werden.

[0048] Bei Filter 365 kann es sich nach einer Ausführungsform um einen herkömmlichen Filter handeln, der zum Beispiel zur Anpassung der Lautsprecher dient.

[0049] Fig. 4 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel eines elektroakustischen WFS Systems. Die Signale der Deckenmikrofone werden in einer zentralen Prozessing Einheit verarbeitet und nach Filterung in einer Matrix zu virtuellen Quellen verarbeitet, welche nach Pe-

gelanpassung, Regelung des Raumanteiles und Lautsprecher Filterung als virtuelle Schallquellen über ein WFS Array und gleichmäßig verteilte Deckenlautsprecher wieder ausgespielt wird.

[0050] In Fig. 4 speisen Mikrofone 411, 412 Audioeingangssignale in Mikrofon-Vorverstärker 416, 417 ein. Bei dem Mikrofon 411 handelt es sich um ein Mikrofon, das sich nah an einer Schallquelle, z.B. einem Rednerpult befindet. Bei dem Mikrofon 412 handelt es sich um ein Raummikrofon, das sich im Raum, aber entfernt von der Schallquelle als das Mikrofon 411 befindet. Üblicherweise werden mehrere Raummikrofone und/oder mehrere Mikrofone nah an der Schallquelle eingesetzt.

[0051] Mikrofon-Vorverstärker 416, 417 verstärken die von den Mikrofonen 411, 412 empfangenen Audioeingangssignale, um vorverstärkte Audioeingangssignale zu erhalten. Bei den Mikrofon-Vorverstärkern 416, 417 kann es sich um übliche Mikrofon-Vorverstärker handeln. Die vorverstärkten Audioeingangssignale werden in einen Analog-Digital-Wandler 420 eingespeist, der die Audioeingangssignale, die sich zunächst in analoger Form befinden, in digitale Audiosignale umwandelt. Bei dem Analog-Digital-Wandler 420 kann es sich um einen üblichen Analog-Digital-Wandler handeln.

[0052] Der Analog-Digital-Wandler 420 speist die digitalen Audiosignale in Absorptionsfilter 425 ein. Absorptionsfilter 425 führt eine Filterung durch, die der Anpassung an das Wandmaterial dient. In einer Ausführungsform, filtert Absorptionsfilter 425 derart, dass, wenn stark reflektierende Wände nachgebildet werden sollen, die digitalen Audiosignale Absorptionsfilter 425 nahezu ungefiltert passieren. Sollen hingegen stark dämpfende Wände nachgebildet werden, so filtert Absorptionsfilter 425 in einer Ausführungsform die digitalen Audiosignale in starkem Maße.

[0053] Filter 430 ist ein Filter zur Feedback-Kompenstation und Klangeinstellung. Wird durch einen Lautsprecher ein Signal wiedergegeben, so werden die Schallwellen dieses Signals wiederum vom Mikrofon erfasst und es kommt hierdurch zu einem Feedback. In einer Ausführungsform kann Filter 430 dafür eingesetzt werden, dieses Feedback ganz oder teilweise zu kompensieren. Außerdem kann Filter 430 zur Klangeinstellung verwendet werden. In einer Ausführungsform kann die Feedbackkompenstation und/oder die Klangeinstellung in herkömmlicher Weise durchgeführt werden.

[0054] Des Weiteren umfasst das System in Fig. 4 eine zentrale Bedieneinheit 435 und ein Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 440. Dabei kann die zentrale Bedieneinheit 435 der Bedieneinheit in Fig. 1 entsprechen. Die zentrale Bedieneinheit in Fig. 4 kann mit einer GUI ("Graphical User Interface" = grafische Benutzeroberfläche) ausgestattet sein. Das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 440 kann dem Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation aus Fig. 1 entsprechen.

[0055] Das Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 440 übergibt Modul 445 die berechne-

ten Wellenfeldsynthese-Parameter. Bei diesen Wellenfeldsynthese-Parametern kann es sich z.B. um Delay-Werte und Amplitudenwerte, wie zum Beispiel Amplitudenfaktor-Werte handeln.

[0056] Modul 445 baut aus den von Modul 440 übergebenen Werten eine Delay-Amplituden-Matrix auf. In einer Ausführungsform kann die Delay-Amplituden-Matrix beispielsweise für jedes Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar einen Delay-Wert und einen Amplitudenfaktor-Wert für einen bestimmten Zeitpunkt enthalten.

[0057] Modul 445 führt basierend auf den von dem Modul zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation 440 erhaltenen Wellenfeldsynthese-Parametern eine Audioskalierung durch. Wurden zum Beispiel für ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar ein Delay-Wert und ein Amplitudenfaktor-Wert erhalten, so wird beispielsweise das Signal, das von der virtuellen Wand ausgeht (z.B. scheinbar von der virtuellen Wand reflektiert wird) um den erhaltenen Delay-Wert verzögert, und der von Modul 440 erhaltene Amplitudenfaktor-Wert wird auf die Amplitude des auszugebenden Signals durch den Amplitudenfaktor-Wert modifiziert, zum Beispiel durch Multiplikation des Amplitudenfaktor-Werts mit der Amplitude des auszugebenden Signals.

[0058] Nachfolgend filtert Filter 450 die von Modul 445 modifizierten Audiosignale, um eine Lautsprecheranpassung zu erzielen. In einem Master-Gain-Modul 455 werden die Audiosignale modifiziert, um die Gesamtlautstärke einzustellen. Dies kann auf übliche Weise geschehen. In einem Gain-Raumanteil-Modul 460 erfolgt eine Einstellung des Verhältnisses Raumanteil zu Original-Signal. In einer Ausführungsform kann zum Beispiel das Verhältnis von Audiosignalen, die aus Audiosignalen von Raummikrofonen erzeugt wurden, zu Audiosignalen die aus Audiosignalen von Mikrofonen nahe am Rednerpult erzeugt wurden, eingestellt werden, indem beispielsweise die Amplituden der jeweiligen Signale angepasst werden.

[0059] Die modifizierten digitalen Audiosignale werden dann in einen Digital-Analog-Wandler 465 eingespeist, der die modifizierten digitalen Audiosignale in analoge Audioausgangssignale umwandelt. Die analogen Audioausgangssignale werden dann von Leistungsverstärkern 471, 472 verstärkt und von Lautsprechern 481, 482 ausgegeben. In der Ausführungsform von Fig. 4 werden die Audiosignale entweder von WFS-Lautsprechern 481 oder von Deckenlautsprechern 482 ausgegeben. Es versteht sich, dass in einem realen System eine Vielzahl von WFS-Lautsprechern und/oder Deckenlautsprechern eingesetzt werden kann.

[0060] Fig. 5 zeigt einen mittleren Konferenzraum (5mx18x15m), der mit 5 Deckenmikrofonen 511, 512, 513, 514, 515, 40 Deckenlautsprechern und einem umlaufenden horizontalen Band aus konventionellen Lautsprechern in einer reduzierten WFS Anordnung 530 ausgestattet ist. Die Signale der Deckenmikrofone 511, 512, 513, 514, 515 werden in einer zentralen Prozessing Einheit verarbeitet und nach Filterung in einer Matrix zu vir-

tuellen Quellen verarbeitet, welche nach Pegelanpassung, Regelung des Raumanteiles und Lautsprecher Filterung als virtuelle Schallquellen 521, 522, 523, 524, 525 über ein WFS Array und gleichmäßig verteilte Deckenlautsprecher wieder ausgespielt wird. Die Struktur zeigt

Figur 4. Dabei werden die Mikrofonsignale durch die jeweils gegenüberliegenden virtuellen Quellen dargestellt, um Feedbacks zu vermeiden. Durch die Verwendung einer flexiblen Matrix und der Möglichkeit beliebige Eingänge (Mikrofoneingänge/Line In) als virtuelle Schallquellen 521, 522, 523, 524, 525 darzustellen, werden auch direkt mikrofonierte Signale in die Raumsimulation übernommen und infolge ihrer Positionierung ebenfalls zur Darstellung in einem künstlich nachhallverlängerten Raum verwendet. Diese Signale müssen jedoch als wenig regenerativ angesehen werden, da sie kaum Raumanteile enthalten. Es können weitere Mikrofone hinzugefügt werden, um so eine komplexe Verteilung von Reflexionen zu erfassen und wiederzugeben. Ebenso ist die Darstellung von virtuellen Schallquellen 521, 522, 523, 524, 525 an der Decke möglich, was als wesentliche Qualitätsanforderung bei der Darstellung eines realen Raumes anzusehen ist. Im Eingangszweig der Matrix befindet sich neben einer Filtereinheit mit schmalbandigen Filtern zur Feedbackunterdrückung weiterhin eine Filtereinheit welche unterschiedliche Raummaterialien berücksichtigt, um so verschiedene Absorptions- und Reflexionsparameter in den zu verhallenden Raum einfließen zu lassen. Die erfassten Mikrofonsignale werden, wie beschrieben, in freipositionierbaren Quellen wieder abgebildet und mit den vorhandenen Raumeigenschaften beaufschlagt wieder vom Mikrofon erfasst, was zu einer Regeneration der Raumakustik führt.

[0061] Fig. 6 illustriert ein grundsätzliches Konzept bestimmter Ausführungsbeispiele. Dargestellt ist ein Lautsprecher-Array, das, wie in Fig. 6 gezeigt, 12 Lautsprecher 611, 612, 613 umfasst. In realen Ausführungsformen wird die Anzahl der Lautsprecher oftmals deutlich größer sein und z.B. 60, 100, 200, 300 oder mehr Lautsprecher umfassen. Dargestellt sind außerdem vier virtuelle Wände 621, 622, 623, 624.

[0062] Im Folgenden wird der Lautsprecher 611 und die virtuelle Wand 621 näher betrachtet. Diese bilden ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar (611, 621). Auch jede beliebige andere Kombination aus einem der Lautsprecher und einer der virtuellen Wände bildet ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar. Der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand wird durch einen Pfeil d gekennzeichnet. In Fig. 6 ist außerdem eine Mehrzahl von Mikrofonen 631, 632, 633 vorgesehen. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass ein Mikrofon 631 durch Aufnahme von Schallwellen ein Audiosignal erzeugt, das über den Lautsprecher 611 wiedergegeben werden soll. Dabei soll das von Lautsprecher 611 wiedergegebene Signal einer Reflexion der von dem Mikrofon 631 aufgenommenen Schallwellen an der virtuellen Wand 621 entsprechen. Dies bedeutet, dass das vom Mikrofon aufgenommene Signal erst mit einer zeitli-

chen Verzögerung durch den Lautsprecher 611 wiedergegeben werden darf, der von dem Abstand von Lautsprecher und virtueller Wand abhängt: Je größer der Abstand zwischen virtueller Wand 621 und Lautsprecher 611, umso größer wird die zeitliche Verzögerung, d.h. der Delay-Wert, mit dem das vom Mikrofon 631 aufgenommene Signal am Lautsprecher 611 wiederzugeben ist. Fig. 6 zeigt durch die gestrichelte Linie 629 eine Verschiebung der virtuellen Wand 621, wobei sich der Abstand der virtuellen Wand vom Lautsprecher 611 von d auf $2d$ erhöht. Der Delay-Wert wird entsprechend größer.

[0063] In einer speziellen Ausführungsform kann man den Delay-Wert nach der Formel:

$$\text{Delay} = (d + c) * p_1$$

berechnen, wobei d der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand des Lautsprecher-virtuelle Wand-Paares ist, c ein konstanter Wert ist, und p_1 eine Proportionalitätskonstante größer 0 ist. Der Delay-Wert wird somit umso größer, je größer der Abstand zwischen Lautsprecher und virtueller Wand ist.

[0064] Je größer der Abstand zwischen virtueller Wand und Lautsprecher wird, desto kleiner ist in einer Ausführungsform auch der Amplitudenfaktor zu wählen, da auch die Amplitude einer realen Schallquelle umso kleiner wird, je weiter man sich von einer Schallquelle entfernt befindet, wobei die virtuelle Schallquelle hier die virtuelle Wand darstellt, die scheinbar eine Schallwelle reflektiert. Der Amplitudenfaktor ist dabei der Faktor, mit dem die Amplitude eines der Ausgangssignale zu modifizieren ist, um ein modifiziertes Signal zu erhalten, das an einem der Lautsprecher auszugeben ist.

[0065] In einer speziellen Ausführungsform kann man den Amplitudenfaktor nach der Formel:

$$\text{Amplituden-Faktor} = [1 / (d+h)] * p_2$$

berechnen, wobei d der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand des Lautsprecher-virtuelle Wand-Paares ist, h ein konstanter Wert ist, und p_2 eine Proportionalitätskonstante größer 0 ist. In bevorzugten Ausführungsformen wird die Proportionalitätskonstante p_2 und so gewählt, dass der Amplitudenfaktor immer einen Wert größer 0 und kleiner 1 annimmt.

[0066] Grundsätzlich lässt sich durch eine Vergrößerung des Delay-Werts eine Nachhallzeitverlängerung herbeiführen.

[0067] Fig. 7 zeigt erfindungsgemäß, dass die aktuelle Position 729 der virtuellen Wand derart geändert wird, dass die aktuelle Position 729 der virtuellen Wand drehbar gegenüber ihrer alten Position 721 verändert wurde. Der Abstand der alten Position der virtuellen Wand von Lautsprecher 711 ist durch Pfeile, der Abstand der neuen Position der virtuellen Wand von dem Lautsprecher 711

ist durch Pfeil f dargestellt.

[0068] Obwohl einige Aspekte im Kontext einer Vorrichtung beschrieben wurden, ist es offensichtlich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, wobei ein Block oder eine Vorrichtung einem Verfahrensschritt oder einem Merkmal eines Verfahrensschrittes entspricht. Analog stellen Aspekte, die in dem Kontext eines Verfahrensschrittes beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Elements oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar.

[0069] Ein erfindungsgemäßes Computerprogramm oder Signal kann auf einem digitalen Speichermedium gespeichert sein oder kann auf einem Übertragungsmedium übertragen werden, wie z.B. einem drahtlosen Übertragungsmedium oder einem verdrahteten Übertragungsmedium, wie z.B. dem Internet.

[0070] Abhängig von bestimmten Implementierungsanforderungen können Ausführungsbeispiele der Erfindung in Hardware oder in Software implementiert sein. Die Implementierung kann unter Verwendung eines digitalen Speichermediums erfolgen, wie z.B. einer Diskette, einer DVD, einer CD, einem ROM, einem PROM, einem EPROM, einem EEPROM oder einem FLASH-Speicher, auf dem elektronisch lesbare Steuersignale gespeichert sind, die mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenarbeiten (oder in der Lage sind, zusammenzuarbeiten), so dass das entsprechende Verfahren ausgeführt wird.

[0071] Einige Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung weisen einen nicht vorübergehenden Datenträger mit elektronisch lesbaren Steuersignalen auf, die in der Lage sind, mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenzuarbeiten, dass eines der hierin beschriebenen Verfahren ausgeführt wird.

[0072] Im Allgemeinen können Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung als ein Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode implementiert sein, wobei der Programmcode wirksam ist zum Ausführen von einem der Verfahren, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer ausgeführt wird. Der Programmcode kann z.B. auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sein.

[0073] Andere Ausführungsbeispiele weisen das Computerprogramm zum Ausführen von einem der hierin beschriebenen Verfahren auf, gespeichert auf einem maschinenlesbaren Träger.

[0074] Anders ausgedrückt ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens daher ein Computerprogramm mit einem Programmcode zum Ausführen von einem der hierin beschriebenen Verfahren, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

[0075] Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verfahren ist daher ein Datenträger (oder ein digitales Speichermedium oder ein computerlesbares Medium), der aufgezeichnet auf demselben das Computerprogramm zum Ausführen von einem der hier-

in beschriebenen Verfahren aufweist.

[0076] Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist daher ein Datenstrom oder eine Reihe aus Signalen, die das Computerprogramm darstellen zum Ausführen von einem der hierin beschriebenen Verfahren. Der Datenstrom oder die Signalreihe können z.B. konfiguriert sein, um über eine Datenkommunikationsverbindung übertragen zu werden, z.B. über das Internet. 5

[0077] Ein weiteres Ausführungsbeispiel weist eine Verarbeitungseinrichtung auf, z.B. einen Computer, oder eine programmierbare Logikvorrichtung, die zum Ausführen von einem der hierin beschriebenen Verfahren konfiguriert oder angepasst ist. 10

[0078] Ein weiteres Ausführungsbeispiel weist einen Computer auf, auf dem das Computerprogramm zum Ausführen von einem der hierin beschriebenen Verfahren installiert ist. 15

[0079] Bei einigen Ausführungsbeispielen kann eine programmierbare Logikvorrichtung (z.B. ein feldprogrammierbares Gate-Array) verwendet werden, um einige oder alle der Funktionalitäten der hierin beschriebenen Verfahren auszuführen. Bei einigen Ausführungsbeispielen kann ein feldprogrammierbares Gate-Array mit einem Mikroprozessor zusammenarbeiten, um eines der hierin beschriebenen Verfahren auszuführen. Im Allgemeinen werden die Verfahren vorzugsweise durch jegliche Hardware-Vorrichtung ausgeführt. 20

[0080] Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten eileuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzmfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei. 25

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung, umfassend: 40

ein Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation, 45
einen Signalprozessor (120) zur Erzeugung einer Mehrzahl von Audioausgangssignalen für eine Mehrzahl von Lautsprechern basierend auf einer Mehrzahl von Audioeingangssignalen, die von einer Mehrzahl von Mikrofonen aufgenommen wurden, und basierend auf der Wellenfeldsyntheseinformation, und 50
eine Bedieneinheit (130) zur Festlegung einer virtuellen Position ein oder mehrerer virtueller Wände,

wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, die Wellenfeldsyntheseinformation basierend auf der virtuellen Position der ein oder mehreren virtuellen Wände zu berechnen, und wobei für wenigstens eine der virtuellen Wände die virtuelle Position durch die Bedieneinheit (130) einstellbar ist,

wobei die Bedieneinheit (130) dafür ausgelegt ist, dass wenigstens die eine der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass die virtuelle Wand beliebig drehbar gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist. 10

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, Delay-Werte und Amplitudenfaktor-Werte als Wellenfeldsyntheseinformation zu berechnen, wobei der Delay-Wert die Verzögerung angibt, um die eines der Audioeingangssignale verzögert an einem der Lautsprecher wiedergegeben wird, und wobei der Amplitudenfaktor angibt, um welchem Faktor die Amplitude eines der Audioeingangssignale modifiziert wird, um ein modifiziertes Signal zu erhalten, das an einem der Lautsprecher ausgegeben wird. 15

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, zu jedem Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar für einen Zeitpunkt einen Delay-Wert und einen Amplitudenfaktor-Wert zu berechnen, wobei ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar, ein Paar aus einem der Lautsprecher und einer der virtuellen Wände ist. 20

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, den Delay-Wert und den Amplitudenfaktor-Wert für ein Lautsprecher-virtuelle Wand-Paar basierend auf dem Abstand von dem Lautsprecher und der virtuellen Wand des Lautsprecher-virtuelle Wand-Paars zu berechnen. 25

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, den Delay-Wert eines Lautsprecher-virtuelle Wand-Paars umso größer festzusetzen, je größer der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand ist. 30

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei das Modul (110) zur Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation dafür ausgelegt ist, den Amplituden-Wert eines Lautsprecher-virtuelle Wand-Paars umso kleiner festzusetzen, je größer der Abstand zwischen dem Lautsprecher und der virtuellen Wand 35

- ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Bedieneinheit (130) dafür ausgelegt ist, dass wenigstens eine der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass die virtuelle Wand beliebig parallel gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist. 5
8. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei für alle der virtuellen Wände die virtuelle Position durch die Bedieneinheit (130) einstellbar ist. 10
9. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Bedieneinheit (130) dafür ausgelegt ist, dass jede der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschiebbar ist, so dass jede virtuelle Wand beliebig parallel und drehbar gegenüber ihrer ersten Position verschiebbar ist. 15
10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung des Weiteren ein parametrisches Filter umfasst zur Filterung von Resonanzfrequenzen. 20
11. Verfahren zur Nachhallzeitverlängerung, umfassend: 25
- Festlegung einer virtuellen Position ein oder mehrerer virtueller Wände,
Empfangen einer Mehrzahl von Audioeingangssignalen, die von einer Mehrzahl von Mikrofonen aufgenommen wurden,
Berechnung von Wellenfeldsyntheseinformation, und
Erzeugung einer Mehrzahl von Audioausgangssignalen für eine Mehrzahl von Lautsprechern basierend auf den Audioeingangssignalen und basierend auf der Wellenfeldsyntheseinformation, 30
- wobei die Wellenfeldsyntheseinformation basierend auf der virtuellen Position der ein oder mehreren virtuellen Wände berechnet wird, und wobei für wenigstens eine der virtuellen Wände die virtuelle Position einstellbar ist, wobei wenigstens die eine der virtuellen Wände aus einer ersten virtuellen Position in eine zweite virtuelle Position verschoben wird, so dass die virtuelle Wand gedreht gegenüber ihrer ersten Position verschoben ist. 35
12. Computerprogramm mit einem Programmcode zum Ausführen des Verfahrens gemäß Patentanspruch 11, wenn das Computerprogramm auf einem Rechner abläuft. 40
13. Elektroakustisches System zur Nachhallzeitverlängerung, umfassend:
- eine Mehrzahl von Mikrofonen (350; 411, 412), eine Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, und ein Lautsprecherarray umfassend eine Mehrzahl von Lautsprechern (370; 481, 482), wobei die Mehrzahl von Mikrofonen (350; 411, 412) dafür ausgelegt sind, eine Mehrzahl von Audioeingangssignalen zu erzeugen, die in die Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung eingespeist werden, und wobei die Mehrzahl von Lautsprechern (370; 481, 482) des Lautsprecherarrays dafür ausgelegt sind, die Audioausgangssignale von der Vorrichtung zur Nachhallzeitverlängerung eingespeist zu bekommen und die eingespeisten Audioausgangssignale wiederzugeben. 45
14. Verfahren zur Nachhallzeitverlängerung mittels eines elektroakustischen Systems, umfassend:
- Aufnehmen einer Mehrzahl von Audioeingangssignalen von einer Mehrzahl von Mikrofonen, Durchführen des Verfahrens zur Nachhallzeitverlängerung nach Anspruch 11, um eine Mehrzahl von Audioausgangssignalen zu erzeugen, wobei der Schritt des Empfangens der Mehrzahl von Audioeingangssignalen umfasst, dass diejenige Mehrzahl von Audioeingangssignalen empfangen wird, die von der Mehrzahl von Mikrofonen aufgenommen wurde, und Ausgeben der Mehrzahl von Audioausgangssignalen mittels eines Lautsprecherarrays umfassend eine Mehrzahl von Lautsprechern. 50

Claims

1. Apparatus for reverberation time extension, comprising:
a module (110) for calculating wave field synthesis information,
a signal processor (120) for generating a plurality of audio output signals for a plurality of loudspeakers based on a plurality of audio input signals that have been recorded by a plurality of microphones, and based on the wave field synthesis information, and
an operating unit (130) for determining a virtual position of one or several virtual walls,
wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to calculate the wave field synthesis information based on the virtual position of the one or several virtual walls, and 55

- wherein, for at least one of the virtual walls, the virtual position is adjustable by the operating unit (130),
 wherein the operating unit (130) is implemented such that the at least one of the virtual walls can be shifted from a first virtual position to a second virtual position, such that the virtual wall can be shifted arbitrarily in a rotatable manner with respect to its first position.
2. Apparatus according to claim 1, wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to calculate delay values and amplitude factor values as wave field synthesis information, wherein the delay value indicates the delay by which one of the audio input signals is reproduced at one of the loudspeakers in a delayed manner, and wherein the amplitude factor indicates by what factor the amplitude of one of the audio input signals is modified to acquire a modified signal which is output at one of the loudspeakers. 20
3. Apparatus according to claim 2, wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to calculate a delay value and an amplitude factor for each loudspeaker/virtual wall pair for a specific time, wherein a loudspeaker/virtual wall pair is a pair of one of the loudspeakers and one of the virtual walls. 25
4. Apparatus according to claim 3, wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to calculate the delay value and the amplitude factor value for a loudspeaker/virtual wall pair based on the distance of the loudspeaker and the virtual wall of the loudspeaker/virtual wall pair. 30
5. Apparatus according to claim 3 or 4, wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to set the delay value of a loudspeaker/virtual wall pair the greater the greater the distance between the loudspeaker and the virtual wall is. 35
6. Apparatus according to one of claims 3 to 5, wherein the module (110) for calculating wave field synthesis information is implemented to set the amplitude value of a loudspeaker/virtual wall pair the smaller the greater the distance between the loudspeaker and the virtual wall is. 50
7. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein the operating unit (130) is implemented such that at least one of the virtual walls can be shifted from a first virtual position to a second virtual position, such that the virtual wall can be shifted arbitrarily in parallel to its first position. 55
8. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein the virtual position for all of the virtual walls is adjustable by the operating unit (130).
 5 9. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein the operating unit (130) is implemented such that each of the virtual walls can be shifted from a first virtual position to a second virtual position, such that each virtual wall can be shifted arbitrarily in parallel and in a rotatable manner with respect to its first position.
 10 10. Apparatus according to any one of the preceding claims, wherein the apparatus further comprises a parametric filter for filtering resonance frequencies. 15
 11. Method for reverberation time extension, comprising:
 20 determining a virtual position of one or several virtual walls;
 receiving a plurality of audio input signals that have been recorded by a plurality of microphones,
 calculating wave field synthesis information, and generating a plurality of audio output signals for a plurality of loudspeakers based on the audio input signals and based on the wave field synthesis information,
 wherein the wave field synthesis information is calculated based on the virtual position of the one or several virtual walls, and
 wherein the virtual position is adjustable for at least one of the virtual walls,
 wherein the at least one of the virtual walls is shifted from a first virtual position to a second virtual position, such that the virtual wall is shifted in a rotatable manner with respect to its first position.
 25
 30
 35
 40
 45
 50
 55
 12. Computer program including a program code for performing the method according to claim 11, when the computer program runs on a computer.
 13. Electroacoustic system for reverberation time extension, comprising:
 20 a plurality of microphones (350; 411, 412),
 an apparatus for reverberation time extension according to one of claims 1 to 10, and
 a loudspeaker array comprising a plurality of loudspeakers (370; 481, 482),
 wherein the plurality of microphones (350; 411, 412) is implemented to generate a plurality of audio input signals fed into the apparatus for reverberation time extension, and wherein the plurality of loudspeakers (370; 481, 482) of the loudspeaker array is implemented to have the

audio output signals fed in by the apparatus for reverberation time extension and to reproduce the fed-in audio output signals.

- 14. Method for reverberation time extension by means of an electroacoustic system, comprising:**

recording a plurality of audio input signals by a plurality of microphones,
performing the method for reverberation time extension according to claim 11 for generating a plurality of audio output signals, wherein receiving the plurality of audio input signals comprises that that plurality of audio input signals that have been recorded by the plurality of microphones is received, and
outputting the plurality of audio output signals by means of a loudspeaker array comprising a plurality of loudspeakers.

Revendications

- 1. Dispositif de prolongement d'un temps de réverbération, comportant:**

un module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde,
un processeur de signal (120) destiné à générer une pluralité de signaux de sortie audio pour une pluralité de haut-parleurs sur base d'une pluralité de signaux d'entrée audio qui sont enregistrés par une pluralité de microphones, et sur base de l'information de synthèse de champ d'onde, et
une unité de commande (130) destinée à établir une position virtuelle d'une ou plusieurs parois virtuelles,
dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour calculer l'information de synthèse de champ d'onde sur base de la position virtuelle d'une ou plusieurs parois virtuelles, et dans lequel, pour au moins l'une des parois virtuelles, la position virtuelle peut être réglée par l'unité de commande (130),
dans lequel l'unité de commande (130) est conçue pour qu'au moins l'une des parois virtuelles puisse être déplacée d'une première position virtuelle en une deuxième position virtuelle, de sorte que la paroi virtuelle puisse être déplacée à volonté par rotation par rapport à sa première position.

- 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour calculer des valeurs de retard et des valeurs de facteur d'ampli-**

tude comme information de synthèse de champ d'onde, la valeur de retard indiquant le retard avec lequel l'un des signaux d'entrée audio est reproduit retardé à l'un des haut-parleurs, et le facteur d'amplitude indiquant le facteur par lequel l'amplitude de l'un des signaux d'entrée audio est modifiée pour obtenir un signal modifié qui est sorti à l'un des haut-parleurs.

- 3. Dispositif de la revendication 2, dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour calculer, pour chaque paire de haut-parleur et paroi virtuelle pour un moment, une valeur de retard et une valeur de facteur d'amplitude, où une paire de haut-parleur et paroi virtuelle est une paire constituée d'un des haut-parleurs et d'une des parois virtuelles.**
- 4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour calculer la valeur de retard et la valeur de facteur d'amplitude pour une paire de haut-parleur et paroi virtuelle sur base de la distance entre le haut-parleur et la paroi virtuelle de la paire de haut-parleur et paroi virtuelle.**
- 5. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour fixer la valeur de retard d'une paire de haut-parleur et paroi virtuelle d'autant plus grande que la distance entre le haut-parleur et la paroi virtuelle est grande.**
- 6. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel le module (110) destiné à calculer l'information de synthèse de champ d'onde est conçu pour fixer la valeur d'amplitude d'une paire de haut-parleur et paroi virtuelle d'autant plus petite que la distance entre le haut-parleur et la paroi virtuelle est grande.**
- 7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'unité de commande (130) est conçue de sorte qu'au moins l'une des parois virtuelles puisse être déplacée d'une première position virtuelle en une deuxième position virtuelle, de sorte que la paroi virtuelle puisse être déplacée de manière parallèle à volonté par rapport à sa première position.**
- 8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel pour toutes les parois virtuelles, la position virtuelle est réglable par l'unité de commande (130).**
- 9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'unité de commande (130) est conçue de sorte que chacune des parois virtuelles puis-**

- se être déplacée d'une première position virtuelle en une deuxième position virtuelle, de sorte que chaque paroi virtuelle puisse être déplacée de manière parallèle et rotative à volonté par rapport à sa première position.
- 10.** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif comporte par ailleurs un filtre paramétrique destiné à filtrer des fréquences de résonance. 10
- 11.** Procédé de prolongement du temps de réverbération, comprenant le fait de:
- fixer une position virtuelle d'une ou plusieurs parois virtuelles, 15
 - recevoir une pluralité de signaux d'entrée audio qui sont enregistrés d'une pluralité de microphones,
 - calculer l'information de synthèse de champ d'onde, et 20
 - générer une pluralité de signaux de sortie audio pour une pluralité de haut-parleurs sur base des signaux d'entrée audio et sur base de l'information de synthèse de champ d'onde, 25
 - dans lequel l'information de synthèse de champ d'onde est calculée sur base de la position virtuelle des une ou plusieurs parois virtuelles, et dans lequel la position virtuelle est réglable pour au moins l'une des parois virtuelles, 30
 - dans lequel au moins l'une des parois virtuelles est déplacée d'une première position virtuelle en une deuxième position virtuelle, de sorte que la paroi virtuelle soit déplacée par rotation par rapport à sa première position. 35
- 12.** Programme d'ordinateur avec un code de programme pour réaliser le procédé selon la revendication 11 lorsque le programme d'ordinateur est exécuté sur un ordinateur. 40
- 13.** Système électro-acoustique de prolongement de temps de réverbération, comportant:
- une pluralité de microphones (350; 411, 412), 45
 - un dispositif de prolongement du temps de réverbération selon l'une des revendications 1 à 10, et
 - un réseau de haut-parleurs comprenant une pluralité de haut-parleurs (370; 481, 482), 50
 - dans lequel la pluralité de microphones (350, 411, 412) sont conçus pour générer une pluralité de signaux d'entrée audio qui sont alimentés dans le dispositif de prolongement du temps de réverbération, et dans lequel la pluralité de haut-parleurs (370; 481, 482) du réseau de haut-parleurs sont conçus pour recevoir les signaux de sortie audio alimentés par le dispositif de pro-
- longement du temps de réverbération, et pour reproduire les signaux de sortie audio alimentés.
- 5 14.** Procédé de prolongement du temps de réverbération à l'aide d'un système électro-acoustique, comprenant le fait de:
- enregistrer une pluralité de signaux d'entrée audio d'une pluralité de microphones,
 - mettre en oeuvre le procédé de prolongement du temps de réverbération selon la revendication 11 pour générer une pluralité de signaux de sortie audio, l'étape consistant à recevoir la pluralité de signaux d'entrée audio comprenant le fait que sont reçus la pluralité signaux d'entrée audio qui ont été enregistrés par la pluralité de microphones, et
 - sortir la pluralité de signaux de sortie audio par l'intermédiaire d'un réseau de haut-parleurs comprenant une pluralité de haut-parleurs.

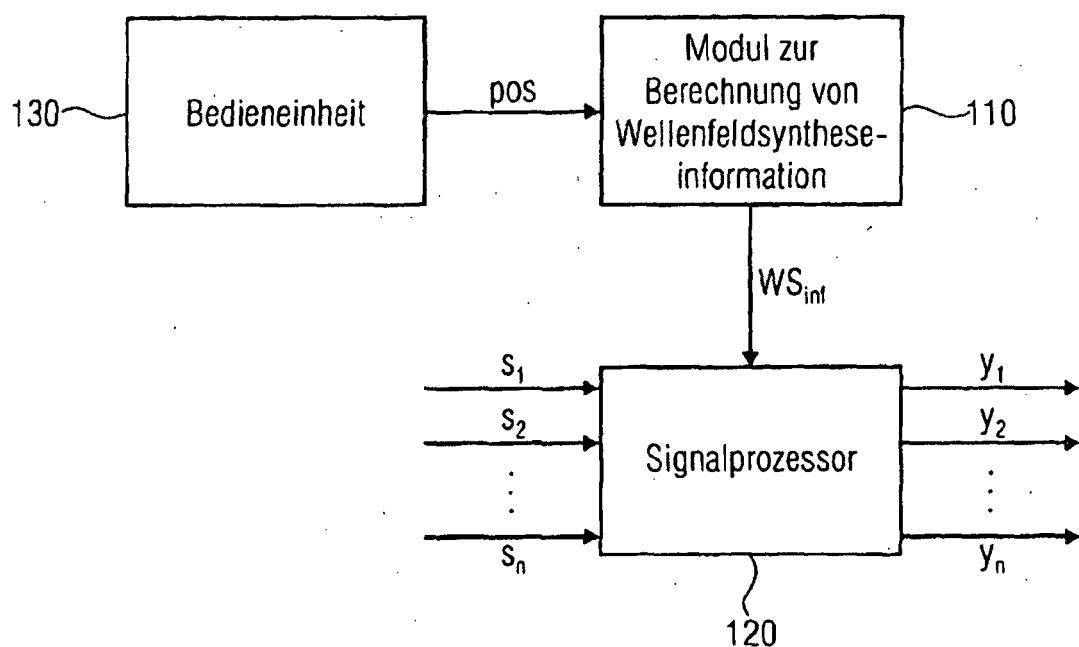


FIG 1

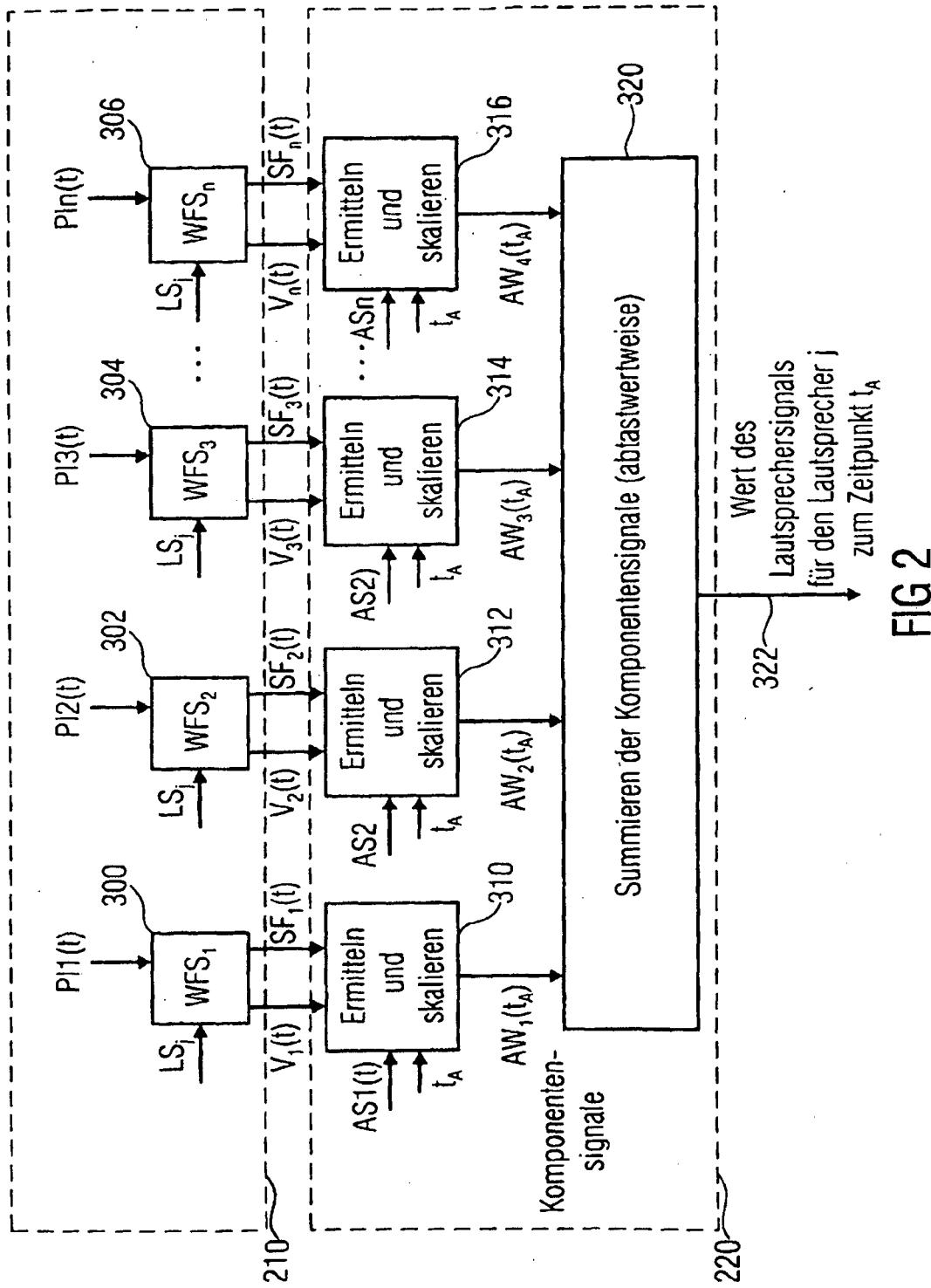


FIG 2

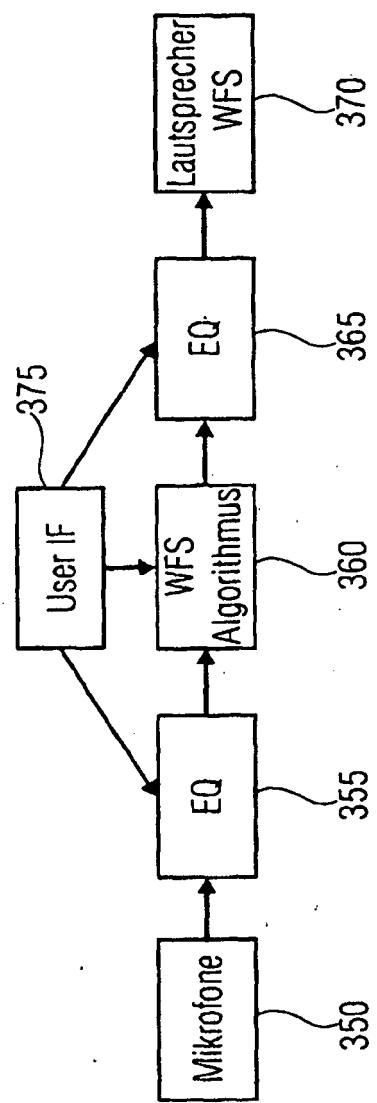


FIG 3

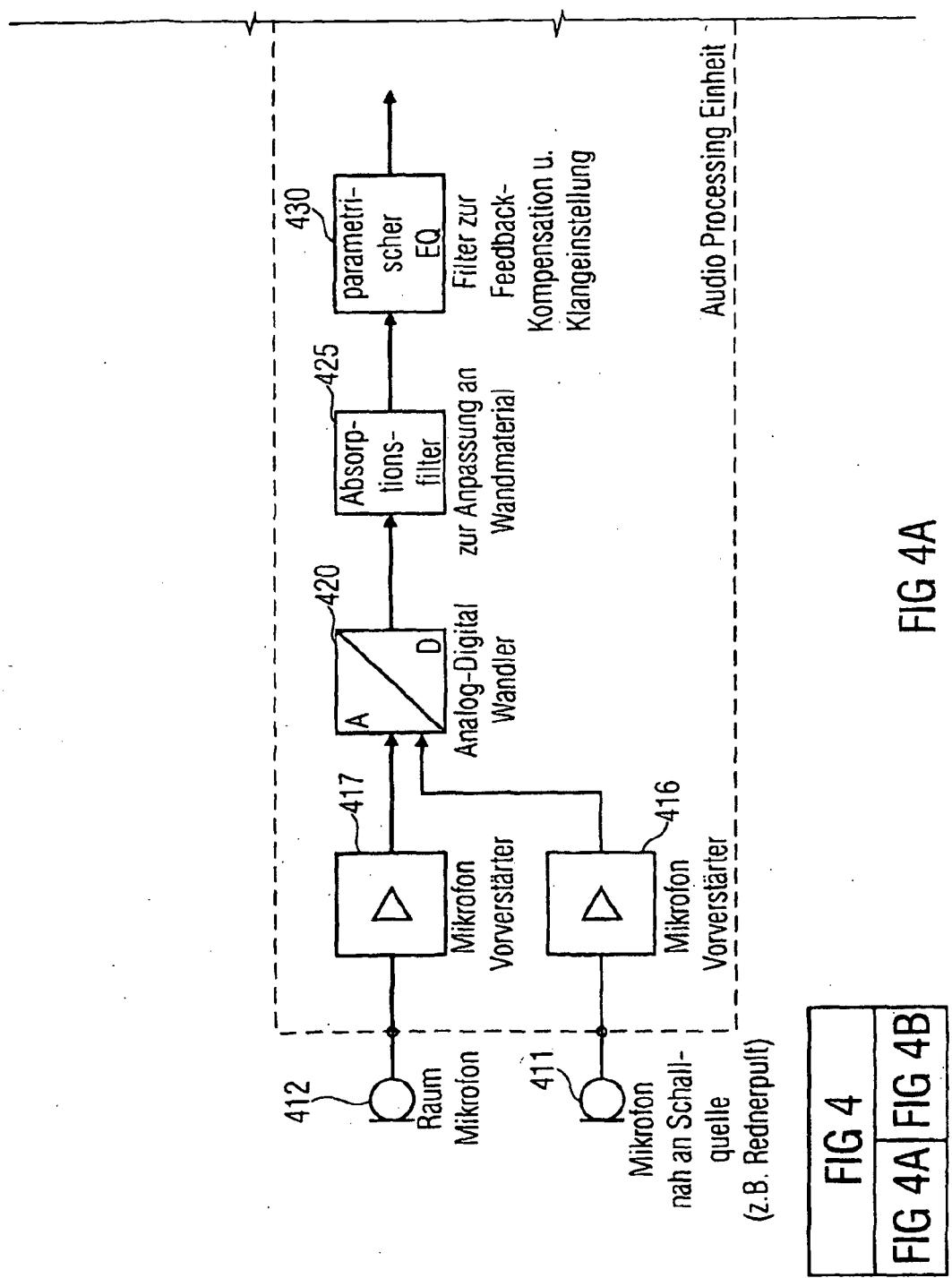


FIG 4A

FIG 4	FIG 4B
FIG 4A	

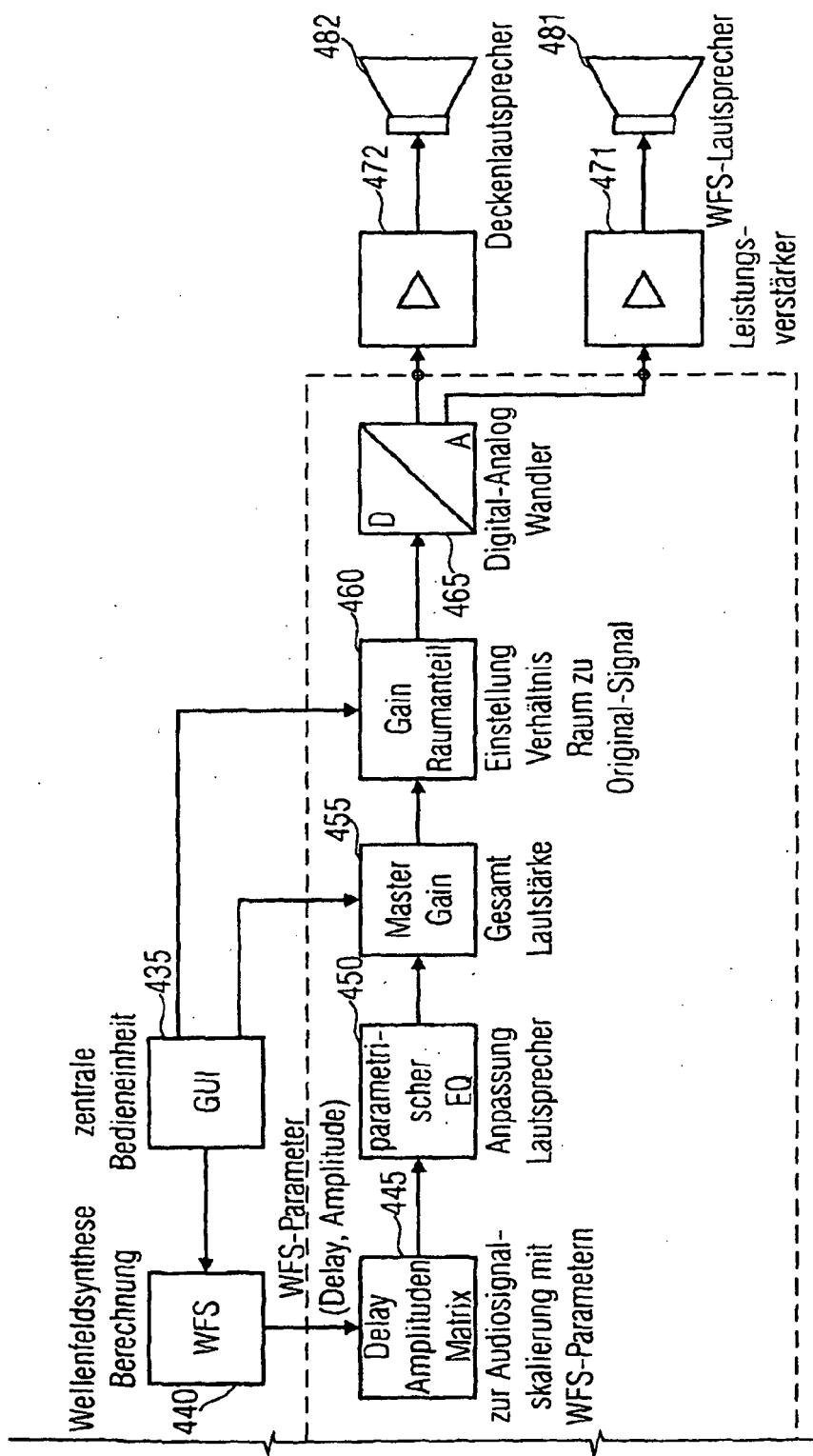
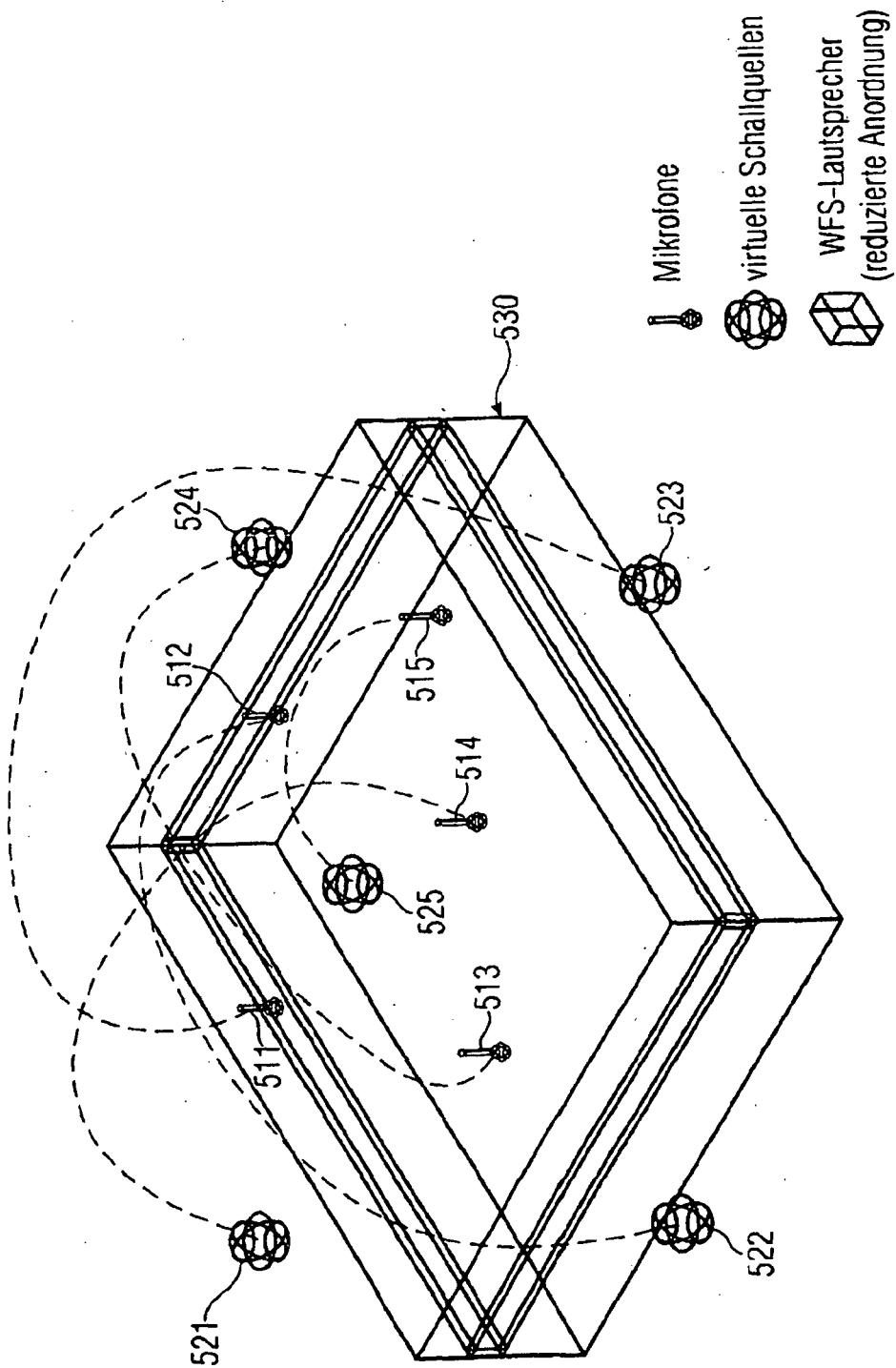


FIG 4	FIG 4B
-------	--------

FIG 4B



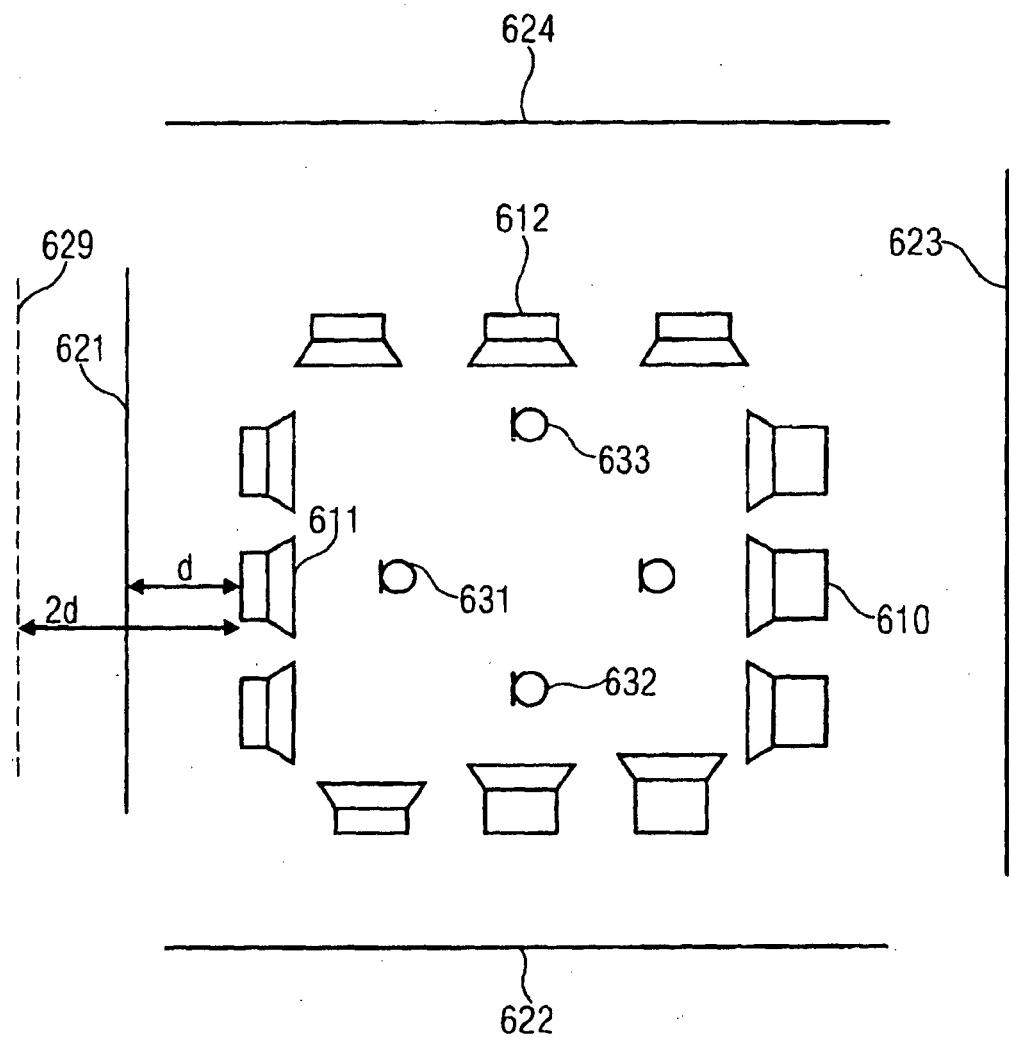


FIG 6

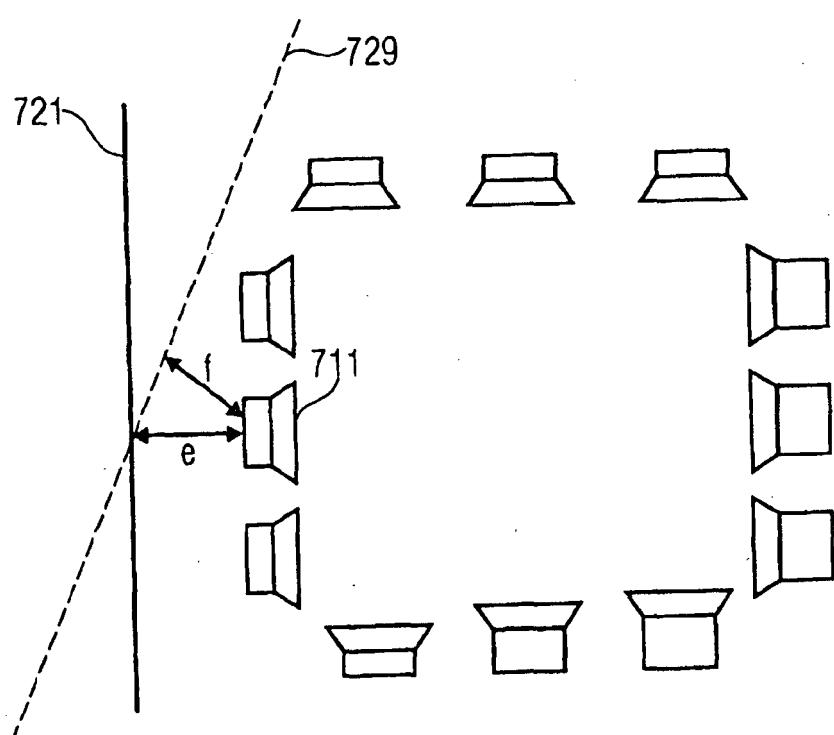


FIG 7

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

- US 005109419 A [0014]
- US 000000039189 E [0015]
- US 005142586 A [0016]
- US 3614320 A [0019]
- WO 2006092995 A1 [0019]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **BERKHOUT, A.J. ; DE VRIES, D. ; VOGEL, P.** Acoustic control by Wave-field Synthesis. JASA, vol. 93, 1993 [0004]
- Wellenfeldsynthese, Neue Möglichkeiten der räumlichen Tonaufnahme und -wiedergabe. **G. THEILE ; H. WITTEK ; M. REISINGER.** FKT Fernseh- und Kinno-Technik. Fachverlag Schiele & Schon GmbH, 01. April 2003, vol. 57, 735-739 [0017]
- **MARINUS M. BOONE.** Acoustic rendering with wave field synthesis. ACM SIGGRAPH AND EUROGRAPHICS CAMPFIRE: Acoustic Rendering for Virtual Environments, 1-9 [0018]