(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 637 012 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.01.2007 Patentblatt 2007/03

(21) Anmeldenummer: **04739448.1**

(22) Anmeldetag: **28.05.2004**

(51) Int Cl.:
H04S 3/00 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/005824

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/114725 (29.12.2004 Gazette 2004/53)

(54) **WELLENFELDSYNTHESEVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM TREIBEN EINES ARRAYS VON LAUTSPRECHERN**

WAVE FIELD SYNTHESIS DEVICE AND METHOD FOR DRIVING AN ARRAY OF LOUDSPEAKERS

DISPOSITIF DE SYNTHESE DE CHAMP ELECTROMAGNETIQUE ET PROCEDE D'ACTIONNEMENT D'UN RESEAU DE HAUT-PARLEURS

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **24.06.2003 DE 10328335**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
22.03.2006 Patentblatt 2006/12

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

(72) Erfinder:
- **RÖDER, Thomas**
  99334 Elxleben (DE)
- **SPORER, Thomas**
  90766 Fürth (DE)
- **BRIX, Sandra**
  98693 Ilmenau (DE)

(74) Vertreter: **Zinkler, Franz et al**
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler
Postfach 246
82043 Pullach bei München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 735 796 **EP-A- 1 206 160**
US-A- 5 715 318

- **DE VRIES D ET AL: "Wave field synthesis and analysis using array technology" APPLICATIONS OF SIGNAL PROCESSING TO AUDIO AND ACOUSTICS, 1999 IEEE WORKSHOP ON NEW PALTZ, NY, USA 17-20 OCT. 1999, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, US, 17. Oktober 1999 (1999-10-17), Seiten 15-18, XP010365058 ISBN: 0-7803-5612-8**
- **THEILE G ET AL: "WELLENFELDSYNTHESE NEUE MOEGLICHKEITEN DER RAEUMLICHEN TONAUFNAHME UND WIEDERGABE SOUND RECORDING USING ACOUSTIC WAVE FIELD SYNTHESIS" FERNSEH UND KINOTECHNIK, VDE VERLAG GMBH. BERLIN, DE, Bd. 57, Nr. 5, April 2003 (2003-04), Seiten 222-226, XP008036714 ISSN: 0015-0142**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 637 012 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Wellenfeldsynthesesysteme und insbesondere auf die Vermeidung von Artefakten aufgrund von Lautsprecherarrays mit einer begrenzten Anzahl von Lautsprechern.

[0002] Es besteht ein steigender Bedarf an neuen Technologien und innovativen Produkten im Bereich der Unterhaltungselektronik. Dabei ist es eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg neuer multimedialer Systeme, optimale Funktionalitäten bzw. Fähigkeiten anzubieten. Erreicht wird das durch den Einsatz digitaler Technologien und insbesondere der Computertechnik. Beispiele hierfür sind die Applikationen, die einen verbesserten realitätsnahen audiovisuellen Eindruck bieten. Bei bisherigen Audiosystemen liegt ein wesentlicher Schwachpunkt in der Qualität der räumlichen Schallwiedergabe von natürlichen, aber auch von virtuellen Umgebungen.

[0003] Verfahren zur mehrkanaligen Lautsprecherwiedergabe von Audiosignalen sind seit vielen Jahren bekannt und standardisiert. Alle üblichen Techniken besitzen den Nachteil, dass sowohl der Aufstellungsort der Lautsprecher als auch die Position des Hörers dem Übertragungsformat bereits eingeprägt sind. Bei falscher Anordnung der Lautsprecher im Bezug auf den Hörer leidet die Audioqualität deutlich. Ein optimaler Klang ist nur in einem kleinen Bereich des Wiedergaberaums, dem so genannten Sweet Spot, möglich.

[0004] Ein besserer natürlicher Raumeindruck sowie eine stärkere Einhüllung bei der Audiowiedergabe kann mit Hilfe einer neuen Technologie erreicht werden. Die Grundlagen dieser Technologie, die so genannte Wellenfeldsynthese (WFS; WFS = Wave-Field Synthesis), wurden 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] Die Wellenfeldsynthese ist des Weiteren aus den folgenden Dokumenten bekannt:

i) De Vries, D. and Boone, M.B.: "Wave field synthesis and analysis using array technology", Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 17. Oktober 1999, Seiten 15-18, ISBN: 0-7803-5612-8,

ii) EP 0 735 796,

iii) Theile G. et al.: "Wellenfeldsynthese: neue Möglichkeiten der räumlichen Tonaufnahme und Wiedergabe", Fernseh- und Kino-Technik, April 2003 , Seiten 222-226, ISSN: 0015-0142.

[0006] 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. In wenigen Jahren sollen auch erste Wellenfeldsynthese-Anwendungen für den Konsumerbereich auf den Markt kommen.

[0007] Die Grundidee von WFS basiert auf der Anwendung des Huygens'schen Prinzips der Wellentheorie:

[0008] Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die sich kugelförmig bzw. kreisförmig ausbreitet.

[0009] 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 Punktquelle 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.

[0010] 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.

[0011] Obgleich die Wellenfeldsynthese für Umgebungen gut funktioniert, deren Beschaffenheiten bekannt sind, treten doch Unregelmäßigkeiten auf, wenn sich die Beschaffenheit ändert bzw. wenn die Wellenfeldsynthese auf der Basis einer Umgebungsbeschaffenheit ausgeführt wird, die nicht mit der tatsächlichen Beschaffenheit der Umgebung übereinstimmt.

[0012] Die Technik der Wellenfeldsynthese kann jedoch ebenfalls vorteilhaft eingesetzt werden, um eine visuelle Wahrnehmung um eine entsprechende räumliche Audiowahrnehmung zu ergänzen. Bisher stand bei der Produktion in virtuellen Studios die Vermittlung eines authentischen visuellen Eindrucks der virtuellen Szene im Vordergrund. Der zum Bild passende akustische Eindruck wird in der Regel durch manuelle Arbeitsschritte in der sogenannten Postproduktion nachträglich dem Audiosignal aufgeprägt oder als zu aufwendig und zeitintensiv in der Realisierung eingestuft und daher vernachlässigt. Dadurch kommt es üblicherweise zu einem Widerspruch der einzelnen Sinnesempfindungen, der dazu führt, daß der entworfene Raum, d. h. die entworfene

Szene, als weniger authentisch empfunden wird.

[0013] In der Fachveröffentlichung "Subjective experiments on the effects of combining spatialized audio and 2D video projection in audio-visual systems", W. de Bruijn und M. Boone, AES convention paper 5582, 10. bis 13. Mai 2002, München, werden subjektive Experimente bezüglich der Auswirkungen des Kombinierens von räumlichem Audio und einer zweidimensionalen Videoprojektion in audiovisuellen Systemen dargestellt. Insbesondere wird hervorgehoben, daß zwei in einer unterschiedlichen Entfernung zu einer Kamera stehende Sprecher, die nahezu hintereinander stehen, von einem Betrachter besser verstanden werden können, wenn mit Hilfe der Wellenfeldsynthese die zwei hintereinander stehenden Personen als unterschiedliche virtuelle Schallquellen aufgefaßt und rekonstruiert werden. In diesem Fall hat sich durch subjektive Tests herausgestellt, daß ein Zuhörer die beiden gleichzeitig sprechenden Sprecher getrennt voneinander besser verstehen und unterscheiden kann.

[0014] In einem Tagungsbeitrag zum 46. internationalen wissenschaftlichen Kolloquium in Ilmenau vom 24. bis 27. September 2001 mit dem Titel "Automatisierte Anpassung der Akustik an virtuelle Räume", U. Reiter, F. Melchior und C. Seidel, wird ein Ansatz vorgestellt, Tonnachbearbeitungsprozesse zu automatisieren. Hierzu werden die für die Visualisierung notwendigen Parameter eines Film-Sets, wie z. B. Raumgröße, Textur der Oberflächen oder Kameraposition und Position der Akteure auf ihre akustische Relevanz hin überprüft, woraufhin entsprechende Steuerdaten generiert werden. Diese beeinflussen dann automatisiert die zur Postproduktion eingesetzten Effekt- und Nachbearbeitungsprozesse, wie z. B. die Anpassung der Sprecherlautstärkenabhängigkeit von der Entfernung zur Kamera oder die Nachhallzeit in Abhängigkeit von Raumgröße und Wandbeschaffenheit. Hierbei besteht das Ziel darin, den visuellen Eindruck einer virtuellen Szene für eine gesteigerte Realitätsempfindung zu verstärken.

[0015] Es soll ein "Hören mit den Ohren der Kamera" ermöglicht werden, um eine Szene echter erscheinen zu lassen. Hierbei wird eine möglichst hohe Korrelation zwischen Schallereignisort im Bild und Hörereignisort im Surroundfeld angestrebt. Das bedeutet, daß Schallquellenpositionen ständig einem Bild angepaßt sein sollen. Kameraparameter, wie z. B. Zoom, sollen in die Tongestaltung ebenso mit einbezogen werden wie eine Position von zwei Lautsprechern L und R. Hierzu werden Trackingdaten eines virtuellen Studios zusammen mit einem zugehörigen Timecode vom System in eine Datei geschrieben. Gleichzeitig werden Bild, Ton und Timecode auf einer MAZ aufgezeichnet. Das Camdump-File wird zu einem Computer übertragen, der daraus Steuerdaten für eine Audioworkstation geniert und synchron zum von der MAZ stammenden Bild über eine MIDI-Schnittstelle ausgibt. Die eigentliche Audiobearbeitung wie Positionierung der Schallquelle im Surroundfeld und Einfügen von frühen Reflexionen und Nachhall findet innerhalb der Audioworkstation statt. Das Signal wird für ein 5.1-Surround-Lautsprechersystem aufbereitet.

[0016] Kamera-Tracking-Parameter genauso wie Positionen von Schallquellen im Aufnahme-Setting können bei realen Film-Sets aufgezeichnet werden. Solche Daten können auch in virtuellen Studios erzeugt werden.

[0017] In einem virtuellen Studio steht ein Schauspieler oder Moderator allein in einem Aufnahmeraum. Insbesondere steht er vor einer blauen Wand, die auch als Blue-Box oder Blue-Panel bezeichnet wird. Auf diese Blauwand ist ein Muster aus blauen und hellblauen Streifen aufgebracht. Das besondere an diesem Muster ist, daß die Streifen unterschiedlich breit sind und sich somit eine Vielzahl von Streifen-Kombinationen ergeben. Aufgrund der einmaligen Streifen-Kombinationen auf der Blauwand ist es bei der Nachbearbeitung, wenn die Blauwand durch einen virtuellen Hintergrund ersetzt wird, möglich, genau zu bestimmen, in welche Richtung die Kamera blickt. Mit Hilfe dieser Informationen kann der Rechner den Hintergrund für den aktuellen Kamerablickwinkel ermitteln. Ferner werden Sensoren an der Kamera ausgewertet, die zusätzliche Kameraparameter erfassen und ausgeben. Typische Parameter einer Kamera, die mittels Sensorik erfaßt werden, sind die drei Translationsgrade x, y, z, die drei Rotationsgrade, die auch als Roll, Tilt, Pan bezeichnet werden, und die Brennweite bzw. der Zoom, der gleichbedeutend mit der Information über den Öffnungswinkel der Kamera ist.

[0018] Damit die genaue Position der Kamera auch ohne Bilderkennung und ohne aufwendige Sensortechnik bestimmt werden kann, kann man auch ein Tracking-System einsetzen, das aus mehreren Infrarot-Kameras besteht, die die Position eines an der Kamera befestigten Infrarot-Sensors ermitteln. Somit ist auch die Position der Kamera bestimmt. Mit den von der Sensorik gelieferten Kameraparametern und den von der Bilderkennung ausgewerteten Streifen-Informationen kann ein Echtzeitrechner nun den Hintergrund für das aktuelle Bild berechnen. Hierauf wird der Blau-Farbton, den der blaue Hintergrund hatte, aus dem Bild entfernt, so daß statt dem blauen Hintergrund der virtuelle Hintergrund eingespielt wird.

[0019] In der Mehrzahl der Fälle wird ein Konzept verfolgt, bei dem es darum geht, einen akustischen Gesamteindruck der visuell abgebildeten Szenerie zu bekommen. Dieses lässt sich gut mit dem aus der Bildgestaltung stammenden Begriff der "Totalen" umschreiben. Dieser "totale" Klangeindruck bleibt meist über alle Einstellungen in einer Szene konstant, obwohl sich der optische Blickwinkel auf die Dinge meist stark ändert. So werden optische Details durch entsprechende Einstellungen herausgehoben oder in den Hintergrund gestellt. Auch Gegenschüsse bei der filmischen Dialoggestaltung werden vom Ton nicht nachvollzogen.

[0020] Daher besteht der Bedarf, den Zuschauer akustisch in eine audiovisuelle Szene einzubetten. Hierbei bildet die Leinwand oder Bildfläche die Blickrichtung und den Blickwinkel des Zuschauers. Dies bedeutet, daß der

Ton dem Bild in der Form nachgeführt werden soll, daß er stets mit dem gesehenen Bild übereinstimmt. Dies wird insbesondere für virtuelle Studios noch wichtiger, da es typischerweise keine Korrelation zwischen dem Ton der Moderation beispielsweise und der Umgebung gibt, in der sich der Moderator gerade befindet. Um einen audiovisuellen Gesamteindruck der Szene zu bekommen, muß ein zum gerenderten Bild passender Raumeindruck simuliert werden. Eine wesentliche subjektive Eigenschaft bei einem solchen klanglichen Konzept ist in diesem Zusammenhang der Ort einer Schallquelle, wie ihn ein Betrachter beispielsweise einer Kinoleinwand empfindet.

[0021] Im Audiobereich läßt sich also durch die Technik der Wellenfeldsynthese (WFS) ein guter räumlicher Klang für eine großen Hörerbereich erzielen. Wie es ausgeführt worden ist, 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.

[0022] Wie es bereits ausgeführt worden ist, arbeitet das Wellenfeldsynthesesystem auf der Basis des Huygens-Prinzips und rekonstruiert eine gegebene Wellenform beispielsweise einer virtuellen Quelle, die in einem bestimmten Abstand zu einem Vorführbereich bzw. zu einem Hörer in dem Vorführbereich 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.

[0023] 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 aufzuaddieren, um schließlich das tatsächliche 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.

[0024] 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 virtuellen Quelle vorhanden ist, oder das nach Addition mit weiteren Komponentensignalen für den betrachteten Lautsprecher von anderen virtuellen Quellen dann zum Lautsprechersignal für den betrachteten Lautsprecher beiträgt.

[0025] 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. Statt dessen 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.

[0026] Ferner existieren verschiedene Szenarien, dahingehend, daß das Lautsprecherarray nur, wenn ein Kinosaal betrachtet wird, z. B. auf der Seite der Kinoleinwand angeordnet ist. In diesem Fall würde das Wellenfeldsynthesemodul Lautsprechersignale für diese Lautsprecher erzeugen, wobei die Lautsprechersignale für diese Lautsprecher normalerweise dieselben sein werden wie für entsprechende Lautsprecher in einem Lautsprecherarray, das sich nicht nur über die Seite eines Kinos beispielsweise erstreckt, an der die Leinwand angeordnet ist, sondern das auch links, rechts und hinter dem Zuhörerraum angeordnet ist. Dieses "360°"-Lautsprecherarray wird natürlich eine bessere Annäherung an ein exaktes Wellenfeld schaffen als lediglich ein einseitiges Array, beispielsweise vor den Zuschauern. Dennoch sind die Lautsprechersignale für die Lautsprecher, die sich vor den Zuschauern befinden, in beiden Fällen die gleichen. Dies bedeutet, daß ein Wellenfeldsynthesemodul typischerweise keine Rückkopplung dahingehend erhält, wie viele Lautsprecher vorhanden sind bzw. ob es sich um ein einseitiges oder mehrseitiges oder gar

um ein 360°-Array handelt oder nicht. Anders ausgedrückt berechnet eine Wellenfeldsyntheseeinrichtung ein Lautsprechersignal für einen Lautsprecher aufgrund der Position des Lautsprechers und unabhängig davon, welche weiteren Lautsprecher noch vorhanden sind oder nicht vorhanden sind.

[0027] Nachfolgend wird anhand von Fig. 9 auf eine Artefaktproblematik eingegangen, die sich ergibt, wenn sich eine virtuelle Quelle 900 in einem Zuhörraum 902 befindet, der durch ein um den Raum angeordnetes Lautsprecherarray 904 definiert ist, das bei dem in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiel Arraygruppen 904a, 904b, 904c und 904d aufweist.

[0028] Durch eine in Fig. 9 nicht gezeigte Berechnungseinrichtung werden für die zu den Lautsprecher-Unterarrays 904a, 904b, 904c, 904d gehörigen Lautsprecher, von denen einer beispielhaft als 906 bezeichnet ist, Treibersignale erzeugt. Zur Rekonstruktion einer virtuellen Quelle 900, die bei dem in Fig. 9 gezeigten Bild als punktförmig strahlende Quelle angenommen wird, werden die Treibersignale für die einzelnen Lautsprecher 904 so geliefert, daß die von den Lautsprechern abgegebenen Schallsignale bzw. Wellenfronten auf die virtuelle Position der virtuellen Quelle 900 fokussiert werden. Selbstverständlich gibt jeder Lautsprecher 904 zunächst in seiner Hauptstrahlungsrichtung, also typischerweise senkrecht zur Lautsprechermembran, ein Schallsignal ab. Aufgrund der gegenseitigen Überlagerungen der Schallsignale der einzelnen Lautsprecher, die durch die auf den Gesetzen der Wellenfeldsynthese basierenden Treibersignale bewirkt wird, findet jedoch eine Fokussierung der Wellenfronten auf die virtuelle Position der virtuellen Quelle 900 statt, wie es durch die von den einzelnen Lautsprechern ausgehenden gestrichelten Linien (z. B. 910) dargestellt ist. Der Lautsprecher, von dem die gestrichelte Linie 910 ausgeht, erzeugt ebenso wie alle anderen Lautsprecher ein Lautsprechersignal, das zu der virtuellen Quelle hinläuft, und zwar so, daß eine zu der gestrichelten Linie 910 zugehörige durchgezogene Linie, die mit einer Pfeilspitze abgeschlossen ist und in Fig. 9 mit 912 bezeichnet ist, gewissermaßen das Nutzsignal der virtuellen Quelle darstellt.

[0029] Entsprechend ist die zu der virtuellen Quelle 900 hinlaufende Wellenfront durch eine weitere gestrichelte Linie 914 dargestellt, die zu einem Nutzsignal 916 der virtuellen Quelle 900 führt, wie es durch die mit einem Pfeil abgeschlossene durchgezogene Linie 916 dargestellt ist. Dies bedeutet, daß sich in dem Zuhörerraum 902 prinzipiell zwei Wellenfelder überlagern. Das eine Wellenfeld sind bei dem in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiel sämtliche gestrichelte Linien, die die Fokussierung der Lautsprechersignale auf die Position der virtuellen Quelle 900 darstellen sollen. Zum anderen existiert das "Nutz"-Wellenfeld, das durch die in Fig. 9 mit einem Pfeil abgeschlossenen durchgezogenen Linien (z. B. 912 und 916) dargestellt ist. Aufgrund der Überlagerung dieser beiden Wellenfelder, nämlich einerseits des "Erzeugungs-Wellenfelds" und anderseits des "Nutz-Wellenfelds" entstehen im gesamten Zuhörerraum 902 Artefakte. Diese Artefakte sind systembedingt, da die virtuelle Quelle 900 innerhalb des Arrays positioniert ist und da an der Position der virtuellen Quelle kein Lautsprecher vorgesehen ist, der eine Punktstrahlcharakteristik hat.

[0030] In anderen Worten ausgedrückt würde zur Erzeugung des Nutzsignals auf der Seite der virtuellen Quelle 900, auf der in Fig. 9 die durchgezogene Linie 916 eingezeichnet ist, ein Signal des Lautsprecher-Unterarrays 904a und ein Lautsprechersignal von zumindest den unteren Teilen der Lautsprecherarrays 904b und 904d erzeugt werden. Um jedoch andererseits auf der Seite der virtuellen Quelle, auf der die durchgezogene Linie 912 eingezeichnet ist, ein Signal der virtuellen Quelle 900 als Nutzsignal zu erzeugen, würde eine Wellenfront von dem Lautsprecher-Unterarray 904c sowie von zumindest Teilen der Lautsprecher-Arrays 904d und 904b, die typischerweise oberhalb der virtuellen Quelle sein werden, erzeugt werden. Damit kommt es, wie es ausgeführt worden ist, im gesamten Zuhörerraum 902 zu Artefakten, da der Zuhörer sowohl das Erzeugungs-Wellenfeld, das mit den gestrichelten Linien in Fig. 9 skizziert ist, als auch das Nutz-Wellenfeld hören wird, das in Fig. 9 mit den durchgezogenen Linien gekennzeichnet ist.

[0031] Eigentlich möchte der Zuhörer jedoch lediglich das Nutz-Wellenfeld, also das Wellenfeld, das durch die durchgezogenen Linien, die mit einem Pfeil abgeschlossen sind, hören, während er natürlich kein Interesse an dem Erzeugungs-Wellenfeld hat, das durch die gestrichelten Linien in Fig. 9 dargestellt ist. Da der Zuhörer jedoch, wie es ausgeführt worden ist, beide Wellenfelder hört, kommt es zu unerwünschten Artefakten.

[0032] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Wellenfeldsynthesekonzept mit zumindest reduzierten Artefakten zu schaffen.

[0033] Diese Aufgabe wird durch eine Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Patentanspruch 1, ein Verfahren zum Treiben eines Arrays von Lautsprechern nach Patentanspruch 15 oder ein Computer-Programm nach Patentanspruch 16 gelöst.

[0034] Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß eine Reduktion bzw. Eliminierung von Artefakten aufgrund des "Erzeugungs-Wellenfelds", wie es Bezug nehmend auf Fig. 9 erläutert worden ist, dadurch erreicht wird, daß lediglich eine Teil-Rekonstruktion des Wellenfelds einer virtuellen Quelle durchgeführt wird, indem nicht alle Lautsprecher des Lautsprecherarrays mit Treibersignalkomponenten versorgt werden, sondern indem zunächst relevante Lautsprecher des Lautsprecherarrays auf der Basis der Position der virtuellen Quelle ermittelt werden, wonach für die als relevant ermittelten Lautsprecher Treibersignalkomponenten auf der Basis des Audiosignals für die virtuelle Quelle berechnet werden, und wobei dann lediglich die relevanten Lautsprecher mit für dieselben berechneten Treibersignalkomponenten bedient werden, während die nicht-relevanten Lautsprecher nicht mit Treibersignalkomponenten auf-

grund des der virtuellen Quelle zugeordneten Audiosignals bedient werden.

[0035] Damit wird lediglich ein Teil des Nutz-Wellenfeldes einer virtuellen Quelle rekonstruiert, wobei dieses zu rekonstruierende Teil-Wellenfeld beliebig bestimmbar ist. Insbesondere wird erfindungsgemäß abhängig von einer bestimmten Zuhörerposition eine Schallemission der Lautsprecher unterdrückt, die derart bezüglich der Zuhörerposition und der virtuellen Quelle angeordnet sind, daß sich die Zuhörerposition zwischen der virtuellen Quelle und den Lautsprechern befindet.

[0036] Die Lautsprecher, bei denen dies der Fall ist, sind nicht-relevante Lautsprecher und werden somit auch nicht angesteuert, um in dem Teilraum, in dem sich die Zuhörerposition befindet, das Erzeugungs-Wellenfeld zu unterdrücken, so daß der Zuhörer an seiner Zuhörerposition nur noch das Nutz-Wellenfeld der virtuellen Quelle wahrnimmt und somit einen Artefakt-freien Hörgenuß haben wird.

[0037] Dies führt jedoch dazu, daß auf der entgegengesetzten Seite der virtuellen Quelle, also auf der Seite der virtuellen Quelle, wo die relevanten Lautsprecher sitzen, nur noch das Erzeugungs-Wellenfeld vorhanden ist, daß jedoch dort das Nutz-Wellenfeld deaktiviert wird. Ein Zuhörer wird daher auf dieser Seite einen deutlich reduzierten Hörgenuß haben da hier nur das Erzeugungs-Wellenfeld existiert, nicht jedoch das Nutz-Wellenfeld bezüglich einer virtuellen Quelle.

[0038] Nachdem typischerweise jedoch mehrere virtuellen Quellen an mehreren Positionen vorhanden sein werden, und nachdem es oft der Fall sein wird, daß die virtuelle Position nicht in der Mitte des Zuhörerraums sein wird, sondern an einem Rand, ist die Verringerung des Höreindrucks auf der "schlechten" Seite des Zuhörerraums, also in dem Bereich des Zuhörerraums, der sich bezüglich der virtuellen Quelle auf der entgegengesetzten Seite der zur Relevanzermittlung herangezogenen definierten Zuhörerposition befindet, nicht so gravierend, so daß dieser Qualitätsverlust im Hinblick auf den Gesamtgewinn auf den gesamten Zuhörerraum bzw. auf die Mehrheit der Zuhörer bezogen hinnehmbar ist.

[0039] In anderen Worten ausgedrückt ist die Einrichtung zum Ermitteln der relevanten Lautsprecher des Lautsprecherarrays auf der Basis der Position der virtuellen Quelle und der definierten Positionen der Lautsprecher wirksam, um Artefakte aufgrund von Lautsprechersignalen des "Erzeugungs-Wellenfelds" zu reduzieren, die sich entgegengesetzt zu einer Richtung von der virtuellen Quelle zu der definierten Zuhörerposition bewegen.

[0040] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung werden - für Quellen außerhalb des Zuhörerraums - sämtliche Lautsprecher als nicht-relevant für eine virtuellen Quelle ermittelt, bei denen ein Winkel zwischen ihrer Hauptstrahlungsrichtung und der Richtung von der virtuellen Quelle durch diesen Lautsprecher größer als 90 Grad ist. Dies bedeutet, daß ein Vektor von der virtuellen Quelle zum Lautsprecher keine Richtungskomponente hat, die parallel zu einer Hauptstrahlungsrichtung eines Lautsprechers ist. Ist dies der Fall, so wird der Lautsprecher als nicht-relevant ermittelt, da dieser Lautsprecher dann nicht in der Lage sein wird, zu der Rekonstruktion eines Wellenfelds beizutragen, das sich von der virtuellen Quelle zur Zuhörerposition ausbreiten soll und nicht umgekehrt.

[0041] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die vorstehenden Betrachtungen ein gewissermaßen halbkreisförmiges Strahlungsfeld des Lautsprechers betrachtet wird, in dem seine Hauptstrahlungsrichtung liegt, das also vor dem Lautsprecher ist. Eventuelle zusätzliche Abstrahlungen nach hinten werden dabei nicht berücksichtigt. Hat also eine solche zusätzliche Abstrahlung "nach hinten" eine Richtungskomponente, so wird diese ignoriert und spielt somit bei der Bestimmung der Lautsprecher keine Rolle.

[0042] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, bei dem als Lautsprecherarray ein Linienarray verwendet wird, mit dem eine sogenannte Receiver-Linie in dem Zuhörerraum erzeugt werden kann, die prinzipiell beliebige Formen annehmen kann, wie es in der Dissertation mit dem Titel "Sound Reproduction by Wave Field Synthesis", Edwin N. G. Verheijen, 1998, dargelegt ist, wird der Zuhörerraum auf der Basis der Receiver-Linie, für die die Wellenfeldrekonstruktion optimal ist, in zwei Halbräume aufgeteilt. Eine Linie, die parallel zur Receiver-Linie ist und durch die virtuelle Position läuft, teilt den Zuhörerraum in einen ersten und in einen zweiten Halbraum. In dem Halbraum, in dem sich die Zuhörerposition befindet, werden sämtliche Lautsprecher als nicht-relevant ermittelt, um in diesem Halbraum, in dem ein guter Audioeindruck sein soll, das Erzeugungs-Wellenfeld aufgrund der virtuellen Quelle zu deaktivieren. Im anderen Halbraum dagegen werden alle Lautsprecher als relevant ermittelt, um das in dem Halbraum, in dem sich die Zuhörerposition befindet, für einen guten Audioeindruck nötige Nutz-Wellenfeld der virtuellen Quelle zu erzeugen.

[0043] Die vorstehenden Betrachtungen beziehen sich auf eine virtuelle Quelle mit einer virtuellen Position im Zuhörerraum. Befindet sich dagegen eine virtuellen Quelle an einer virtuellen Position außerhalb des Zuhörerraums, so wird es bevorzugt, sämtliche Lautsprecher, die jenseits der Receiver-Linie liegen, als nicht-relevante Lautsprecher zu ermitteln. Gleichzeitig werden Lautsprecher als nicht-relevant bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ermittelt, bei denen der Winkel zwischen der Lautsprecherachse, also der Hauptstrahlungsrichtung, und einer Linie durch die virtuelle Quelle einerseits und den betrachteten Lautsprecher andererseits nicht größer als 90 Grad ist, um wiederum das Erzeugungs-Wellenfeld für Komponenten der virtuellen Quelle außerhalb des Raums, die von dem Zuhörerraum abgewandt sind, zu eliminieren, derart, daß im Zuhörerraum lediglich das Nutz-Wellenfeld der virtuellen Quelle vorhanden ist. Anders ausgedrückt werden wiederum die Lautsprecher deaktiviert, die Lautspre-

chersignale emittieren, die eine Richtung haben, die zu der Richtung von der virtuellen Quelle zu der Zuhörerposition entgegengesetzt gerichtet ist.

[0044] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Wellenfeldsynthesevorrichtung;

Fig. 2 ein Prinzipschaltbild einer Wellenfeldsyntheseumgebung;

Fig. 3 eine detailliertere Darstellung der in Fig. 2 gezeigten Wellenfeldsyntheseumgebung;

Fig. 4 eine Darstellung der Situation bei einer virtuellen Quelle außerhalb des Zuhörerraums zur Kennzeichnung der relevanten Lautsprecher und der nicht-relevanten Lautsprecher für die virtuelle Quelle;

Fig. 5 eine Darstellung der Winkelbeziehung zwischen einer virtuellen Quelle und einer Lautsprecherachse;

Fig. 6 eine Darstellung der Situation bei einer virtuellen Quelle innerhalb des Zuhörerraums;

Fig. 7 eine detailliertere Darstellung der Situation einer virtuellen Quelle innerhalb des Zuhörerraums;

Fig. 8 ein prinzipielles Blockschaltbild eines Wellenfeldsynthesesystems mit Wellenfeldsynthesemodul und Lautsprecherarray in einem Vorführbereich; und

Fig. 9 eine Prinzipdarstellung zur Erläuterung der Rekonstruktion eines Wellenfelds einer punktförmig strahlenden virtuellen Quelle.

[0045] Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Wellenfeldsynthesevorrichtung. Die Wellenfeldsynthesevorrichtung dient zum Treiben eines Arrays von Lautsprechern mit Treibersignalen. Die Lautsprecher sind, wie es anhand von Fig. 8 noch erläutert werden wird, an unterschiedlichen definierten Positionen eines Zuhörerraums angeordnet, wie es auf dem Gebiet der Wellenfeldsynthese bekannt ist. Ein Treibersignal für einen Lautsprecher basiert einerseits auf einem Audiosignal, das einer virtuellen Quelle zugeordnet ist, die eine virtuelle Position bezüglich des Lautsprecherarrays hat, und andererseits auf der definierten Position des Lautsprechers, für den das Treibersignal bestimmt ist.

[0046] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in einem Wellenfeldsynthese-Setting typischerweise mehrere virtuelle Quellen existieren werden, die an verschiedenen virtuellen Positionen angeordnet sind. Die Wellenfeldsynthesevorrichtung ist ausgebildet, um in diesem Fall für jede virtuelle Quelle eine Treibersignalkomponente für einen Lautsprecher zu berechnen, wobei dann die Treibersignalkomponenten für einen betrachteten Lautsprecher, die aufgrund der verschiedenen virtuellen Quellen berechnet worden sind, zusammengefaßt werden, um schließlich das Treibersignal für den Lautsprecher zu erhalten, in das somit mehrere virtuelle Quellen bzw. die mehreren virtuellen Quellen zugeordneten Audiosignale eingehen.

[0047] Die in Fig. 1 gezeigte erfindungsgemäße Wellenfeldsynthesevorrichtung umfaßt eine Einrichtung 10 zum Ermitteln von relevanten Lautsprechern des Lautsprecherarrays. Die Einrichtung 10 ist ausgebildet, um die Ermittlung auf der Basis einer virtuellen Position der virtuellen Quelle durchzuführen, die über einen ersten Eingang 12 zugeführt wird. Ferner arbeitet die Einrichtung 10 zum Ermitteln auf der Basis der Position des gerade betrachteten Lautsprechers, die bei dem in Fig. 1 gezeigten Prinzipblockschaltbild über einen weiteren Eingang 14 der Einrichtung zugeführt wird. Es sei darauf hingewiesen, daß die Positionen der Lautsprecher im Lautsprecher-Array typischerweise fest vorgegeben sind und beispielsweise innerhalb der Einrichtung 10 in Form einer Tabelle beispielsweise abgespeichert sein werden, also nicht unbedingt über einen eigenen Eingang 14 zugeführt werden müssen. Schließlich arbeitet die Einrichtung 10 zum Ermitteln von relevanten Lautsprechern auf der Basis einer betrachteten Zuhörerposition, die über einen weiteren Eingang 16 zugeführt werden kann. Auch an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die Zuhörerposition bzw. bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Halbraum von Zuhörerpositionen, die Artefaktfrei bedient werden sollen, nicht jedesmal sich ändern wird, sondern ebenfalls fest eingestellt sein kann. Je nach Ausführungsform kann somit die Zuhörerposition bzw. die mehreren Zuhörerpositionen, die sich dort befinden, wo das Erzeugungs-Wellenfeld deaktiviert wird, ständig ändern oder aber fest vorgegeben sein.

[0048] Wie es später noch erläutert werden wird, wird es bevorzugt, auf der Basis der Receiver-Linie, die wiederum ebenfalls vorzugsweise durch den Mittelpunkt des Zuhörerraums gelegt wird, die definierte Zuhörerposition für jede virtuelle Quelle einerseits und jede Position jeder virtuellen Quelle andererseits zu bestimmen, derart, daß der Zuhörerpositionseingang 16 verwendet wird, um die relevanten Lautsprecher des Lautsprecherarrays zu ermitteln.

[0049] Die Einrichtung 10 ist ausgebildet, um Artefakte aufgrund von Lautsprechern zu reduzieren oder zu eliminieren, die Lautsprechersignale ausgeben, die sich entgegengesetzt zu einer Richtung von der virtuellen Quelle zu der Zuhörerposition bewegen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung nicht nur die Lautsprecher deaktiviert werden, die genau entgegengesetzt zu

der Richtung von der virtuellen Quelle zu der Zuhörerposition emittieren, sondern daß ebenfalls Lautsprecher als nicht-relevant ermittelt werden, deren Emissionsrichtung eine Komponente hat, die entgegengesetzt zu der Richtung von der virtuellen Quelle zu der Zuhörerposition ist, oder die nur eine Komponente haben, die senkrecht zu der Richtung von der virtuellen Quelle zu der Zuhörerposition ist.

[0050] Die Einrichtung 10 ist ausgebildet, um die relevanten Lautsprecher zu identifizieren, und um diese Informationen über einen Ausgang 18 einer Einrichtung 20 zum Berechnen der Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher zu übermitteln. Die Einrichtung 20 ist als übliches Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet, dahingehend, daß sie auf der Basis der Wellenfeldsynthesetechnik Treibersignalkomponenten für Lautsprecher berechnet, wobei sich die Treibersignalkomponenten für die Lautsprecher untereinander in einer Verzögerung (Delay) und einer Skalierung, also einer Dämpfung/Verstärkung, unterscheiden werden, wobei jedoch abgesehen von der Delay einerseits und der Skalierung andererseits die Folge von Abtastwerten in einer Treibersignalkomponente dieselbe sein wird, wie sie für eine virtuelle Quelle vorgegeben ist, also gleich dem Audiosignal sein wird, das der virtuellen Quelle zugeordnet ist.

[0051] Die Einrichtung 20 zum Berechnen ist ausgebildet, um die Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher an einem Ausgang 22 auszugeben und einer Einrichtung 24 zuzuführen. Die Einrichtung 24 dient zum Liefern der Treibersignalkomponenten für eine virtuelle Quelle zu den relevanten Lautsprechern, während keine Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle an nicht-relevante Lautsprecher übermittelt werden, um damit das "Erzeugungs-Wellenfeld", das anhand der Fig. 9 erläutert worden ist, in einem Bereich des Zuhörerraums zu unterdrücken, in dem sich die definierte Zuhörerposition befindet.

[0052] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf die Fig. 2 und 3 auf die allgemeine Funktionalität des Wellenfeldsynthesemoduls allgemein bzw. auf das Berechnen der Treibersignale für die Lautsprecher eingegangen, also die Berechnung der Lautsprechersignale auf der Basis der Treibersignalkomponenten bzw. Komponentensignale erläutert. Zunächst wird jedoch noch anhand von Fig. 8 eine übliche Wellenfeldsynthese-Gesamtumgebung dargestellt.

[0053] Bevor detailliert auf die vorliegende Erfindung eingegangen wird, wird nachfolgend anhand von Fig. 8 der prinzipielle Aufbau eines Wellenfeldsynthesesystems dargestellt. Das Wellenfeldsynthesesystem hat ein Lautsprecherarray 800, das bezüglich eines Vorführbereichs 802 platziert ist. Im einzelnen umfaßt das in Fig. 8 gezeigte Lautsprecherarray, das ein 360°-Array ist, vier Arrayseiten 800a, 800b, 800c und 800d. Ist der Vorführbereich 802 z. B. ein Kinosaal, so wird bezüglich der Konventionen vorne/hinten oder rechts/links davon ausgegangen, daß sich die Kinoleinwand auf derselben Seite des Vorführbereichs 802 befindet, an der auch das Teil-Array 800c angeordnet ist. In diesem Fall würde der Betrachter, der an dem hier so genannten Optimal-Punkt P in dem Vorführbereich 802 sitzt, nach vorne, also auf die Leinwand, sehen. Hinter dem Zuschauer würde sich dann das Teil-Array 800a befinden, während sich links vom Zuschauer das Teil-Array 800d befinden würde, und während sich rechts vom Zuschauer das Teil-Array 800b befinden würde. Jedes Lautsprecherarray besteht aus einer Anzahl von verschiedenen Einzellautsprechern 808, die jeweils mit eigenen Lautsprechersignalen angesteuert werden, die von einem Wellenfeldsynthesemodul 810 über einen in Fig. 8 lediglich schematisch gezeigten Datenbus 812 bereitgestellt werden. Das Wellenfeldsynthesemodul ist ausgebildet, um unter Verwendung der Informationen über z. B. Art und Lage der Lautsprecher bezüglich des Vorführbereichs 802, also von Lautsprecher-Informationen (LS-Infos), und gegebenenfalls mit sonstigen Inputs Lautsprechersignale für die einzelnen Lautsprecher 808 zu berechnen, die jeweils von den Audiotracks für virtuelle Quellen, denen ferner Positionsinformationen zugeordnet sind, gemäß den bekannten Wellenfeldsynthesealgorithmen abgeleitet werden. Das Wellenfeldsynthesemodul kann ferner noch weitere Eingaben erhalten, wie beispielsweise Informationen über die Raumakustik des Vorführbereichs etc.

[0054] Die nachfolgenden Ausführungen zur vorliegenden Erfindung können prinzipiell für jeden Punkt P in dem Vorführbereich durchgeführt werden. Der Optimal-Punkt kann somit an jeder beliebigen Stelle im Vorführbereich 802 liegen. Es kann auch mehrere Optimal-Punkte, z. B. auf einer Optimal-Linie, geben. Um jedoch möglichst gute Verhältnisse für möglichst viele Punkte im Vorführbereich 802 zu erhalten, wird es bevorzugt, den Optimal-Punkt bzw. die Optimal-Linie in der Mitte bzw. am Schwerpunkt des Wellenfeldsynthesesystems, das durch die Laut sprecher-Teilarrays 800a, 800b, 800c, 800d definiert ist, anzunehmen.

[0055] Eine detailliertere Darstellung des Wellenfeldsynthesemoduls 800 wird nachfolgend anhand der Fig. 2 und 3 Bezug nehmend auf das Wellenfeldsynthesemodul 200 in Fig. 2 bzw. auf die in Fig. 3 detailliert dargestellte Anordnung gegeben.

[0056] Fig. 2 zeigt eine Wellenfeldsyntheseumgebung, in der die vorliegende Erfindung implementiert werden kann. Zentrum einer Wellenfeldsyntheseumgebung ist ein Wellenfeldsynthesemodul 200, das diverse Eingänge 202, 204, 206 und 208 sowie diverse Ausgänge 210, 212, 214, 216 umfaßt. Über Eingänge 202 bis 204 werden dem Wellenfeldsynthesemodul verschiedene Audiosignale für virtuelle Quellen zugeführt. So empfängt der Eingang 202 z. B. ein Audiosignal der virtuellen Quelle 1 sowie zugeordnete Positionsinformationen der virtuellen Quelle. In einem Kinosetting beispielsweise wäre das Audiosignal 1 z. B. die Sprache eines Schauspielers, der sich von einer linken Seite der Leinwand zu einer rechten Seite der Leinwand und möglicherweise zusätzlich noch vom Zuschauer weg bzw. zum Zuschauer hin bewegt. Das Audiosignal 1 wäre dann die tatsäch-

liche Sprache dieses Schauspielers, während die Positionsinformationen als Funktion der Zeit die zu einem bestimmten Zeitpunkt aktuelle Position des ersten Schauspielers im Aufnahmesetting darstellt. Dagegen wäre das Audiosignal n die Sprache beispielsweise eines weiteren Schauspielers, der sich gleich oder anders als der erste Schauspieler bewegt. Die aktuelle Position des anderen Schauspielers, dem das Audiosignal n zugeordnet ist, wird durch mit dem Audiosignal n synchronisierte Positionsinformationen dem Wellenfeldsynthesemodul 200 mitgeteilt. In der Praxis existieren verschiedene virtuelle Quellen je nach Aufnahmesetting, wobei das Audiosignal jeder virtuellen Quelle als eigener Audiotrack dem Wellenfeldsynthesemodul 200 zugeführt wird.

[0057] Wie es vorstehend dargelegt worden ist, speist ein Wellenfeldsynthesemodul eine Vielzahl von Lautsprechern LS1, LS2, LS3, LSm durch Ausgabe von Lautsprechersignalen über die Ausgänge 210 bis 216 zu den einzelnen Lautsprechern. Dem Wellenfeldsynthesemodul 200 werden über den Eingang 206 die Positionen der einzelnen Lautsprecher in einem Wiedergabesetting, wie beispielsweise einem Kinosaal mitgeteilt. Im Kinosaal befinden sich um den Kinozuschauer herum gruppiert viele einzelne Lautsprecher, die in Arrays vorzugsweise derart angeordnet sind, daß sich sowohl vor dem Zuschauer, also beispielsweise hinter der Leinwand, als auch hinter dem Zuschauer sowie rechts und links des Zuschauers Lautsprecher befinden. Ferner können dem Wellenfeldsynthesemodul 200 noch sonstige Eingaben mitgeteilt werden, wie beispielsweise Informationen über die Raumakustik etc., um in einem Kinosaal die tatsächliche während des Aufnahmesettings herrschende Raumakustik simulieren zu können.

[0058] Allgemein gesagt wird das Lautsprechersignal, das beispielsweise dem Lautsprecher LS1 über den Ausgang 210 zugeführt wird, eine Überlagerung von Komponentensignalen der virtuellen Quellen sein, dahingehend, daß das Lautsprechersignal für den Lautsprecher LS1 eine erste Komponente, die auf die virtuelle Quelle 1 zurückgeht, eine zweite Komponente, die auf die virtuelle Quelle 2 zurückgeht, sowie eine n-te Komponente, die auf die virtuelle Quelle n zurückgeht, umfassen. Die einzelnen Komponentensignale werden linear superponiert, also nach ihrer Berechnung addiert, um die lineare Superposition am Ohr des Zuhörers nachzubilden, der in einem realen Setting eine lineare Überlagerung der von ihm wahrnehmbaren Schallquellen hören wird.

[0059] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf Fig. 3 eine detailliertere Ausgestaltung des Wellenfeldsynthesemoduls 200 dargelegt. Das Wellenfeldsynthesemodul 200 hat einen stark parallelen Aufbau dahingehend, daß ausgehend von dem Audiosignal für jede virtuelle Quelle und ausgehend von den Positionsinformationen für die entsprechende virtuelle Quelle zunächst Verzögerungsinformationen V_i sowie 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 LSj, abhängen. Die Berechnung einer Verzögerungsinformation V_i sowie eines Skalierungsfaktors SF_i aufgrund der Positionsinformationen einer virtuellen Quelle und der Lage des betrachteten Lautsprechers j geschieht durch bekannte Algorithmen, die in Einrichtungen 300, 302, 304, 306 implementiert sind. 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. 3 schematisch dargestellt sind. Fig. 3 zeigt ferner gewissermaßen eine "Blitzlichtaufnahme" zum Zeitpunkt t_A für die einzelnen Komponentensignale. Die einzelnen Komponentensignale werden dann durch einen Summierer 320 summiert, um den diskreten Wert für den aktuellen Zeitpunkt t_A des Lautsprechersignals für den Lautsprecher j zu ermitteln, der dann für den Ausgang (beispielsweise der Ausgang 214, wenn der Lautsprecher j der Lautsprecher LS3 ist), dem Lautsprecher zugeführt werden kann.

[0060] Wie es aus Fig. 3 ersichtlich ist, wird zunächst für jede virtuelle Quelle einzeln ein aufgrund einer Verzögerung und einer Skalierung mit einem Skalierungsfaktor zu einem aktuellen Zeitpunkt gültiger Wert berechnet, wonach sämtliche Komponentensignale für einen Lautsprecher aufgrund der verschiedenen virtuellen Quellen summiert werden. Wäre beispielsweise nur eine virtuelle Quelle vorhanden, so würde der Summierer entfallen, und das am Ausgang des Summierers in Fig. 3 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.

[0061] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß an dem Ausgang 322 von Fig. 3 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 Anordnung, wie sie in Fig. 3 gezeigt ist, wäre prinzipiell für jeden Lautsprecher 808 im Wellenfeldsynthesemodul 810 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.

[0062] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird unterschieden, ob sich die virtuelle Quelle innerhalb des Zuhörerraums befindet, oder ob sich die virtuelle Quelle außerhalb des Zuhörerraums befindet. Die Situation der virtuellen Quelle innerhalb des Zuhörerraums wird anhand von Fig. 4 dargestellt, während die Situation der virtuellen Quelle innerhalb des Zuhörerraums anhand von Fig. 6 erläutert werden wird.

[0063] In Fig. 4 ist ein Zuhörerraum 902 dargestellt, wobei sich jedoch die virtuelle Quelle 900 außerhalb des Zuhörerraums befindet. Ferner ist in Fig. 4 eine Receiver-Linie 400 dargestellt, die derart definiert ist, daß auf ihr

eine optimale Wellensynthese stattfindet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die Receiver-Linie 400, die für jede virtuelle Quelle einzeln berechnet wird, so definiert, daß sie einerseits durch den Mittelpunkt 402 des Zuhörerraums verläuft und andererseits senkrecht zu einer Linie 404 ist, die sich von der virtuellen Quelle 900 zu dem Mittelpunkt 402 des Zuhörerraums erstreckt. Die Receiver-Linie 400 bildet die Grenze zwischen den relevanten Lautsprechern, die sich auf der zur virtuellen Quelle 900 zugewandten Seite der Receiver-Linie 400 befinden, und den nicht-relevanten Lautsprechern, die sich auf der anderen Seite der Receiver-Linie befinden. Die Bestimmung der oberhalb der Receiver-Linie 400 liegenden Lautsprecher als relevante Lautsprecher (vorzugsweise noch unter Berücksichtigung des 90°-Kriteriums für virtuelle Quellen außerhalb des Raums, auf das später noch eingegangen wird) stellt sicher, daß zumindest sämtliche Lautsprecher des Lautsprecher-Unterarrays 904a, die Lautsprechersignale emittieren, die eine Komponente parallel zur Linie 404 haben, die jedoch entgegengesetzt zu der Richtung von der virtuellen Quelle 900 zu dem Mittelpunkt des Zuhörerraums gerichtet ist, nicht mit Treibersignalkomponenten beaufschlagt werden. Da sich die virtuelle Quelle an der in Fig. 4 gezeigten Position befindet, ist eine Artefakt-reduzierte oder sogar Artefaktfreie Wiedergabe dann erreicht, wenn der Zuhörer, der beispielsweise auf der Receiver-Linie und insbesondere im Mittelpunkt des Zuhörerraums als definierter Zuhörerposition angeordnet ist, spürt, daß der Schall aus der Richtung der virtuellen Quelle 900 kommt und nicht gewissermaßen "von hinten", wenn der Zuhörer an der definierten Zuhörerposition 402 in Richtung der virtuellen Quelle 900 sieht. So stellt es ein Artefakt dar, daß der Zuhörer, obgleich er die virtuelle Quelle vor sich sieht, eine Wellenfront wahrnimmt, die sich von seinem Rücken zu seiner Vorderseite ausbreitet.

[0064] Ferner sei darauf hingewiesen, daß für sämtliche Lautsprecher, die jenseits der Receiver-Linie liegen, also für die Lautsprecher auf der Seite der Receiver-Linie 400, die von der virtuellen Quelle 900 weggewandt ist, eine Anwendung der üblichen Wellenfeldsynthese-Formen zur Berechnung der Skalierung problematisch ist.

[0065] Weiterhin wird es für Quellen außerhalb des Raumes bevorzugt, daß nur die Lautsprecher als relevante Lautsprecher ermittelt werden, bei denen der Winkel zwischen einer Lautsprecherachse 500 und einer Linie von der virtuellen Quelle 900 zu dem Lautsprecher nicht größer als 90 Grad ist, da dieser Lautsprecher sonst keinen Artefakt-freien Beitrag für die virtuelle Quelle 900 liefern wird, wie es anhand von Fig. 5 dargestellt ist. So wird es bevorzugt, nur die Lautsprecher als relevante Lautsprecher zu ermitteln, bei denen der Winkel α, wie er in Fig. 5 eingezeichnet ist, kleiner oder gleich 90 Grad ist.

[0066] Nachfolgend wird anhand von Fig. 6 auf die Situation eingegangen, bei der sich die virtuelle Quelle 900 im Zuhörerraum befindet. Insofern ähnelt die Situation in Fig. 6 der in Fig. 9 dargestellten allgemeinen Problematik. Analog zu Fig. 9 ist auch in Fig. 6 das "Erzeugungs-Wellenfeld" mit gestrichelten Linien dargestellt, während das "Nutz-Wellenfeld" mit durchgezogenen Linien, die mit einer Pfeilspitze abgeschlossen sind, dargestellt ist. Ferner ist in Fig. 6 ebenfalls der Mittelpunkt 402 des Zuhörerraums als Beispiel für eine definierte Zuhörerposition eingezeichnet. Wieder ist ein Lautsprecher des unteren Lautsprecher-Unterarrays 904a als Artefakt-erzeugender Lautsprecher dargestellt. Insbesondere ist bei dem in Fig. 6 gezeigten Beispiel der Zuhörerraum beispielhaft durch eine Teilungslinie 600 in einen Artefaktfreien Bereich 600a, in dem sich nach erfindungsgemäßer Bestimmung der relevanten Lautsprecher lediglich das Nutz-Wellenfeld befindet, und in einen Artefakt-Bereich 600b aufgeteilt, in dem sich lediglich das Erzeugungs-Wellenfeld befindet, in dem jedoch aufgrund der Deaktivierung der Artefakt-erzeugenden Lautsprecher für die virtuelle Quelle kein Nutz-Wellenfeld der virtuellen Quelle 900 befindet, sondern lediglich das Erzeugungs-Wellenfeld, das richtungsmäßig entgegengesetzt zu dem Nutz-Wellenfeld ist.

[0067] Die im Hinblick auf Fig. 5 dargestellte 90-Grad-Grenze existiert bei dem in Fig. 6 gezeigten Szenario, bei dem sich die virtuelle Quelle 900 innerhalb des Zuhörerraums 902 befindet, nicht, da prinzipiell alle Lautsprecher einen Beitrag liefern können.

[0068] Da sich aber aufgrund der Artefakte der sich mit entsprechenden Richtungen ausbreitenden Wellenfelder erfindungsgemäß der Hörer nicht zwischen den Lautsprechern und der virtuellen Quelle befinden soll, um nicht das "Erzeugungs"-Wellenfeld zu hören, wird bei der Ermittlung der relevanten Lautsprecher vorgegangen, wie es nachfolgend anhand von Fig. 7 dargestellt wird. Wieder wird die Receiver-Linie 400 herangezogen, um die relevanten Lautsprecher von den nicht-relevanten Lautsprechern zu trennen. Im einzelnen wird wieder, wie es anhand von Fig. 4 bereits erläutert wird, vorzugsweise die Receiver-Linie für die virtuelle Quelle 900 derart positioniert, daß sie durch den Mittelpunkt 402 des Zuhörerraums bzw. des Wellenfeldsynthese-Lautsprecherarrays verläuft. Ferner wird wieder die Linie 404 von der virtuellen Quelle 900 zu dem Mittelpunkt 402, der beispielsweise die definierte Zuhörerposition ist, konstruiert, um dann eine Teilungslinie 600 zu bilden, die parallel zu der Receiver-Linie 400 ist, die jedoch durch die virtuelle Position der virtuellen Quelle 900 verläuft, wie es anhand von Fig. 7 ersichtlich ist. Damit wird der Zuhörerraum wieder in den Artefakt-freien Bereich 600a und den Artefaktbehafteten Bereich 600b aufgeteilt, wobei der Artefakt-freie Bereich 600a der Bereich des Zuhörerraums bezüglich der Teilungslinie 600 ist, in dem sich die definierte Zuhörerposition 402 befindet, während der Artefakt-behaftete Bereich 600b der Bereich des Zuhörerraums ist, in dem sich der definierte Zuhörer nicht befindet.

[0069] Die Basis für die Definition der Teilungslinie 600 und damit der relevanten Lautsprecher einerseits und

der nicht-relevanten Lautsprecher andererseits ist somit bei dem in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiel die Festlegung der Receiver-Linie für die Wellenfeldsynthese, die relativ frei erfolgen kann. Wie es ausgeführt worden ist, ist die Linie, für die es keinen Amplitudenfehler gibt, die Receiverlinie, während es vor und hinter der Receiver-Linie aufgrund der Tatsache, daß das Lautsprecherarray nicht vollständig dreidimensional ist, einen geringen Fehler aus systematischen Gründen geben wird.

[0070] Ferner wird bei dem in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiel der Mittelpunkt des Arrays als Zuhörerposition gewählt, durch den insbesondere die Receiver-Linie gehen soll, derart, daß wenigstens in der Mitte des Zuhörerraums kein Amplitudenfehler vorhanden ist. Darüber hinaus wird es bevorzugt, die Receiverlinie als gerade auszuführen, obgleich beliebige Receiver-Linienformen möglich sind, wie es ausgeführt worden ist.

[0071] Ferner wird es bevorzugt, die Teilungslinie 600 senkrecht zur Geraden 404 von der virtuellen Quelle zum Mittelpunkt 402 auszuführen, derart, daß die Berechnungsmöglichkeit für die Wellenfeldsynthese aufgrund der damit vereinfachten geometrischen Verhältnisse effizienter ausführbar ist.

[0072] Ferner wird es bevorzugt, als Begrenzung für die relevanten Lautsprecher wiederum die Linie zu wählen, die parallel zur Receiver-Linie, aber durch die virtuelle Quelle statt durch den Arraymittelpunkt läuft.

[0073] Wie es bereits ausgeführt worden ist, wird es bevorzugt, für jede neue Position einer virtuellen Quelle die Situation der Lautsprecher zu bestimmen, also die Unterscheidung zwischen relevanten und nicht-relevanten Lautsprechern durchzuführen, um eine optimale Artefakt-reduzierte Situation zumindest im größten Bereich des Zuhörerraums zu erreichen. Dies führt jedoch dazu, daß bei der Bewegung virtueller Quellen Lautsprecher aufgrund der Änderung der Grenze zwischen relevanten und nicht-relevanten Lautsprechern an- oder abgeschaltet werden. Zur Reduzierung von dabei potentiell auftretenden leichten Knackgeräuschen insbesondere bei Bewegungen von virtuellen Quellen im Zuhörerraum und bei sinusförmigen Audiosignalen wird es bevorzugt, im Falle daß ein Lautsprecher zu einem vorherigen Zeitpunkt noch kein relevanter Lautsprecher war, jedoch aufgrund einer sich bewegenden virtuellen Quelle zu einem relevanten Lautsprecher geworden ist, diesen "neuerdings" relevanten Lautsprecher "weich" einzuschalten.

[0074] In anderen Worten ausgedrückt soll der Pegel eines neuerdings für relevant erkannten Lautsprechers langsam auf seinen Nennpegel gebracht werden. Der Nennpegel ist hierbei der Pegel bzw. die Skalierung, die die Einrichtung zum Berechnen der Treibersignalkomponenten aufgrund der üblichen Wellenfeldsynthesegesetze ermittelt. Damit wird sichergestellt, daß keine Pegelsprünge auftreten, insbesondere dann, wenn beispielsweise bei Quellen innerhalb des Zuhörerraums sich die Position stark verändert und somit von einem Zeitpunkt zum nächsten ein Lautsprecher auf einmal eine starke Signalkomponente aufgrund einer virtuellen Quelle haben wird, die zum vorherigen Zeitpunkt noch nicht vorhanden war.

[0075] Je nach Implementierung kann das "weiche" Einschalten dahingehend stattfinden, daß innerhalb eines Zeitraums von z. B. 10 Zeitpunkten, also 10 zeitlichen Abtastwerten des Audiosignals, von einem Null-Pegel zum Zeitpunkt des Einschaltens des Lautsprechers, also zum Zeitpunkt der Bestimmung, daß der Lautsprecher relevant ist, auf den NennPegel, der sich aufgrund der Wellenfeldsyntheseberechnungen ergibt, gegangen wird.

[0076] Die detaillierte Wahl der "Einschaltzeitdauer", also ob es sich hier um, wie vorstehend ausgeführt, 10 Zeitpunkte handeln wird oder auch nur um zwei Zeitpunkte oder sogar um 20 Zeitpunkte, wird insbesondere von der konkreten Implementierung abhängen, da auch noch sonstige Anforderungen der Wellenfeldsynthese betrachtet werden müssen, nämlich daß der Gesamtpegel der virtuellen Quelle trotzdem stimmen sollte, und daß die Lokalisierbarkeit der virtuellen Quelle nicht verloren gehen darf, wenn zu stark auf den Pegel der Treibersignalkomponenten aufgrund einer virtuellen Quelle eingewirkt wird.

[0077] In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die erfindungsgemäßen Manipulationen dazu führen können, daß Treibersignalkomponenten für nicht-relevante Lautsprecher, die, wie es oben ausgeführt worden sind, nicht zu den Lautsprechern bereitgestellt werden, die jedoch von einer Wellenfeldsyntheseeinrichtung berechnet werden können, dazu führen werden, daß es zu einem insgesamt wahrgenommenen reduzierten Pegel des Audiosignals von der virtuellen Quelle kommt. Dieser Problematik kann dahingehend gegengewirkt werden, daß die Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher angehoben werden, um insgesamt wieder einen bestimmten Soll-Pegel der virtuellen Quelle gewissermaßen am "Ohr" des Zuhörers zu erreichen. In diesem Zusammenhang wird es bevorzugt, Treibersignalkomponenten für Lautsprecher, die sich gerade noch im Einschaltvorgang befinden, die also noch nicht beispielsweise 10 Zeitpunkte hintereinander relevant waren, von einer solchen Pegelanhebung auszunehmen, derart, daß zwar einerseits der Pegel der virtuellen Quelle ohne Pegelschwankungen wahrgenommen wird, daß jedoch andererseits das "weiche" Einschalten nicht gefährdet wird.

[0078] Bezüglich des weichen Einschaltens sei darauf hingewiesen, daß die Amplitude der Treibersignalkomponente für einen Lautsprecher, der sich gerade im Einschaltvorgang befindet, über eine vorbestimmte Anzahl von Zeitpunkten stufenförmig, linear, sinusförmig oder auf eine beliebige andere Art und Weise monoton angehoben werden kann, je nach vorhandenen Rechenressourcen und Implementierungswünschen.

[0079] Abhängig von den insgesamten Gegebenheiten kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Treiben eines Arrays von Lautsprechern mit Treibersignalen in Hardware oder in Software implementiert werden. Die

Implementierung kann auf einem digitalen Speichermedium, insbesondere einer Diskette oder CD mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, erfolgen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, daß das Verfahren ausgeführt wird. Allgemein besteht die Erfindung somit auch in einem Computer-Programm-Produkt mit einem auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das Computer-Programm-Produkt auf einem Rechner abläuft. In anderen Worten ausgedrückt kann die Erfindung somit also ein Computer-Programm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens zum Treiben eines Arrays von Lautsprechern realisiert werden, wenn das Computer-Programm auf einem Computer abläuft.

Patentansprüche

1. Wellenfeldsynthesevorrichtung zum Treiben eines Arrays (904a, 904b, 904c, 904d) von Lautsprechern (904) mit Treibersignalen, wobei die Lautsprecher an unterschiedlichen definierten Positionen angeordnet sind, wobei ein Treibersignal für einen Lautsprecher auf einem Audiosignal, das einer virtuellen Quelle (900) zugeordnet ist, die eine virtuelle Position bezüglich des Lautsprecherarrays hat, und der definierten Position des Lautsprechers basiert, mit folgenden Merkmalen:

einer Einrichtung (10) zum Ermitteln von relevanten Lautsprechern des Lautsprecherarrays auf der Basis der Position der virtuellen Quelle, einer vordefinierten Zuhörerposition und den definierten Positionen der Lautsprecher, wobei die relevanten Lautsprecher derart bestimmt werden, daß bei einer Ansteuerung nur der relevanten Lautsprecher Artefakte aufgrund von Lautsprechersignalen, die sich entgegengesetzt zu einer Richtung von der virtuellen Quelle zu der vordefinierten Zuhörerposition bewegen, reduziert sind;
einer Einrichtung (20) zum Berechnen der Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher und die virtuelle Quelle; und
einer Einrichtung (24) zum Liefern der Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher für die virtuelle Quelle zu den relevanten Lautsprechern, wobei zu Lautsprechern des Lautsprecherarrays, die nicht zu den relevanten Lautsprechern gehören, keine Treibersignale für die virtuelle Quelle geliefert werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Einrichtung (20) zum Bereitstellen ausgerechnet ist, um für die virtuelle Quelle eine Receiver-Linie (400) zu definieren, und bei der die Einrichtung zum Ermitteln ausgebildet ist, um für die Zuhörerposition, die auf der Receiverlinie (400) angeordnet ist, Lautsprecher als relevant zu ermitteln, die ansprechend auf zu denselben gelieferten Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle Lautsprechersignale emittieren, deren Bewegungsrichtung zumindest eine Richtungskomponente umfassen, die parallel zu der Richtung von der virtuellen Quelle zu der Receiverlinie ist.

3. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Einrichtung (10) zum Ermitteln ausgebildet ist, um für die Zuhörerposition bezüglich des Arrays von Lautsprechern Lautsprecher als relevant zu ermitteln, die ansprechend auf zu denselben gelieferten Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle Lautsprechersignale emittieren, deren Bewegungsrichtung zumindest einen Anteil hat, der parallel zu einem Vektor von der virtuellen Position der virtuellen Quelle zu einem jeweiligen Lautsprecher ist.

4. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei der die Einrichtung (10) zum Ermitteln ausgebildet ist, um zu erfassen, ob die virtuelle Position außerhalb eines durch das Lautsprecherarray definierten Zuhörerraums (902) ist,
bei der im Fall eines positiven Erfassungsergebnisses Lautsprecher als relevant ermittelt werden, die zwischen der virtuellen Position der virtuellen Quelle (900) und einer Receiver-Linie (400) liegen.

5. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei der die Einrichtung (10) zum Ermitteln ausgebildet ist, um einen Winkel (α) zwischen einer Lautsprecher-Hauptemissionsrichtung (500) und einer Linie zwischen der virtuellen Quelle (900) und dem Lautsprecher zu bestimmen, und nur die Lautsprecher als relevant zu bestimmen, für die der Winkel kleiner als ein Grenzwinkel ist, der in einem vorbestimmten Bereich um 90 Grad herum ist.

6. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Anspruch 5, bei der der vorbestimmte Bereich +/- 20 Grad umfaßt.

7. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Einrichtung (10) zum Ermitteln ausgebildet ist, um zu erfassen, ob die virtuelle Position der virtuellen Quelle (900) innerhalb eines durch das Lautsprecherarray definierten Zuhörerraums (902) ist,
bei der im Falle eines positiven Erfassungsergebnisses Lautsprecher als relevant ermittelt werden, die in einem Bereich liegen, der auf einer bezüglich einer Receiver-Linie (400) abgewandten Seite einer Bezugslinie (600) liegt, die parallel zu der Receiver-

Linie (400) ist und durch die virtuelle Position der virtuellen Quelle (900) verläuft.

8. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Lautsprecherarray ein Linienarray ist, und
bei der die Einrichtung (20) zum Berechnen der Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle ausgebildet ist, um die Treibersignalkomponenten für die Lautsprecher und für die virtuelle Quelle so zu berechnen, daß sich eine Receiver-Linie (400) ergibt, wobei für Zuhörerpositionen auf der Receiver-Linie eine fehlerfreie Wellensynthese erzeugbar ist.

9. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei der sich eine Receiver-Linie (400) durch einen Mittelpunkt (402) des Zuhörerraums (902) erstreckt.

10. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Anspruch 8 oder 9,
bei der die Einrichtung (20) zum Berechnen ausgebildet ist, um die Treibersignalkomponenten für eine virtuelle Quelle und für die Lautsprecher des Arrays von Lautsprechern so zu berechnen, daß sich als Receiver-Linie (400) eine Gerade ergibt.

11. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei der die virtuelle Position der virtuellen Quelle (900) zeitvariabel ist, und
bei der die Einrichtung (20) zum Berechnen ausgebildet ist, um die Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle (900) und für einen Lautsprecher so zu berechnen, daß eine Treibersignalkomponente für einen Lautsprecher, der zu einem vorherigen Zeitpunkt nicht relevant war, und der zu einem aktuellen Zeitpunkt relevant ist, um ein vorbestimmtes Dämpfungsmaß bezüglich eines Nennpegels gedämpft ist.

12. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Anspruch 11,
bei der die Einrichtung (20) zum Berechnen ausgebildet ist, um das Dämpfungsmaß innerhalb einer vorbestimmten Anzahl von Zeitpunkten von einer maximalen Dämpfung zu einer Dämpfung gleich 0 schrittweise zu reduzieren.

13. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach Anspruch 12,
bei der die vorbestimmte Anzahl von Zeitpunkten größer als 2 und kleiner als 40 ist.

14. Wellenfeldsynthesevorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
bei der der virtuellen Quelle ein Soll-Pegel zugeordnet ist, und
bei der die Treibersignalkomponenten für die virtuelle Quelle für Lautsprecher, die zum vorherigen Zeitpunkt und zum aktuellen Zeitpunkt relevante Lautsprecher sind, pegelmäßig verstärkt werden, um die Dämpfung aufgrund des vorbestimmten Dämpfungsmaßes hinsichtlich des Pegels der virtuellen Quelle zu kompensieren.

15. Verfahren zum Treiben eines Arrays (904a, 904b, 904c, 904d) von Lautsprechern (904) mit Treibersignalen, wobei die Lautsprecher an unterschiedlichen definierten Positionen angeordnet sind, wobei ein Treibersignal für einen Lautsprecher auf einem Audiosignal, das einer virtuellen Quelle (900) zugeordnet ist, die eine virtuelle Position bezüglich des Lautsprecherarrays hat, und der definierten Position des Lautsprechers basiert, mit folgenden Schritten:

Ermitteln (10) von relevanten Lautsprechern des Lautsprecherarrays auf der Basis der Position der virtuellen Quelle, einer vordefinierten Zuhörerposition und den definierten Positionen der Lautsprecher, wobei die relevanten Lautsprecher derart bestimmt werden, daß bei einer Ansteuerung nur der relevanten Lautsprecher Artefakte aufgrund von Lautsprechersignalen, die sich entgegengesetzt zu einer Richtung von der virtuellen Quelle zu der vordefinierten Zuhörerposition bewegen, reduziert sind;
Berechnen (20) der Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher und die virtuelle Quelle; und
Liefern (24) der Treibersignalkomponenten für die relevanten Lautsprecher für die virtuelle Quelle zu den relevanten Lautsprechern, wobei zu Lautsprechern des Lautsprecherarrays, die nicht zu den relevanten Lautsprechern gehören, keine Treibersignale für die virtuelle Quelle geliefert werden.

16. Computer-Programm mit einem Programmcode zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 15, wenn das Programm auf einem Computer abläuft.

Claims

1. Wave field synthesis apparatus for driving an array (904a, 904b, 904c, 904d) of loudspeakers (904) with drive signals, the loudspeakers being arranged at different defined positions, a drive signal for a loudspeaker being based on an audio signal associated with a virtual source (900) having a virtual position with reference to the loudspeaker array and the defined position of the loudspeaker, comprising:

means (10) for determining relevant loudspeakers of the loudspeaker array on the basis of the position of the virtual source, a predefined listener position, and the defined positions of the

loudspeakers, such that artifacts due to loudspeaker signals moving opposite to a direction from the virtual source to the predefined listener position are reduced;
means (20) for calculating the drive signal components for the relevant loudspeakers and the virtual source; and
means (24) for providing the drive signal components for the relevant loudspeakers for the virtual source to the relevant loudspeakers, wherein no drive signals for the virtual source are provided to loudspeakers of the loudspeaker array not belonging to the relevant loudspeakers.

2. Apparatus of claim 1, wherein means (20) for providing is formed to define a receiver line (400) for the virtual source, and means for determining is formed to determine as relevant, for the listener position arranged on the receiver line (400), loudspeakers emitting, in response to drive signal components for the virtual source provided thereto, loudspeaker signals the direction of movement of which includes at least one directional component parallel to the direction from the virtual source to the receiver line.

3. Wave field synthesis apparatus of claim 1 or 2, wherein means (10) for determining is formed to determine as relevant, for the listener position with reference to the array of loudspeakers, loudspeakers emitting, in response to drive signal components for the virtual source provided thereto, loudspeaker signals the direction of movement of which has at least one portion parallel to a vector from the virtual position of the virtual source to a respective loudspeaker.

4. Wave field synthesis apparatus of one of the preceding claims,
wherein means (10) for determining is formed to detect whether the virtual position is outside an audience room (902) defined by the loudspeaker array,
wherein, in the case of a positive detection result, loudspeakers lying between the virtual position of the virtual source (900) and a receiver line (400) are determined as relevant.

5. Wave field synthesis apparatus of one of the preceding claims,
wherein means (10) for determining is formed to determine an angle (α) between a loudspeaker main emission direction (500) and a line between the virtual source (900) and the loudspeaker, and to only determine the loudspeakers for which the angle is smaller than a boundary angle in a predetermined region around 90 degrees as relevant.

6. Wave field synthesis apparatus of claim 5, wherein the predetermined region includes +/- 20 degrees.

7. Wave field synthesis apparatus of one of claims 1 to 3, wherein means (10) for determining is formed to detect whether the virtual position of the virtual source (900) is within an audience room (902) defined by the loudspeaker array,
wherein, in the case of a positive detection result, loudspeakers lying in a region lying on a side facing away from a reference line (600) parallel to the receiver line (400) and passing through the virtual position of the virtual source (900) with reference to a receiver line (400) are determined as relevant.

8. Wave field synthesis apparatus of one of the preceding claims, wherein the loudspeaker array is a line array, and
wherein means (20) for calculating the drive signal components for the virtual source is formed to calculate the drive signal components for the loudspeakers and for the virtual source so that a receiver line (400) results, wherein error-free wave synthesis can be generated for listener positions on the receiver line.

9. Wave field synthesis apparatus of one of the preceding claims,
wherein a receiver line (400) extends through a center (402) of the audience room (902).

10. Wave field synthesis apparatus of claim 8 or 9,
wherein means (20) for calculating is formed to calculate the drive signal components for a virtual source and for the loudspeakers of the array of loudspeakers so that a straight line results as receiver line (400).

11. Wave field synthesis apparatus of one of the preceding claims,
wherein the virtual position of the virtual source (900) is time-variable, and
wherein means (20) for calculating is formed to calculate the drive signal components for the virtual source (900) and for a loudspeaker so that a drive signal component for a loudspeaker not relevant at a previous time instant and relevant at a current time instant is attenuated by a predetermined attenuation measure with reference to a nominal level.

12. Wave field synthesis apparatus of claim 11,
wherein means (20) for calculating is formed to reduce the attenuation measure step by step within a predetermined number of time instants from a maximum attenuation to an attenuation equal to 0.

13. Wave field synthesis apparatus of claim 12, wherein the predetermined number of time instants is greater than 2 and smaller than 40.

14. Wave field synthesis apparatus of one of claims 11

to 13,
wherein a target level is associated with the virtual source, and
wherein the drive signal components for the virtual source for loudspeakers being relevant loudspeakers at the previous time instant and at the current time instant are amplified in level, in order to compensate for the attenuation due to the predetermined attenuation measure regarding the level of the virtual source.

15. Method of driving an array (904a, 904b, 904c, 904d) of loudspeakers (904) with drive signals, the loudspeakers being arranged at different defined positions, a drive signal for a loudspeaker being based on an audio signal associated with a virtual source (900) having a virtual position with reference to the loudspeaker array and on the defined position of the loudspeaker, comprising the steps of:

determining (10) relevant loudspeakers of the loudspeaker array on the basis of the position of the virtual source, a predefined listener position, and the defined positions of the loudspeakers, such that artifacts due to loudspeaker signals moving opposite to a direction from the virtual source to the predefined listener position are reduced;
calculating (20) the drive signal components for the relevant loudspeakers and the virtual source; and
providing (24) the drive signal components for the relevant loudspeakers for the virtual source to the relevant loudspeakers, wherein no drive signals for the virtual source are provided to loudspeakers of the loudspeaker array not belonging to the relevant loudspeakers.

16. Computer program with program code for performing the method of claim 15, when the program is executed on a computer.

Revendications

1. Dispositif de synthèse de champ d'ondes pour piloter une rangée (904a, 904b, 904c, 904d) de haut-parleurs (904) par des signaux de pilote, les haut-parleurs étant disposés à des positions définies différentes, un signal de pilote pour un haut-parleur étant basé sur un signal audio associé à une source virtuelle (900) ayant une position virtuelle par rapport à la rangée de haut-parleurs, et sur la position définie du haut-parleur, aux caractéristiques suivantes :

un dispositif (10) destiné à déterminer les haut-parleurs pertinents de la rangée de haut-parleurs sur base de la position de la source virtuelle, d'une position d'auditeur prédéfinie et des positions définies des haut-parleurs, les haut-parleurs pertinents étant déterminés de sorte que lors d'une activation uniquement des haut-parleurs pertinents soient réduits les artifices par suite de signaux de haut-parleur qui se déplacent dans le sens opposé à une direction de la source virtuelle vers la position d'auditeur prédéfinie ;
un dispositif (20) destiné à calculer les composantes de signal de pilote pour les haut-parleurs pertinents et la source virtuelle ; et
un dispositif (24) destiné à fournir aux haut-parleurs pertinents les composantes de signal de pilote pour les haut-parleurs pertinents pour la source virtuelle, aux haut-parleurs de la rangée de haut-parleurs n'appartenant pas aux haut-parleurs pertinents n'étant pas fournis de signaux de pilote pour la source virtuelle.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le dispositif (20) destiné à mettre à disposition est calculé pour définir, pour la source virtuelle, une ligne de récepteur (400), et dans lequel le dispositif destiné à déterminer est réalisé de manière à déterminer comme étant pertinents pour la position d'auditeur disposée sur la ligne de récepteur (400) les haut-parleurs qui, en réaction aux composantes de signal de pilote fournis à ces derniers pour la source virtuelle, émettent des signaux de haut-parleur dont la direction de déplacement comporte au moins une composante de direction qui est parallèle à la direction de la source virtuelle vers la ligne de récepteur.

3. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le dispositif (10) destiné à déterminer est réalisé de manière à déterminer comme pertinents, pour la position d'auditeur par rapport à la rangée de haut-parleurs, les haut-parleurs qui, en réaction aux composantes de signal de pilote fournies à ces derniers pour la source virtuelle, émettent des signaux de haut-parleur dont la direction de déplacement a au moins une partie qui est parallèle à un vecteur de la position virtuelle de la source virtuelle vers un haut-parleur respectif.

4. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel le dispositif (10) destiné à déterminer est réalisé de manière à détecter si la position virtuelle se situe en dehors d'une salle d'auditeurs (902) définie par la rangée de haut-parleurs,
dans lequel sont déterminés comme pertinents, dans le cas d'un résultat de détection positif, les haut-parleurs qui se situent entre la position virtuelle de la source virtuelle (900) et une ligne de récepteur (400).

5. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel le dispositif (10) destiné à déterminer est réalisé de manière à déterminer un angle (α) entre une direction d'émission principale de haut-parleur (500) et une ligne entre la source virtuelle (900) et le haut-parleur, et à ne déterminer comme pertinents que les haut-parleur pour lesquels l'angle est plus petit qu'un angle limite qui se situe dans une plage prédéterminée autour de 90 degrés.

6. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon la revendication 5, dans lequel la plage prédéterminée comprend +/- 20 degrés.

7. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le dispositif (10) destiné à déterminer est réalisé de manière à détecter si la position virtuelle de la source virtuelle (900) se trouve dans une salle d'auditeurs (902) définie par la rangée de haut-parleurs,
dans lequel sont déterminés comme pertinents, dans le cas d'un résultat de détection positif, les haut-parleurs qui se situent dans une zone qui se trouve d'un côté d'une ligne de référence (600), éloignée par rapport à une ligne de récepteur (400), qui est parallèle à la ligne de récepteur (400) et qui passe par la position virtuelle de la source virtuelle (900).

8. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la rangée de haut-parleurs est une rangée linéaire, et
dans lequel le dispositif (20) destiné à calculer les composantes de signal de pilote pour la source virtuelle est réalisé de manière à calculer les composantes de signal de pilote pour les haut-parleurs et pour la source virtuelle de sorte qu'il soit obtenu une ligne de récepteur (400), pour les positions d'auditeur sur le ligne de récepteur pouvant être générée une synthèse d'ondes sans erreur.

9. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel une ligne de récepteur (400) s'étend à travers un centre (402) de la salle d'auditeurs (902).

10. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon la revendication 8 ou 9,
dans lequel le dispositif (20) destiné à calculer est réalisé de manière à calculer les composantes de signal de pilote pour une source virtuelle et pour les haut-parleurs de la rangée de haut-parleurs de sorte qu'il soit obtenu, comme ligne de récepteur (400), une droite.

11. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications précédentes,
dans lequel la position virtuelle de la source virtuelle (900) est variable dans le temps, et
dans lequel le dispositif (20) destiné à calculer est réalisé de manière à calculer les composantes de signal de pilote pour la source virtuelle (900) et pour un haut-parleur de sorte qu'une composante de signal de pilote pour un haut-parleur qui n'était pas pertinent à un moment précédent et qui est pertinent à un moment actuel soit atténué d'une mesure d'atténuation prédéterminée par rapport à un niveau nominal.

12. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon la revendication 11,
dans lequel le dispositif (20) destiné à calculer est réalisé de manière à réduire par étapes la mesure d'atténuation dans un nombre prédéterminé de points de temps d'une atténuation maximale à une atténuation égale à 0.

13. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon la revendication 12, dans lequel le nombre prédéterminé de points de temps est supérieur à 2 et inférieur à 40.

14. Dispositif de synthèse de champ d'ondes selon l'une des revendications 11 à 13,
dans lequel à la source virtuelle est associé un niveau de consigne, et
dans lequel les composantes de signal de pilote pour la source virtuelle pour les haut-parleurs qui sont des haut-parleurs au moment précédent et au moment actuel sont amplifiées en niveau, pour compenser l'atténuation par suite de la mesure d'atténuation prédéterminée en ce qui concerne le niveau de la source virtuelle.

15. Procédé pour piloter une rangée (904a, 904b, 904c, 904d) de haut-parleurs (904) par des signaux de pilote, les haut-parleurs étant disposés à des positions définies différentes, un signal de pilote pour un haut-parleur étant basé sur un signal audio associé à une source virtuelle (900) ayant une position virtuelle par rapport à la rangée de haut-parleurs, et sur la position définie du haut-parleur, aux étapes suivantes consistant à :

déterminer (10) les haut-parleurs pertinents de la rangée de haut-parleurs sur base de la position de la source virtuelle, d'une position d'auditeur prédéfinie et des positions définies des haut-parleurs, les haut-parleurs pertinents étant déterminés de sorte que lors d'une activation uniquement des haut-parleurs pertinents soient réduits les artifices par suite de signaux de haut-parleur qui se déplacent dans le sens opposé à une direction de la source virtuelle vers la position d'auditeur prédéfinie ;
calculer (20) les composantes de signal de pilote

pour les haut-parleurs pertinents et la source virtuelle ; et

fournir (24) aux haut-parleurs pertinents les composantes de signal de pilote pour les haut-parleurs pertinents pour la source virtuelle, aux haut-parleurs de la rangée de haut-parleurs n'appartenant pas aux haut-parleurs pertinents n'étant pas fournis de signaux de pilote pour la source virtuelle.

16. Programme d'ordinateur avec un code de programme pour réaliser le procédé selon la revendication 15 lorsque le programme se déroule sur un ordinateur.

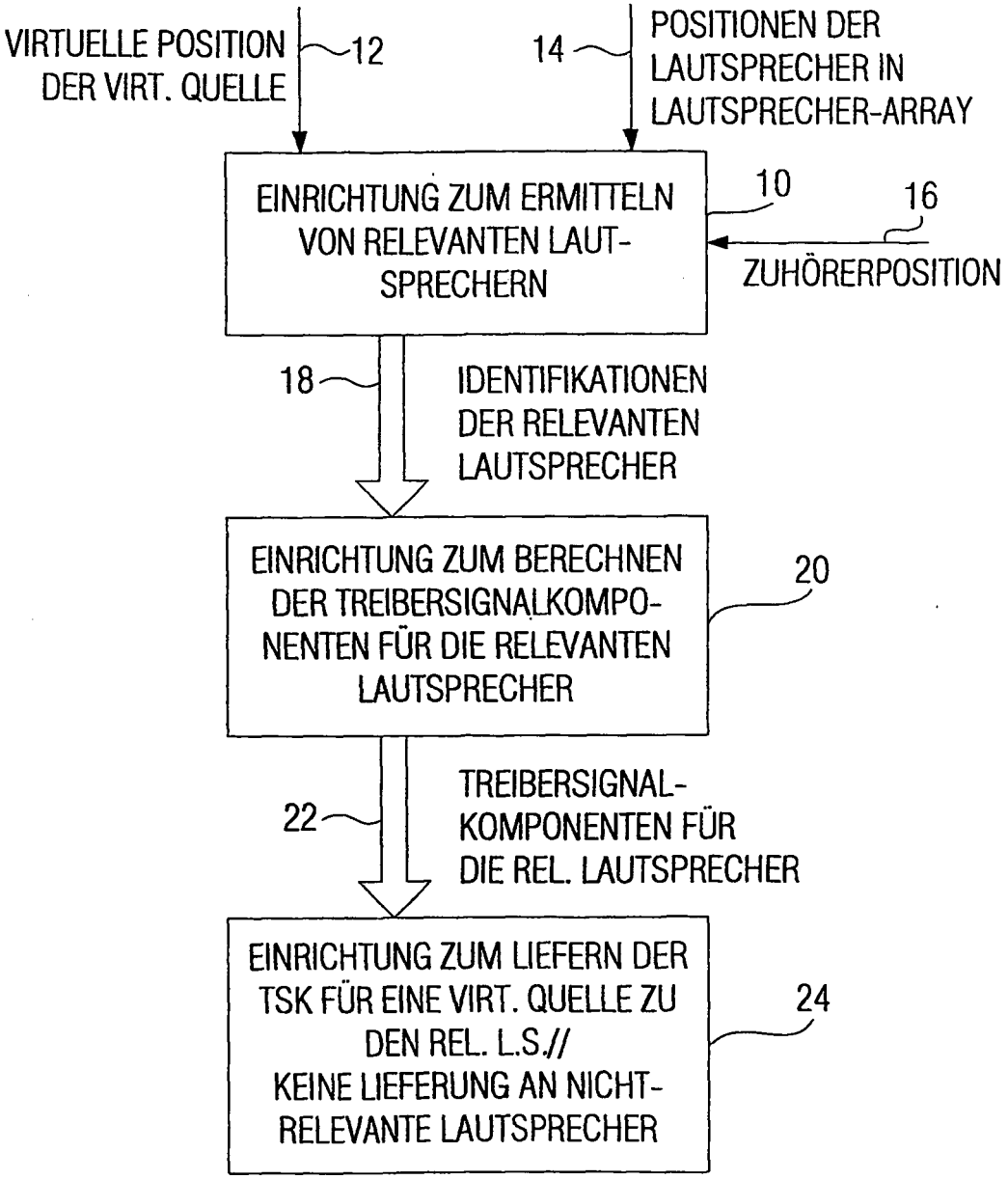

VIRTUELLE POSITION DER VIRT. QUELLE
12
14
POSITIONEN DER LAUTSPRECHER IN LAUTSPRECHER-ARRAY
EINRICHTUNG ZUM ERMITTELN VON RELEVANTEN LAUT-SPRECHERN
10
16
ZUHÖRERPOSITION
18
IDENTIFIKATIONEN DER RELEVANTEN LAUTSPRECHER
EINRICHTUNG ZUM BERECHNEN DER TREIBERSIGNALKOMPO-NENTEN FÜR DIE RELEVANTEN LAUTSPRECHER
20
22
TREIBERSIGNAL-KOMPONENTEN FÜR DIE REL. LAUTSPRECHER
EINRICHTUNG ZUM LIEFERN DER TSK FÜR EINE VIRT. QUELLE ZU DEN REL. L.S.// KEINE LIEFERUNG AN NICHT-RELEVANTE LAUTSPRECHER
24

FIG. 1

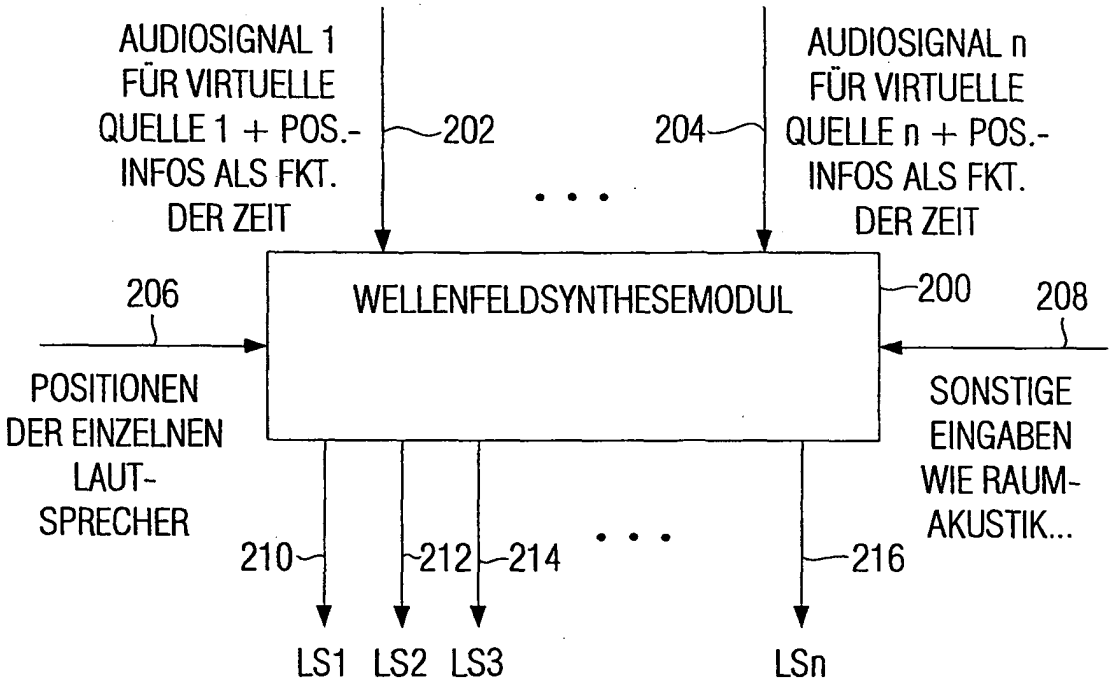

AUDIOSIGNAL 1 FÜR VIRTUELLE QUELLE 1 + POS.-INFOS ALS FKT. DER ZEIT
202
204
AUDIOSIGNAL n FÜR VIRTUELLE QUELLE n + POS.-INFOS ALS FKT. DER ZEIT
WELLENFELDSYNTHESEMODUL
200
206
208
POSITIONEN DER EINZELNEN LAUT-SPRECHER
SONSTIGE EINGABEN WIE RAUM-AKUSTIK...
210
212
214
216
LS1
LS2
LS3
LSn

FIG. 2

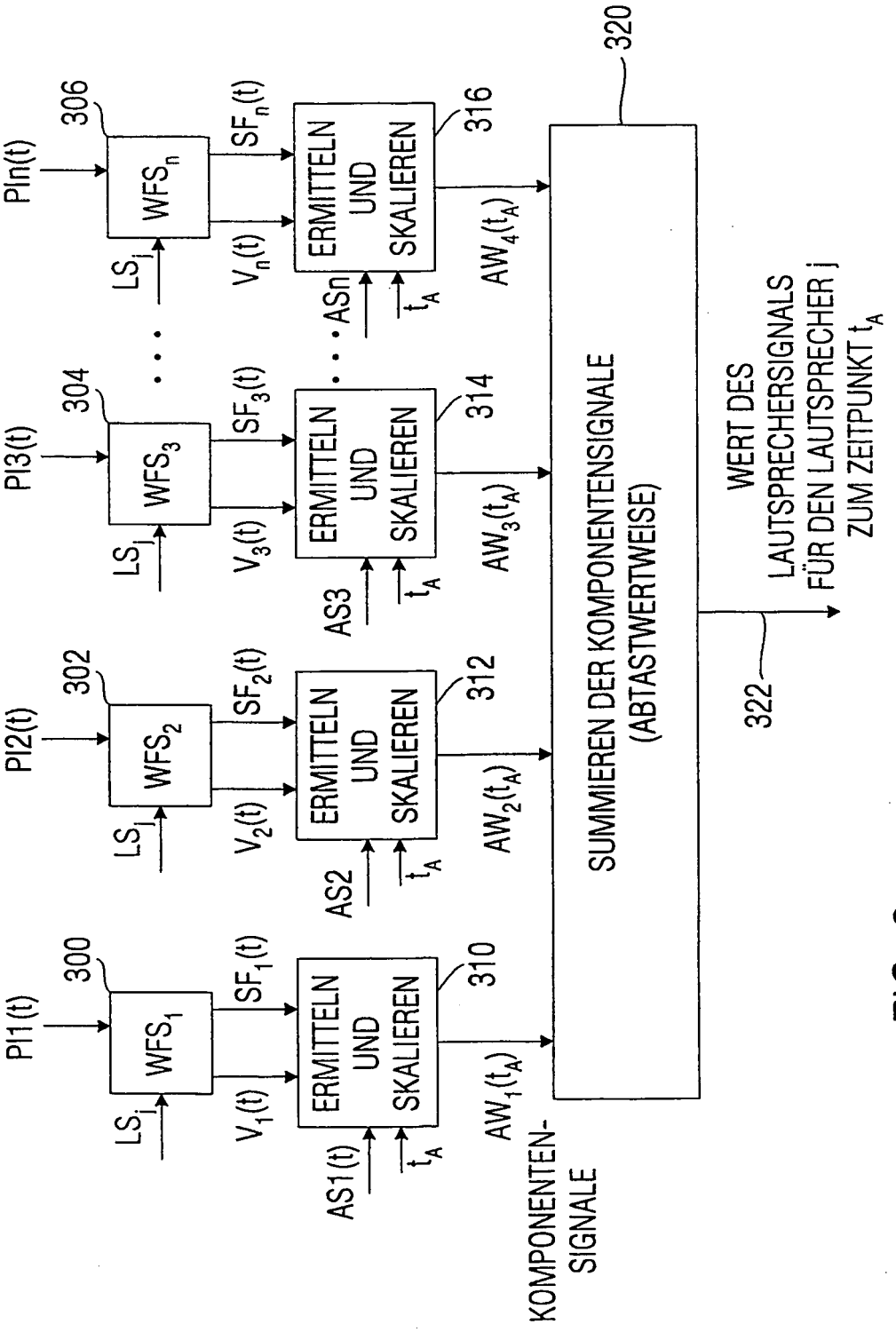

PI1(t)
PI2(t)
PI3(t)
PIn(t)
300
302
304
306
WFS1
WFS2
WFS3
WFSn
LSj
V1(t)
V2(t)
V3(t)
Vn(t)
SF1(t)
SF2(t)
SF3(t)
SFn(t)
ERMITTELN UND SKALIEREN
310
312
314
316
AS1(t)
AS2
AS3
ASn
tA
AW1(tA)
AW2(tA)
AW3(tA)
AW4(tA)
KOMPONENTEN-SIGNALE
SUMMIEREN DER KOMPONENTENSIGNALE (ABTASTWERTWEISE)
320
322
WERT DES LAUTSPRECHERSIGNALS FÜR DEN LAUTSPRECHER j ZUM ZEITPUNKT tA

FIG. 3

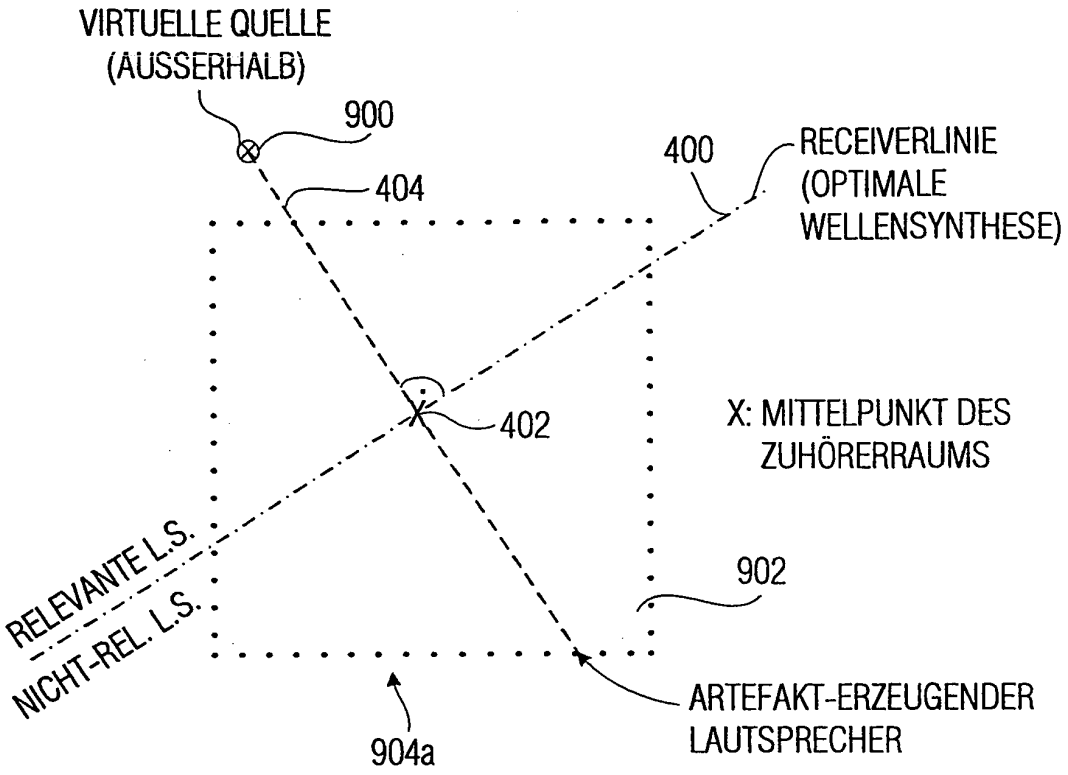

VIRTUELLE QUELLE
(AUSSERHALB)
900
404
400
RECEIVERLINIE
(OPTIMALE
WELLENSYNTHESE)
402
X: MITTELPUNKT DES
ZUHÖRERRAUMS
RELEVANTE L.S.
NICHT-REL. L.S.
902
ARTEFAKT-ERZEUGENDER
LAUTSPRECHER
904a

FIG. 4

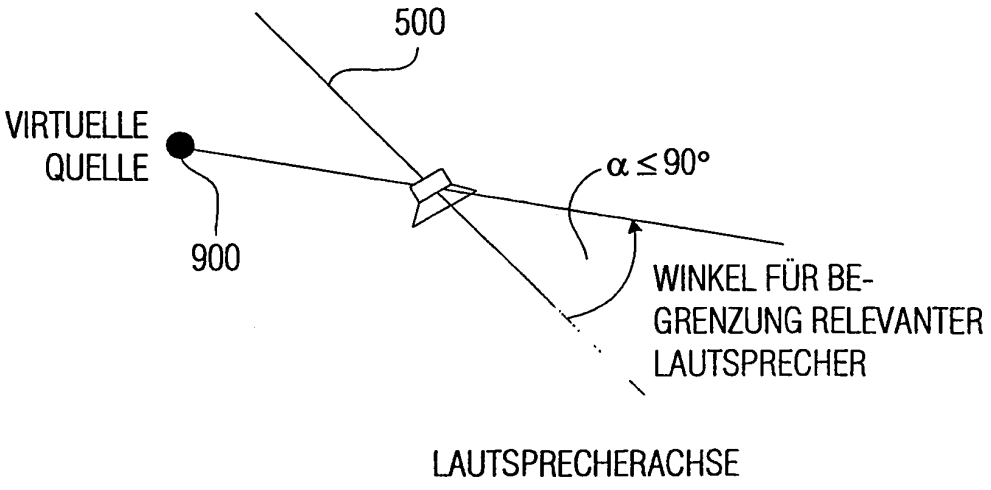

500
VIRTUELLE
QUELLE
900
α ≤ 90°
WINKEL FÜR BE-
GRENZUNG RELEVANTER
LAUTSPRECHER
LAUTSPRECHERACHSE

FIG. 5

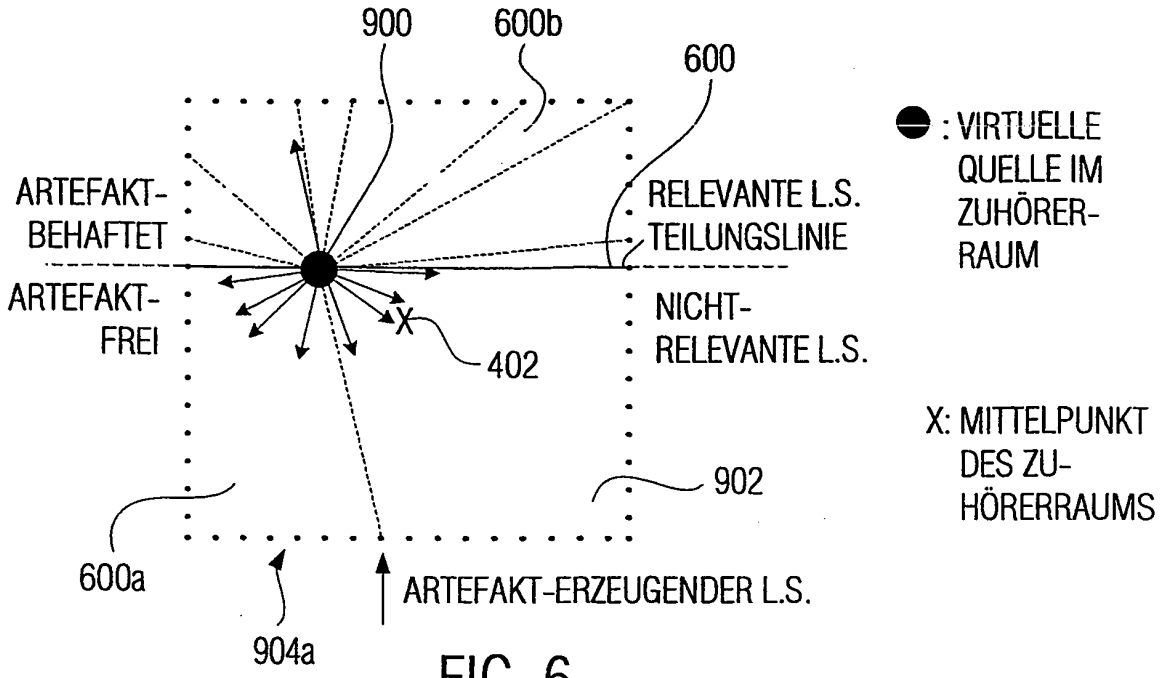

900
600b
600
ARTEFAKT-
BEHAFTET
ARTEFAKT-
FREI
RELEVANTE L.S.
TEILUNGSLINIE
NICHT-
RELEVANTE L.S.
402
902
600a
904a
ARTEFAKT-ERZEUGENDER L.S.
: VIRTUELLE
QUELLE IM
ZUHÖRER-
RAUM
X: MITTELPUNKT
DES ZU-
HÖRERRAUMS

FIG. 6

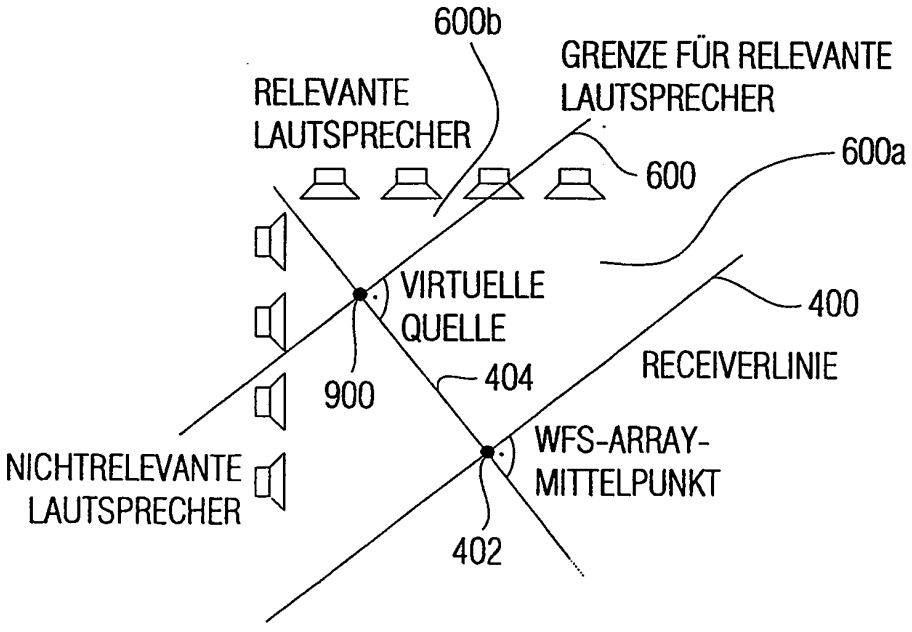

600b
GRENZE FÜR RELEVANTE
LAUTSPRECHER
RELEVANTE
LAUTSPRECHER
600
600a
VIRTUELLE
QUELLE
400
900
404
RECEIVERLINIE
WFS-ARRAY-
MITTELPUNKT
NICHTRELEVANTE
LAUTSPRECHER
402

FIG. 7

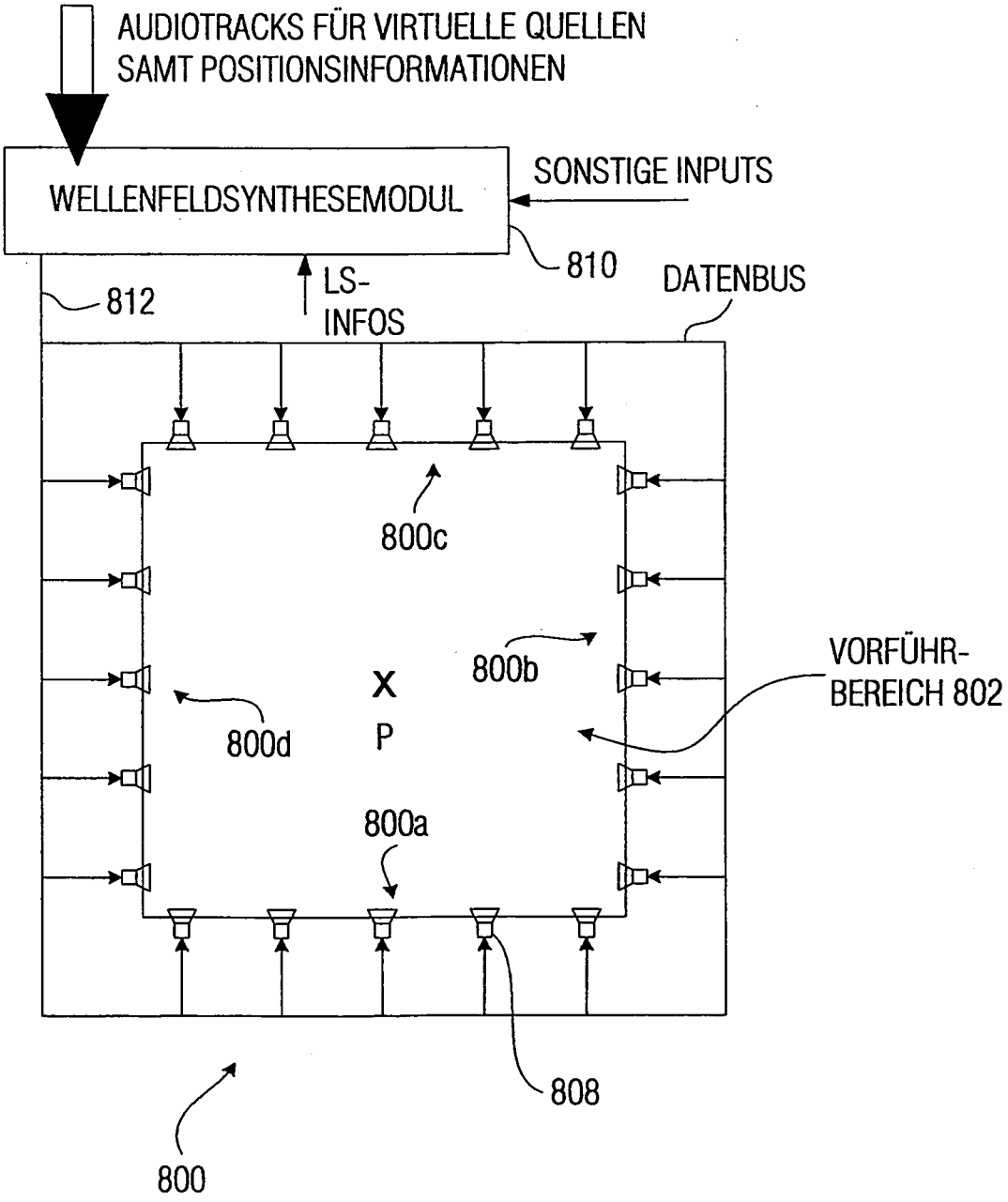

AUDIOTRACKS FÜR VIRTUELLE QUELLEN
SAMT POSITIONSINFORMATIONEN
WELLENFELDSYNTHESEMODUL
SONSTIGE INPUTS
810
812
LS-
INFOS
DATENBUS
800c
800b
VORFÜHR-
BEREICH 802
800d
P
800a
808
800

FIG. 8

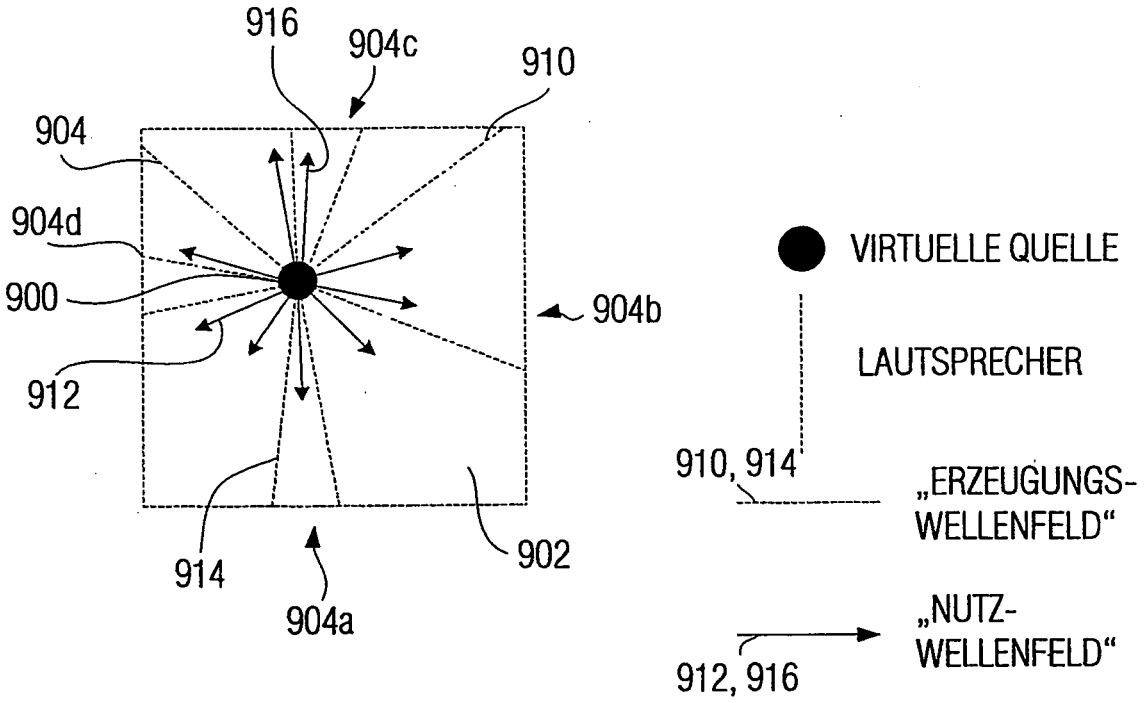

916
904c
910
904
904d
900
904b
912
914
904a
902
VIRTUELLE QUELLE
LAUTSPRECHER
910, 914
„ERZEUGUNGS-WELLENFELD“
„NUTZ-WELLENFELD“
912, 916

FIG. 9