



(11) **EP 1 606 975 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
24.01.2007 Patentblatt 2007/04

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

(21) Anmeldenummer: **04732100.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/005047

(22) Anmeldetag: **11.05.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/103022 (25.11.2004 Gazette 2004/48)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM BERECHNEN EINES DISKRETEN WERTS EINER KOMPONENTE IN EINEM LAUTSPRECHERSIGNAL**

DEVICE AND METHOD FOR CALCULATING A DISCRETE VALUE OF A COMPONENT IN A LOUDSPEAKER SIGNAL

DISPOSITIF ET PROCEDE DE CALCUL D'UNE VALEUR DISCRETE DANS UN SIGNAL DE HAUT-PARLEUR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB LI NL

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-01/23104

(30) Priorität: **15.05.2003 DE 10321980**

- BERKHOUT A J ET AL: "ACOUSTIC CONTROL BY WAVE FIELD SYNTHESIS" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, Bd. 93, Nr. 5, 1. Mai 1993 (1993-05-01), Seiten 2764-2778, XP000361413 ISSN: 0001-4966

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.12.2005 Patentblatt 2005/51

- S. SPORS, H. TEUTSCH, R. RABENSTEIN: "High-Quality Acoustic Rendering with Wave Field Synthesis" VISION, MODELING, AND VISUALIZATION 2002, [Online] 20. November 2002 (2002-11-20), - 22. November 2002 (2002-11-22) Seiten 101-108, XP002306015 ERLANGEN, GERMANY Gefunden im Internet: URL: http://www.int.de/LMS/research/project_s/WFS/index.php?lang=eng>; [gefunden am 2004-11-15]

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

- SPORS S ET AL: "LISTENING ROOM COMPENSATION FOR WAVE FIELD SYNTHESIS" IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA AND EXPO, XX, XX, Bd. 1, 9. Juli 2003 (2003-07-09), Seiten I-725, XP008036698

(72) Erfinder:

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

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

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 1 606 975 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Wellenfeldsynthesesysteme und insbesondere auf Wellenfeldsynthesesysteme, die bewegte virtuelle Quellen erlauben.

[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] 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.

[0006] Die Grundidee von WFS basiert auf der Anwendung des Huygens'schen Prinzips der Wellentheorie:

[0007] Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die sich kugelförmig bzw. kreisförmig ausbreitet.

[0008] 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 virtuellen 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 Aufnahmerraums und der Anzahl der Lautsprecher ab.

[0009] In dem Fachbeitrag "High-Quality Acoustic Rendering with Wave Field Synthesis", S. Spors, H. Teutsch und R. Rabenstein, VMV (3) 2002, 20. bis 22. November 2002, Erlangen, werden die Grundzüge dieser Technik vorgestellt.

[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.

[0016] 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 Audibearbeitung 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.

[0017] 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.

[0018] In einem virtuellen Studio steht ein Schauspieler oder Moderator allein in einem Aufnahmerraum. 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.

[0019] 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-Farbtönen, den der blaue Hintergrund hatte, aus dem Bild entfernt, so daß statt dem blauen Hintergrund der virtuelle Hintergrund eingespielt wird.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] Im Audibereich läßt sich also durch die Technik der Wellenfeldsynthese (WFS) ein guter räumlicher Klang für einen 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.

[0023] Im Audibereich existiert ein sogenannter natürlicher Dopplereffekt. Dieser Dopplereffekt entsteht daraus, daß eine Quelle ein Audiosignal mit bestimmter Frequenz sendet, ein Empfänger dieses Signal empfängt, und eine Bewegung der Quelle relativ zum Empfänger stattfindet. Dies führt aufgrund einer "Dehnung" oder "Stauchung" der akustischen Wellenformen dazu, daß sich die Frequenz des Audiosignals beim Empfänger entsprechend der Bewegung ändert. Üblicherweise ist der Mensch der Empfänger, und er hört diese Frequenzänderung direkt, beispielsweise dann, wenn sich ein Krankenwagen mit Martinshorn auf einen Mensch zu bewegt und dann an dem Mensch vorbeifährt. Der Mensch wird zum Zeitpunkt, zu dem der Krankenwagen vor ihm ist, das Martinshorn mit einer anderen Tonlage hören als dann, wenn sich der Krankenwagen hinter dem Menschen befindet.

[0024] Auch bei der Wellenfeldsynthese bzw. Klangfeldsynthese existiert ein Dopplereffekt. Er basiert physikalisch auf dem gleichen Hintergrund wie der vorstehend beschriebene natürliche Dopplereffekt. Im Gegensatz zum natürlichen Dopplereffekt existiert jedoch bei der Klangfeldsynthese kein direkter Weg zwischen dem Sender und dem Empfänger. Statt dessen wird eine Unterscheidung dahingehend vorgenommen, daß es einen Primärsender und einen Primärempfänger gibt. Darüber hinaus existiert ein Sekundärsender und ein Sekundärempfänger. Dieses Szenario wird nachfolgend anhand von Fig. 7 dargestellt.

[0025] Fig. 7 zeigt eine virtuelle Quelle 700, die sich von einer ersten Position, die mit einer eingekreisten "1" in Fig. 7 bezeichnet ist, über der Zeit entlang einer Bewegungsbahn 702 zu einer zweiten Position bewegt, die in Fig. 7 mit einer eingekreisten "2" dargestellt ist. Ferner sind schematisch drei Lautsprecher 704 gezeigt, die ein Wellenfeldsynthese-Lautsprecherarray symbolisieren sollen. In dem Szenario befindet sich ferner ein Hörer 706, der bei dem in Fig. 7 gezeigten Beispiel derart angeordnet ist, daß die Bewegungsbahn der virtuellen Quelle eine Kreisbahn ist, die sich um den Hörer herum, der den Mittelpunkt dieser Kreisbahn bildet, erstreckt. Dagegen sind die Lautsprecher 704 nicht im Mittelpunkt angeordnet, dahingehend, daß zu dem Zeitpunkt, zu dem sich die virtuelle Quelle 700 an der ersten Position befindet, dieselbe einen ersten Abstand r_1 von einem Lautsprecher hat, und daß die Quelle dann in ihrer zweiten Position einen zweiten Abstand r_2 zu der Quelle hat. Bei dem in Fig. 7 gezeigten Szenario ist r_1 ungleich r_2 , während R_1 , also die Entfernung der virtuellen Quelle vom Hörer 706 gleich der Entfernung des Hörers 706 zur virtuellen Quelle zum Zeitpunkt 2 ist. Dies bedeutet, daß für den Hörer 706 keine Abstandsänderung der virtuellen Quelle 700 stattfindet. Dagegen findet jedoch sehr wohl eine Abstandsänderung der virtuellen Quelle 700 relativ zu den Lautsprechern 704 statt, da r_1 ungleich r_2 ist. Die virtuelle Quelle stellt den Primärsender dar, während die Lautsprecher 704 den Primärempfänger darstellen. Gleichzeitig stellen die Lautsprecher 704 den Sekundärsender dar, während der Hörer 706 schließlich den Sekundärempfänger darstellt.

[0026] Bei der Wellenfeldsynthese erfolgt die Übertragung zwischen dem Primärsender und dem Primärempfänger "virtuell". Dies bedeutet, daß die Wellenfeldsynthese-Algorithmen verantwortlich sind für die Dehnung und Stauchung der Wellenfront der Wellenformen. Zu dem Zeitpunkt, zu dem ein Lautsprecher 704 ein Signal vom Wellenfeldsynthesemodul empfängt, existiert zunächst noch kein hörbares Signal. Hörbar wird das Signal erst nach Ausgabe über den Lautsprecher. Damit können an verschiedenen Stellen Dopplereffekte entstehen.

[0027] Falls sich die virtuelle Quelle relativ zu den Lautsprechern bewegt, gibt jeder Lautsprecher ein Signal mit unterschiedlichem Dopplereffekt wieder, je nach seiner speziellen Position bezüglich der sich bewegenden virtuellen Quelle, da die Lautsprecher auf unterschiedlichen Positionen stehen und die relativen Bewegungen somit für jeden Lautsprecher unterschiedlich sind.

[0028] Andererseits kann sich auch der Hörer relativ zu den Lautsprechern bewegen. Dies ist jedoch insbesondere in einem Kinosetting ein für die Praxis unbedeutender Fall, da die Bewegung des Hörers bezüglich der Lautsprecher immer eine relativ langsame Bewegung mit einem entsprechend kleinen Dopplereffekt sein wird, da die Dopplerverschiebung, wie es in der Technik bekannt ist, proportional zur Relativbewegung zwischen Sender und Empfänger ist.

[0029] Der erstgenannte Dopplereffekt, also wenn sich die virtuelle Quelle relativ zu den Lautsprechern bewegt, kann sich relativ natürlich, aber auch sehr unnatürlich anhören. Dies hängt davon ab, in welcher Richtung die Bewegung stattfindet. Bewegt sich die Quelle nämlich gerade vom Mittelpunkt des Systems weg oder hin, ergibt sich ein eher natürlicher Effekt. Bezug nehmend auf Fig. 7 würde dies bedeuten, daß sich die virtuelle Quelle 700 z. B. entlang des Pfeils R_1 von dem Hörer weg bewegen würde.

[0030] "Umkreist" jedoch die virtuelle Quelle 700 den Hörer 706, wie es Bezug nehmend auf Fig. 7 dargestellt ist, ergibt sich ein sehr unnatürlicher Effekt, da die Relativbewegungen zwischen Primärquelle und Primärempfänger (Lautsprecher) sehr stark und innerhalb der unterschiedlichen Primärempfänger auch sehr unterschiedlich sind, was in kras-

sem Gegensatz zur Natur steht, wo im Fall der Umkreisung der Quelle zum Hörer kein Dopplereffekt entsteht, da dann keine Abstandsänderung zwischen Quelle und Hörer auftritt.

[0031] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Konzept zum Berechnen eines diskreten Werts zu einem aktuellen Zeitpunkt einer Komponente in einem Lautsprecher-Signal zu schaffen, bei dem Artefakte aufgrund von Dopplereffekten reduziert sind.

[0032] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1, ein Verfahren gemäß Patentanspruch 18 oder ein Computer-Programm gemäß Patentanspruch 19 gelöst.

[0033] Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß Dopplereffekte berücksichtigt werden können, da sie ein Bestandteil der für die Positionsidentifizierung einer Quelle erforderlichen Informationen sind. Müßte vollständig auf solche Dopplereffekte verzichtet werden, so könnte dies dazu führen, daß ein nicht optimales Klangerlebnis entsteht, da der Doppler-Effekt naturgegeben ist und es somit zu einem nicht optimalen Eindruck führen würde, wenn sich beispielsweise eine virtuelle Quelle auf einen Hörer zu bewegt, jedoch keine Doppler-Verschiebung der Audiofrequenz stattfindet.

[0034] Andererseits wird erfindungsgemäß jedoch zur "Verschleifung" des Dopplereffekts, dahingehend, daß er zwar vorhanden ist, daß jedoch seine Auswirkungen zu keinen oder nur reduzierten Artefakten führen, ein "Überblenden" von einer Position zu einer anderen Position durchgeführt. Beim Stand der Technik werden dann, wenn eine Delay-Änderung auftritt, also wenn eine Positionsänderung der virtuellen Quelle stattfindet, bei einer verringerten Delay-Abtastwerte einfach künstlich eingefügt, oder bei einer vergrößerten Delay-Abtastwerte einfach weggelassen. Dies führt zu scharfen Sprüngen im Signal. Erfindungsgemäß werden dagegen diese scharfen Sprünge dadurch reduziert, daß ein kontinuierlicher Übergang von einer Position der virtuellen Quelle zu einer anderen Position der virtuellen Quelle erreicht wird. Hierzu wird in einem Überblendungsbereich ein diskreter Wert für einen aktuellen Zeitpunkt in dem Überblendungsbereich unter Verwendung eines für den aktuellen Zeitpunkt gültigen Abtastwerts des Audiosignals an der ersten Position, also zu einem ersten Zeitpunkt, und unter Verwendung eines zu einem aktuellen Zeitpunkt gehörigen Abtastwerts eines Audiosignals der virtuellen Quelle an der zweiten Position, also zu dem zweiten Zeitpunkt, berechnet.

[0035] Vorzugsweise findet ein Überblenden dahingehend statt, daß zum ersten Zeitpunkt, zu dem also die ersten Positionsänderungen und damit die ersten Delay-Informationen gültig sind, ein Gewichtungsfaktor für das Audiosignal, das mit der ersten Verzögerung verzögert ist, 100% beträgt, während ein Gewichtungsfaktor für das um die zweite Verzögerung verzögerte Audiosignal 0% beträgt, und daß dann, von dem ersten Zeitpunkt zu dem zweiten Zeitpunkt eine gegenläufige Änderung der beiden Gewichtungsfaktoren durchgeführt wird, um gewissermaßen "glatt" von der einen Position zu der anderen Position "überzublenden".

[0036] Das erfindungsgemäße Konzept stellt einen Kompromiß dar zwischen einerseits einem gewissen Verlust an Positionsinformationen, da nicht mehr mit jedem neuen aktuellen Zeitpunkt neue Positionsinformationen der Quelle berücksichtigt werden, sondern da nur eine Positionsaktualisierung der virtuellen Quelle in eher groben Schritten durchgeführt wird, wobei zwischen der einen Position der Quelle und der um einige Zeit später stattfindenden zweiten Position der Quelle übergeblendet wird. Dies erfolgt dadurch, daß das Delay zunächst für relativ grobe räumliche Schrittweiten, d. h. zeitlich relativ weit entfernte Positionsinformationen (natürlich unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit der Quelle), durchgeführt wird. Damit wird die Delay-Änderung, die zu dem oben genannten virtuellen Dopplereffekt zwischen dem Primärsender und dem Primärempfänger führt, verschliffen, d. h. kontinuierlich von einer Delay-Änderung zur anderen übergeführt. Das Überblenden oder "Panning" erfolgt erfindungsgemäß mittels einer Lautstärkeskalierung von einer Position zur nächsten, um räumliche Sprünge, und damit hörbare "Knackser" zu vermeiden. Damit wird das "harte" Weglassen oder Hinzufügen von Abtastwerten aufgrund einer Delay-Änderung durch eine an die harte Signalförm angepaßte Signalförm mit abgerundeten Ecken ersetzt, so daß den Delay-Änderungen zwar Rechnung getragen wird, daß jedoch die zu Artefakten führende harte Einflußnahme auf ein Lautsprecher-Signal aufgrund einer Positionsänderung der virtuellen Quelle vermieden wird.

[0037] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 ein Prinzipschaltbild einer Wellenfeldsyntheseumgebung, wie sie für die vorliegende Erfindung einsetzbar ist;

Fig. 3 eine detailliertere Darstellung des in Fig. 2 gezeigten Wellenfeldsynthesemoduls;

Fig. 4a einen Zeitverlauf eines diskreten Audiosignals einer virtuellen Quelle zu einem ersten Zeitpunkt mit einer ersten Delay $D = 0$;

Fig. 4b eine Darstellung desselben Audiosignals wie in Fig. 4a, jedoch mit einer Delay $D = 2$;

- Fig. 4c eine erste überblendete Version aufgrund der in Fig. 4a und Fig. 4b gezeigten Audiosignale in einem Zeitraum zwischen dem ersten Zeitpunkt, zu dem Fig. 4a gültig ist, und einem zweiten Zeitpunkt, zu dem Fig. 4b gültig ist;
- Fig. 4d eine weitere Überblendungsdarstellung zu einem bezüglich zu Fig. 4c späteren Zeitpunkt, zu dem das in Fig. 4b dargestellte Signal gültig ist;
- Fig. 5 einen Zeitverlauf der Komponente K_{ij} in einem Lautsprechersignal aufgrund einer virtuellen Quelle i , das aus den Zeitverläufen der Fig. 4a bis 4d zusammengesetzt ist;
- Fig. 6 eine detaillierte Darstellung der Gewichtungsfaktoren m , n , die bei der Berechnung der in den Fig. 4a bis 4d gezeigten Audiosignale eingesetzt worden sind;
- Fig. 7 ein Szenario zur Verdeutlichung eines virtuellen Dopplereffekts; und
- Fig. 8 einen Zeitverlauf der Komponente K_{ij} ohne Überblenden.

[0038] Bevor detailliert auf Fig. 1 zur Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung eingegangen wird, sei zunächst anhand von Fig. 2 eine klassische Wellenfeldsyntheseumgebung dargestellt. Zentrum einer Wellenfeldsyntheseumgebung ist ein Wellenfeldsynthesemodul 200, das diverse Eingänge 202, 204, 206 und 208 sowie diverse Ausgänge 210, 212, 214, 216 umfaßt. Ober Eingänge 202 bis 204 werden dem Wellenfeldsynthesemodul verschiedenen 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 tatsächliche 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 bzw. Studio, wobei das Audiosignal jeder virtuellen Quelle als eigener Audioclip dem Wellenfeldsynthesemodul 200 zugeführt wird.

[0039] Wie es vorstehend dargelegt worden ist, speist ein Wellenfeldsynthesemodul eine Vielzahl von Lautsprechern LS1, LS2, LS3, LS m 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 Kinobesucher 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.

[0040] 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.

[0041] 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 LS j , 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 sche-

matisch 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.
[0042] 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.

[0043] Nachfolgend wird Bezug nehmend auf die Fig. 4a, 4b und 8 die Arbeitsweise der in Fig. 3 dargestellten Vorrichtung erläutert. Fig. 4a zeigt ein beispielhaftes Audiosignal der virtuellen Quelle über der Zeit t' , das diskrete Werte hat, die sich von einem Zeitpunkt $t' = 0$ bis zu einem Zeitpunkt $t' = 13$ erstrecken. Als Skalierungsfaktor zum Zeitpunkt $t' = 0$ wird ein Skalierungsfaktor von 1 angenommen. Ferner wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit angenommen, daß zum Zeitpunkt $t' = 0$ eine Verzögerung bzw. Delay von 0 Abtastwerten durch das Wellenfeldsynthesemodul berechnet worden ist.

[0044] Zu dem ersten Zeitpunkt $t' = 0$, der in Fig. 4a ferner mit 401 markiert ist, soll somit das in Fig. 4a dargestellte Audiosignal einer virtuellen Quelle gespielt werden, während zu einem zweiten Zeitpunkt 402, der in Fig. 4a gekennzeichnet ist, von dem Audiosignal mit einer Delay $D = 0$ zu demselben Audiosignal, nun jedoch mit einer Delay $D = 2$ umgeschaltet werden soll. Der Umschaltzeitpunkt ist ferner durch einen Pfeil 404 in Fig. 4a gekennzeichnet.

[0045] Das um $D = 2$ verschobene Audiosignal von der virtuellen Quelle ist in Fig. 4b als Funktion der Zeit für aktuelle Zeitpunkte von $t' = -2$ bis $t' = 12$ dargestellt. Die Komponente für das Lautsprechersignal auf der Basis der in den Fig. 4a und Fig. 4b dargestellten virtuellen Quelle besteht somit vom Zeitpunkt 0 bis zum Zeitpunkt 8 aus den in Fig. 4a gezeigten Werten und vom Zeitpunkt 9 bis zu einem späteren Zeitpunkt, zu dem wieder eine Positionsänderung signalisiert wird, aus den Abtastwerten zu den aktuellen Zeitpunkten 9 bis 12, die in Fig. 4b gezeigt sind. Dieses Signal ist in Fig. 8 dargestellt. Es ist zu sehen, daß zum Zeitpunkt des Umschaltens, also zum Zeitpunkt des Umschaltens von der einen Position zur anderen Position, wobei das Umschalten in Fig. 8 wieder durch 404 bezeichnet ist, zwei Samples weggelassen wurden. Gemäß dem in Fig. 4a gezeigten Audiosignal hätte nämlich zum Zeitpunkt 9 zwar ein Abtastwert mit einer Amplitude von 1 kommen müssen, jedoch zum Zeitpunkt 10 ein Abtastwert mit einer Amplitude von 0, während jedoch das in Fig. 8 gezeigte Signal zum Zeitpunkt 10 bereits einen Abtastwert mit einer Amplitude von 2 hat, was aufgrund der Delay $D = 2$ der Fall ist. Dieses Weglassen der zwei Samples führt zu dem eingangs erwähnten virtuellen Dopplereffekt.

[0046] Zur Unterdrückung der unerwünschten Eigenschaften bzw. zur Unterdrückung der aufgrund dieses Umschaltens von einer Delay zu einer anderen Delay bewirkten Artefakte wird die in Fig. 1 gezeigte erfindungsgemäße Vorrichtung eingesetzt. Fig. 1 zeigt insbesondere eine Vorrichtung zum Berechnen eines diskreten Werts für einen aktuellen Zeitpunkt einer Komponente K_{ij} in einem Lautsprechersignal für einen Lautsprecher j aufgrund einer virtuellen Quelle i in einem Wellenfeldsynthesesystem mit einem Wellenfeldsynthesemodul und einer Mehrzahl von Lautsprechern. Insbesondere ist das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet, um unter Verwendung eines Audiosignals, das der virtuellen Quelle zugeordnet ist, und unter Verwendung einer Positionsinformation, die auf eine Position der virtuellen Quelle hinweist, eine Verzögerungsinformation zu ermitteln, die anzeigt, um wie viele Abtastwerte verzögert das Audiosignal bezüglich einer Zeitreferenz in der Komponente auftreten soll. Die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung umfaßt zunächst eine Einrichtung 10 zum Bereitstellen einer ersten Verzögerung, die einer ersten Position der virtuellen Quelle zugeordnet ist, und zum Bereitstellen einer zweiten Verzögerung, die einer zweiten Position der virtuellen Quelle zugeordnet ist. Insbesondere bezieht sich die erste Position der virtuellen Quelle auf einen ersten Zeitpunkt, und bezieht sich die zweite Position der virtuellen Quelle auf einen zweiten Zeitpunkt, der später als der erste Zeitpunkt ist. Ferner unterscheidet sich die zweite Position von der ersten Position. Die zweite Position ist beispielsweise die in Fig. 7 mit der umkreisten "2" dargestellte Position der virtuellen Quelle, während die erste Position die in Fig. 7 mit einer umkreisten "1" dargestellte Position der virtuellen Quelle 700 ist.

[0047] Die Einrichtung 10 zum Bereitstellen liefert ausgangsseitig somit eine erste Verzögerung 12a für den ersten Zeitpunkt sowie eine zweite Verzögerung 12b für den zweiten Zeitpunkt. Optional ist die Einrichtung 10 ferner ausgebildet, um neben den Verzögerungen auch Skalierungsfaktoren für die zwei Zeitpunkt auszugeben, wie später noch erläutert wird.

[0048] Die beiden Verzögerungen an den Ausgängen 12a, 12b der Einrichtung 10 werden einer Einrichtung 14 zum Ermitteln eines Werts des um die erste Verzögerung verzögerten Audiosignals, das über einen Eingang 16 der Einrichtung 14 zugeführt wird, für den aktuellen Zeitpunkt (der über einen Eingang 18 signalisierbar ist) und zum Ermitteln eines zweiten Werts des um die zweite Verzögerung verzögerten Audiosignals für den aktuellen Zeitpunkt zugeführt. Ausgangsseitig liefert die Einrichtung 14 zum Ermitteln somit zunächst einen ersten Wert $A_1(t_i)$ zum Zeitpunkt $t_i = t_A$ des mit

der ersten Verzögerung verzögerten Audiosignals, der in Fig. 1 mit 20a bezeichnet ist, sowie einen zweiten Wert 20b zum aktuellen Zeitpunkt $t_i = t_A$ des mit der zweiten Verzögerung 12b verzögerten Audiosignals, wobei A_1 auf jeden Fall zum ersten Zeitpunkt gültig sein soll, und wobei der A_4 auf jeden Fall zum zweiten Zeitpunkt gültig sein soll.

[0049] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt ferner eine Einrichtung 22 zum Gewichten des ersten Werts aus A_1 mit einem ersten Gewichtungsfaktor, um einen gewichteten ersten Wert 24a zu erhalten. Die Einrichtung 22 ist ferner wirksam, um den zweiten Wert 20b aus A_4 mit einem zweiten Gewichtungsfaktor n zu gewichten, um einen zweiten gewichteten Wert 24b zu erhalten. Die beiden gewichteten Werte 24a und 24b werden einer Einrichtung 26 zum Summieren der beiden Werte zugeführt, um tatsächlich einen "überblendeten" diskreten Wert 28 für den aktuellen Zeitpunkt der Komponente K_{ij} in einem Lautsprecher-Signal für einen Lautsprecher j aufgrund der virtuellen Quelle i zu erhalten.

[0050] Nachfolgend wird die Funktionalität der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung beispielhaft anhand der Fig. 4c, 4d, 5 und 6 dargestellt. Bei dem in den Fig. 4a und 4b erläuterten Szenario wird ein Umschalten von einer Delay zu einer anderen Delay nach 10 Abtastwerten gefordert. Der erste Zeitpunkt 401 ist der aktuelle Zeitpunkt $t_A = 0$, während der zweite Zeitpunkt 402 der aktuelle Zeitpunkt $t_A = 9$ ist.

[0051] Erfindungsgemäß wird weder der Wert aus A_1 zum ersten Zeitpunkt 401 noch der Wert aus A_4 zum zweiten Zeitpunkt 402 modifiziert. Erfindungsgemäß modifiziert werden jedoch sämtliche Werte zwischen t_1 401 und t_2 402, also Werte, die einem aktuellen Zeitpunkt t_A zugeordnet sind, der zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 liegt. Der aktuelle Zeitpunkt erstreckt sich somit von den Zeitpunkten $t' = 1$ bis $t' = 8$ für die nachfolgende beispielhafte Erläuterung.

[0052] Mathematisch ausgedrückt ist dies in der Graphik in Fig. 6 dargestellt, die den ersten Gewichtungsfaktor m als Funktion der aktuellen Zeitpunkte zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 darstellt. So ist der erste Gewichtungsfaktor m monoton fallend, während der zweite Gewichtungsfaktor n monoton steigend ist. Zum ersten Zeitpunkt 401, als $t' = 0$, beträgt $m = 1$ und $n = 0$. Dagegen betragen zum zweiten Zeitpunkt 402 der erste Gewichtungsfaktor $m = 0$ und der zweite Gewichtungsfaktor $n = 1$. Zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 werden die beiden Gewichtungsfaktoren einen treppenartigen Verlauf haben, da nur für jeden Abtastwert, also nicht kontinuierlich gerechnet werden kann. Der treppenförmige Verlauf wird in Fig. 6 gestrichelt bzw. gepunktet dargestellt sein, der je nach Anzahl der Überblendereignisse bzw. der vorgegebenen Rechenkapazitätsressourcen zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 entsprechend oft an die kontinuierliche Linie angelehnt sein wird.

[0053] Lediglich beispielhaft wurde bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel, das sich in den Fig. 4c und 4d widerspiegelt, zu zwei Überblendereignissen zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 gegriffen. Das erste Überblendereignis findet zum aktuellen Zeitpunkt $t_A = 3$ statt, während das zweite Überblendereignis zum aktuellen Zeitpunkt $t_A = 6$ stattfindet. Das Signal mit den zum ersten Überblendzeitpunkt zugehörigen Gewichtungsfaktoren m und n , die in einer Zeile 600 in Fig. 6 gezeigt sind, ist mit A_2 in Fig. 4c dargestellt. Ferner ist das zum zweiten Überblendzeitpunkt 602 zugehörige Signal mit A_3 in Fig. 4d gezeigt. Der tatsächliche Zeitverlauf der Komponente K_{ij} , der letztendlich berechnet wird (die Fig. 4a bis 4d dienen lediglich der Veranschaulichung) ist in Fig. 5 dargestellt. Bei dem in Fig. 4a bis 4d, Fig. 5 und Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel wird nicht zu jedem neuen Abtastwert, also mit einer Periodendauer T_A ein neuer Gewichtungsfaktor berechnet, sondern lediglich alle drei Abtastzeitdauern. Daher wird für die aktuellen Zeitpunkte 0, 1 und 2 die diesen Zeitpunkten entsprechenden Abtastwerte von Fig. 4a genommen. Für die aktuellen Zeitpunkte 3, 4 und 5 werden die zu Fig. 4c gehörenden Abtastwerte für die Zeitpunkte 3, 4 und 5 genommen. Ferner werden für die Zeitpunkte 6, 7 und 8 die zu Fig. 4d gehörenden Abtastwerte genommen, während schließlich für die Zeitpunkte 9, 10 und 11 sowie weitere Zeitpunkte bis zu einer nächsten Positionsänderung bzw. bis zu einer nächsten Überblendaktion die Abtastwerte von Fig. 4b genommen werden, die den aktuellen Zeitpunkten 9, 10 bzw. 11 entsprechen. Ein Vergleich von Fig. 5 mit Fig. 8 offenbart, daß die scharfe Symmetrie um den Abtastwert zum aktuellen Zeitpunkt $t_A = 9$ entspannt ist, dahingehend, daß das "Weglassen" von zwei Samples, das zu diesem Artefakt in Fig. 8 führte, in Fig. 5 entsprechend "verschliffen" ist.

[0054] Eine "feinere" Verschleifung könnte dann erreicht werden, wenn das in Fig. 5 gezeigte Positionsaktualisierungsintervall PAI nicht nur wie in Fig. 5 gezeigt alle drei Abtastwerte durchgeführt wird, sondern zu jedem Abtastwert, so daß der Parameter N in Fig. 5 zu 1 werden würde. In diesem Fall würde die den ersten Gewichtungsfaktor m symbolisierende Treppenkurve entsprechend enger an die kontinuierliche Kurve angenähert sein. Alternativ könnte jedoch auch das Positionsaktualisierungsintervall noch größer als 3 gemacht werden, beispielsweise daß nur eine Aktualisierung in der Mitte des Intervalls zwischen dem zweiten Zeitpunkt 402 und dem ersten Zeitpunkt 401 durchgeführt wird, so daß in der ersten Hälfte des Intervalls, also für die aktuellen Zeitpunkte $t_A = 1$ bis 4 $m = 1$ und $n = 0$ ist, während für die zweite Hälfte des entsprechenden Intervalls, also für die aktuellen Zeitpunkte 5, 6, 7 und 8 m und n gleich 0,5 sein würden, derart, daß dann zum zweiten Zeitpunkt 402, also zum aktuellen Zeitpunkt $t_A = 9$, n zu 1 wird und m zu 0 wird. Die Auswahl, ob zu jedem Abtastwert eine Überblendung durchgeführt wird, oder ob nur alle N Abtastwerte eine Überblendung, also eine Positionsaktualisierung durchgeführt wird, kann von Fall zu Fall unterschiedlich sein. Sie kann insbesondere davon abhängen, wie schnell sich eine virtuelle Quelle bewegt. Bewegt sie sich sehr langsam, so genügt es, einen relativ hohen Parameter N zu verwenden, also nur nach einer relativ hohen Anzahl von Abtastwerten eine

neue Positionsaktualisierung durchzuführen, also eine neue "Stufe" in Fig. 6 zu erzeugen, während im entgegengesetzten Fall, also dann, wenn sich die Quelle schnell bewegt, eine eher häufigere Positionsaktualisierung bevorzugt wird.

[0055] Bei dem in den Fig. 4a bis 4d dargestellten Ausführungsbeispiel wurde davon ausgegangen, daß die ersten Positionsinformationen für die virtuelle Quelle, die betrachtet wird, zum ersten Zeitpunkt 401 vorlagen, während die zweiten Positionsinformationen für die virtuelle Quelle zum zweiten Zeitpunkt 402 vorlagen, der sich um neun Abtastwerte hinter dem ersten Zeitpunkt befindet. Je nach Implementierung kann es jedoch sein, daß für jeden Abtastwert eine eigene Positionsinformation vorliegt, bzw. daß eine solche Positionsinformation ohne weiteres zur Interpolation gewonnen werden kann. So wurde bisher die Bewegung der Quelle für jede Zwischenposition in sehr kleinen räumlichen und damit zeitlichen Schritten berechnet, um ein hörbares Knacksen im Audiosignal von dem Umschalten von einer Delay zu einer anderen Delay zu unterbinden, wobei dieses Umschalten nur dann unterbunden werden kann, wenn die Abtastwerte vor und nach dem Umschalten nicht zu stark auseinanderfielen.

[0056] Für das erfindungsgemäße Überblenden muß jedoch der aktuelle Zeitpunkt t_A zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 liegen. Die minimale "Schrittweite", also der minimale Abstand zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 wird erfindungsgemäß zwei Abtastperioden betragen, so daß der aktuelle Zeitpunkt zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 mit beispielsweise jeweiligen Gewichtungsfaktoren von 0,5 bearbeitet werden kann. Für die Praxis wird jedoch eine eher größere Schrittweite vorgezogen, zum einen aus Rechenzeitgründen und zum anderen um einen Überblendeffect zu erzeugen, der dann nicht mehr auftreten würde, wenn zum nächsten Zeitpunkt schon die Folgeposition erreicht ist, was wiederum zum unnatürlichen Dopplereffekt bei der herkömmlichen Wellenfeldsynthese führen würde. Eine obere Grenze für die Schrittweite, also für den Abstand vom ersten Zeitpunkt 401 zum zweiten Zeitpunkt 402 wird darin bestehen, daß natürlich mit größer werdendem Abstand immer mehr Positionsinformationen, die eigentlich bereitstehen würden, aufgrund der Überblendung ignoriert werden, was im Extremfall zu einem Verlust der Lokalisierbarkeit der virtuellen Quelle für den Zuhörer führen wird. Daher werden Schrittweiten im mittleren Bereich bevorzugt, die zusätzlich je nach Ausführungsform von der Geschwindigkeit der virtuellen Quelle abhängen können, um eine adaptive Schrittweitensteuerung zu realisieren.

[0057] Bei dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel wurde als "Basis" für die Treppenkurve für den ersten und den zweiten Gewichtungsfaktor ein linearer Verlauf gewählt. Alternativ könnte jedoch auch ein sinusförmiger, quadratischer, kubischer etc. Verlauf verwendet werden. In diesem Fall müßte der entsprechende Verlauf des anderen Gewichtungsfaktors komplementär dahingehend sein, daß die Summe des ersten und des zweiten Gewichtungsfaktors immer gleich 1 ist bzw. innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereichs, der sich beispielsweise um plus oder minus 10% um 1 herum erstreckt, liegt. Eine Option wäre beispielsweise für den ersten Gewichtungsfaktor einen Verlauf gemäß dem Quadrat der Sinusfunktion zu nehmen und für den zweiten Gewichtungsfaktor einen Verlauf gemäß dem Quadrat der Cosinusfunktion zu nehmen, da die Quadrate von Sinus und Cosinus für jedes Argument, also für jeden aktuellen Zeitpunkt t_A , gleich 1 ist.

[0058] In den Fig. 4a bis 4d wurde bisher angenommen, daß die Skalierungsfaktoren zum ersten Zeitpunkt 401 und zum zweiten Zeitpunkt 402 beide gleich 1 sind. Dies muß jedoch nicht unbedingt so sein. So wird jeder Abtastwert des Audiosignals, das einer virtuellen Quelle zugeordnet ist, einen bestimmten Betrag B_i haben. Das Wellenfeldsynthesemodul wäre dann wirksam, einen ersten Skalierungsfaktor SF_1 für den ersten Zeitpunkt 401 und einen zweiten Skalierungsfaktor SF_2 für den zweiten Zeitpunkt 402 zu berechnen. Der tatsächliche Abtastwert zu einem aktuellen Zeitpunkt t_A zwischen dem ersten Zeitpunkt 401 und dem zweiten Zeitpunkt 402 würde dann folgendermaßen lauten:

$$AW_1 = B(t_A) * m * SF_1 + B(t_A) * n + SF_2.$$

[0059] Aus der vorstehenden Gleichung kann aus Vereinfachungsgründen nunmehr die Multiplikation eines Werts des Audiosignals mit zwei Gewichtungsfaktoren durch eine Multiplikation des Werts mit dem Produkt aus den beiden Gewichtungsfaktoren ersetzt werden.

[0060] Abhängig von den Gegebenheiten kann das erfindungsgemäße Verfahren, wie es anhand von Fig. 1 dargestellt worden ist, 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 Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das Computer-Programm-Produkt auf einem Rechner abläuft. In anderen Worten ausgedrückt kann die Erfindung somit als ein Computer-Programm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens realisiert werden, wenn das Computer-Programm auf einem Computer abläuft.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Berechnen eines diskreten Werts (28) für einen aktuellen Zeitpunkt (t_A) einer Komponente (K_{ij}) in einem Lautsprecher-signal (322) für einen Lautsprecher (j) aufgrund einer virtuellen Quelle (i) in einem Wellenfeld-synthesesystem mit einem Wellenfeldsynthesemodul und einer Mehrzahl von Lautsprechern (LS1, LS2,..., LS_m), wobei das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet ist, um unter Verwendung eines Audiosignals (16), das der virtuellen Quelle zugeordnet ist, und unter Verwendung einer Positionsinformation, die auf eine Position der virtuellen Quelle hinweist, eine Verzögerungsinformation zu ermitteln, die anzeigt, um viele diskrete Werte verzögert das Audiosignal bezüglich einer Zeitreferenz in der Komponente auftreten soll, mit folgenden Merkmalen:
 - einer Einrichtung (10) zum Bereitstellen einer ersten Verzögerung (12a), die einer ersten Position der virtuellen Quelle zu einem ersten Zeitpunkt zugeordnet ist, und zum Bereitstellen einer zweiten Verzögerung (12b), die einer zweiten Position der virtuellen Quelle zu einem zweiten späteren Zeitpunkt zugeordnet ist, wobei sich die zweite Position von der ersten Position unterscheidet, und wobei der aktuelle Zeitpunkt (t_A) zwischen dem ersten Zeitpunkt (400) und dem zweiten Zeitpunkt (402) liegt;
 - einer Einrichtung (14) zum Ermitteln eines ersten Werts des um die erste Verzögerung verzögerten Audiosignals (A1) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A) und zum Ermitteln eines zweiten Werts des um die zweite Verzögerung verzögerten Audiosignals (A4) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A);
 - einer Einrichtung (22) zum Gewichten des ersten Werts mit einem ersten Gewichtungsfaktor (m), um einen ersten gewichteten Wert (24a) zu erhalten, und des zweiten Werts mit einem zweiten Gewichtungsfaktor (n), um einen zweiten gewichteten Wert (24b) zu erhalten; und
 - einer Einrichtung zum Summieren (26) des ersten gewichteten Werts (24a) und des zweiten gewichteten Werts (24b), um den diskreten Wert (28) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A) zu erhalten.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der erste Gewichtungsfaktor (m) und der zweite Gewichtungsfaktor (n) für Werte zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt (400, 402) so eingestellt sind, daß eine Überblendung von dem um die erste Verzögerung verzögerten Audiosignal in das um die zweite Verzögerung verzögerte Audiosignal stattfindet.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der der erste Gewichtungsfaktor (m) zwischen dem ersten Zeitpunkt (400) und dem zweiten Zeitpunkt (402) abnimmt, und bei dem der zweite Gewichtungsfaktor (n) zwischen dem ersten Zeitpunkt (400) und dem zweiten Zeitpunkt (402) ansteigt.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der erste Gewichtungsfaktor (m) zu dem ersten Zeitpunkt gleich 1 ist und zu dem zweiten Zeitpunkt gleich 0 ist, und bei der der zweite Gewichtungsfaktor (n) zu dem ersten Zeitpunkt gleich 0 und zu dem zweiten Zeitpunkt gleich 1 ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der erste und der zweite Gewichtungsfaktor von einer Differenz zwischen dem aktuellen Zeitpunkt und dem ersten Zeitpunkt (400) oder dem zweiten Zeitpunkt (402) abhängen.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der erste Gewichtungsfaktor (m) von dem ersten Zeitpunkt zu dem zweiten Zeitpunkt monoton fällt, und der zweite Gewichtungsfaktor (n) von dem ersten Zeitpunkt zu dem zweiten Zeitpunkt monoton steigt.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Summe aus dem ersten Gewichtungsfaktor und dem zweiten Gewichtungsfaktor innerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereichs liegt, der sich um einen definierten Wert erstreckt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der der vorbestimmte Toleranzbereich plus oder minus 10% beträgt.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Audiosignal eine Folge von diskreten Werten ist, die jeweils um eine Abtastperiode (T_A) beabstandet sind, bei der der erste Zeitpunkt und der zweite Zeitpunkt um mehr als eine Abtastperiode voneinander beabstandet sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei der der erste Zeitpunkt und der zweite Zeitpunkt fest eingestellt sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei der die Einrichtung (10) zum Bereitstellen der ersten und der zweiten Verzögerung ausgebildet ist, um einen zeitlichen Abstand des ersten Zeitpunkts und des zweiten Zeitpunkts abhängig von den Positionsinformationen einzustellen, so daß der zeitliche Abstand größer als ein Referenzabstand ist, wenn sich die virtuelle Quelle mit einer kleineren Geschwindigkeit als einer Referenzgeschwindigkeit bewegt, und daß der zeitliche Abstand kleiner als der Referenzabstand ist, wenn sich die virtuelle Quelle mit einer größeren Geschwindigkeit als der Referenzgeschwindigkeit bewegt.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der ein zeitlicher Abstand zwischen dem ersten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt N Abtastperioden beträgt, und bei der die Einrichtung (22) zum Gewichten ausgebildet ist, um für eine Anzahl von M aufeinanderfolgenden aktuellen diskreten Werten denselben ersten Gewichtungsfaktor und denselben zweiten Gewichtungsfaktor zu verwenden, wobei M kleiner als N und größer oder gleich 2 ist.
13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (22) zum Gewichten ausgebildet ist, um für jeden aktuellen diskreten Wert einen aktuellen ersten Gewichtungsfaktor und einen aktuellen zweiten Gewichtungsfaktor zu berechnen, so daß der erste und der zweite Gewichtungsfaktor für jeden aktuellen diskreten Wert unterschiedlich zu einem ersten und einem zweiten Gewichtungsfaktor sind, die für einen ermittelten vorhergehenden diskreten Wert bestimmt worden sind.
14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (10) zum Bereitstellen ausgebildet ist, um die zweite Verzögerung für den zweiten Zeitpunkt basierend auf einer oder mehrerer Verzögerungen für vorausgehende Zeitpunkte zu schätzen.
15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Positionsinformationen der virtuellen Quelle gemäß einem Zeitraster dem Audiosignal für die virtuelle Quelle zugeordnet sind, wobei der erste und der zweite Zeitpunkt um eine Dauer voneinander beabstandet sind, die länger als ein zeitlicher Abstand zwischen zwei Rasterpunkten des Zeitrasters ist.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mehrere Audiosignale für mehrere virtuelle Quellen vorhanden sind, bei der für jede virtuelle Quelle eine Komponente berechnet wird, und bei der alle Komponenten für einen Lautsprecher addiert werden, um das Lautsprechersignal für den Lautsprecher zu erhalten.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet ist, um neben den Verzögerungsinformationen auch Skalierungsinformationen zu berechnen, die anzeigen, mit welchem Skalierungsfaktor das der virtuellen Quelle zugeordnete Audiosignal zu skalieren ist, und bei der die Einrichtung (22) zum Gewichten ausgebildet ist, um den ersten gewichteten Wert (24a) als Produkt aus dem Wert der Komponente für den aktuellen Zeitpunkt und einem ersten Skalierungsfaktor für den aktuellen Zeitpunkt und dem ersten Gewichtungsfaktor zu berechnen, und bei der die Einrichtung (22) zum Gewichten ferner ausgebildet ist, um den zweiten gewichteten Wert als Produkt aus dem Wert der Komponente für den aktuellen Zeitpunkt, aus dem zweiten Skalierungsfaktor für den zweiten Zeitpunkt und den zweiten Gewichtungsfaktor zu berechnen.
18. Verfahren zum Berechnen eines diskreten Werts (28) für einen aktuellen Zeitpunkt (t_A) einer Komponente (K_{ij}) in einem Lautsprechersignal (322) für einen Lautsprecher (j) aufgrund einer virtuellen Quelle (i) in einem Wellenfeldsynthesesystem mit einem Wellenfeldsynthesemodul und einer Mehrzahl von Lautsprechern (LS1, LS2, ..., LSm), wobei das Wellenfeldsynthesemodul ausgebildet ist, um unter Verwendung eines Audiosignals (16), das der virtuellen Quelle zugeordnet ist, und unter Verwendung einer Positionsinformation, die auf eine Position der virtuellen Quelle hinweist, eine Verzögerungsinformation zu ermitteln, die anzeigt, um viele diskrete Werte verzögert das Audiosignal bezüglich einer Zeitreferenz in der Komponente auftreten soll, mit folgenden Schritten:

Bereitstellen (10) einer ersten Verzögerung (12a), die einer ersten Position der virtuellen Quelle zu einem ersten Zeitpunkt zugeordnet ist, und zum Bereitstellen einer zweiten Verzögerung (12b), die einer zweiten Position der virtuellen Quelle zu einem zweiten späteren Zeitpunkt zugeordnet ist, wobei sich die zweite Position von der ersten Position unterscheidet, und wobei der aktuelle Zeitpunkt (t_A) zwischen dem ersten Zeitpunkt (400) und dem zweiten Zeitpunkt (402) liegt;

Ermitteln (14) eines Werts des um die erste Verzögerung verzögerten Audiosignals (A1) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A) und zum Ermitteln eines zweiten Werts des um die zweite Verzögerung verzögerten Audiosignals

(A4) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A);

Gewichten (22) des ersten Werts mit einem ersten Gewichtungsfaktor (m) um einen ersten gewichteten Wert (24a) zu erhalten, und des zweiten Werts mit einem zweiten Gewichtungsfaktor (n), um einen zweiten gewichteten Wert (24b) zu erhalten; und

Summieren (26) des ersten gewichteten Werts (24a) und des zweiten gewichteten Werts (24b), um den diskreten Wert (28) für den aktuellen Zeitpunkt (t_A) zu erhalten.

19. Computer-Programm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch 18, wenn das Programm auf einem Computer abläuft.

Claims

1. Apparatus for calculating a discrete value (28) for a current time of a component in a loudspeaker signal (322) for a loudspeaker based on a virtual source in a wave-field synthesis system with a wave-field synthesis module and a plurality of loudspeakers, wherein the wave-field synthesis module is formed to determine delay information by using an audio signal (16) associated to the virtual source and by using position information indicating a position of the virtual source, the delay information indicating by how many samples the audio signal is to be delayed with regard to a time reference in the component, comprising:

a means (10) for providing a first delay (12a) associated to a first position of the virtual source at a first time, and for providing a second delay (12b) associated to a second position of the virtual source at a second later time, wherein the second position differs from the first position and wherein the current time lies between the first time (400) and the second time (402);

a means (14) for determining a value of the audio signal delayed by the first delay for the current time and for determining a second value of the audio signal delayed by the second delay for the current time;

a means (22) for weighting the first value with a first weighting factor to obtain a first weighted value (24a), and the second value with a second weighting factor to obtain a second weighted value (24b); and

a means for summing (26) the first weighted value (24a) and the second weighted value (24b) to obtain the discrete value (28) for the current time.

2. Apparatus according to claim 1, wherein the first weighting factor and the second weighting factor are set for values between the first and the second times (400, 402) such that panning takes place from the audio signal delayed by the first delay to the audio signal delayed by the second delay.

3. Apparatus according to claim 1 or 2, wherein the first weighting factor decreases between the first time (400) and the second time (402), and wherein the second weighting factor increases between the first time (400) and the second time (402).

4. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the first weighting factor is equal to 1 at the first time and equal to 0 at the second time, and wherein the second weighting factor is equal to 0 at the first time and is equal to 1 at the second time.

5. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the first and second weighting factors depend on a difference between the current time and the first time (400) or the second time (402).

6. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the first weighting factor decreases monotonously from the first time to the second time, and the second weighting factor increases monotonously from the first time to the second time.

7. Apparatus according to one of the previous claims, wherein a sum of the first weighting factor and the second weighting factor lies within a predetermined tolerance range extending around a defined value.

8. Apparatus according to claim 7, wherein the predetermined tolerance range is plus or minus 10%.

9. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the audio signal is a sequence of discrete values, which are spaced apart by one sample period, wherein the first time and the second time are spaced apart by more than one sample period.

10. Apparatus according to claim 9,
wherein the first time and the second time are fixed.
- 5 11. Apparatus according to claim 9, wherein the means (10) for providing the first and the second delay is formed to set a time distance of the first time and the second time depending on the position information, so that the time distance is larger than a reference distance when the virtual source moves with less speed than a reference speed, and that the time distance is smaller than the reference distance when the virtual source moves with higher speed than the reference speed.
- 10 12. Apparatus according to one of the previous claims, wherein a time distance between the first time and the second time is N sample periods, and wherein the means (22) for weighting is formed to use the same first weighting factor and the same second weighting factor for a number of M subsequent current discrete values, wherein M is smaller than N and larger than or equal to 2.
- 15 13. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the means (22) for weighting is formed to calculate a current first weighting factor and a current second weighting factor for every current sample, so that the first and second weighting factors for every current sample are different to first and second weighting factors that have been determined for a determined previous sample.
- 20 14. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the means (10) for providing is formed to estimate the second delay for the second time based on one or several delays for previous times.
- 25 15. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the position information of the virtual source is associated to the audio signal for the virtual source according to a time pattern, wherein the first and second times are spaced apart by a period which is longer than a time distance between two pattern points of the time pattern.
- 30 16. Apparatus according to one of the previous claims, wherein several audio signals are present for several virtual sources, wherein a component is calculated for every virtual source, and wherein all components are added for a loudspeaker to obtain the loudspeaker signal for the loudspeaker.
- 35 17. Apparatus according to one of the previous claims, wherein the wave-field synthesis module is formed to calculate scaling information in addition to the delay information, which indicates by which scaling factor the audio signal associated to the virtual source is to be scaled, and wherein the means (22) for weighting is formed to calculate the first weighted value (24a) as product of the value of the component for the current time and a first scaling factor for the current time and the first weighting factor, and wherein the means (22) for weighting is further formed to calculate the second weighted value as product of the value of the component for the current time, of the second scaling factor for the second time and the second weighting factor.
- 40 18. Method for calculating a discrete value (28) for a current time of a component in a loudspeaker signal (322) for a loudspeaker based on a virtual source in a wave-field synthesis system with a wave-field synthesis module and a plurality of loudspeakers, wherein the wave-field synthesis module is formed to determine delay information by using an audio signal (16) associated to the virtual source and by using position information indicating a position of the virtual source, the delay information indicating by how many samples the audio signal is to be delayed with regard to a time reference in the component, comprising:

providing (10) a first delay (12a) associated to a first position of the virtual source at a first time, and providing a second delay (12b) associated to a second position of the virtual source at a second later time, wherein the
50 second position differs from the first position and wherein the current time lies between the first time (400) and the second time (402);
determining (14) a value of the audio signal delayed by the first delay for the current time and
determining a second value of the audio signal delayed by the second delay for the current time;
weighting (22) the first value with a first weighting factor to obtain a first weighted value (24a), and the second
55 value with a second weighting factor to obtain a second weighted value (24b); and
summing (26) the first weighted value (24a) and the second weighted value (24b) to obtain the discrete value (28) for the current time.

19. Computer program with a program code for performing the method according to claim 18 when the program runs on a computer.

5 Revendications

1. Dispositif pour calculer une valeur discrète (28) pour un moment actuel d'une composante dans un signal de haut-parleur (322) pour un haut-parleur sur base d'une source virtuelle dans un système de synthèse de champ d'onde avec un module de synthèse de champ d'onde et une pluralité de haut-parleurs, le module de synthèse de champ d'onde étant réalisé de manière à déterminer, à l'aide d'un signal audio (16), qui est associé à la source virtuelle, et à l'aide d'une information de position, qui indique une position de la source virtuelle, une information de retard indiquant le nombre de valeurs de balayage duquel le signal audio doit se présenter retardé par rapport à une référence de temps dans la composante, aux caractéristiques suivantes :
 - un dispositif (10) destiné à préparer un premier retard (12a), qui est associé à une première position de la source virtuelle à un premier moment, et à préparer un deuxième retard (12b), qui est associé à une deuxième position de la source virtuelle à un deuxième moment ultérieur, la deuxième position différant de la première position et le moment actuel étant situé entre le premier moment (400) et le deuxième moment (402) ;
 - un dispositif (14) destiné à déterminer une valeur du signal audio retardé du premier retard pour le moment actuel et à déterminer une deuxième valeur du signal audio retardé du deuxième retard pour le moment actuel ;
 - un dispositif (22) destiné à pondérer la première valeur par un premier facteur de pondération, pour obtenir une première valeur pondérée (24a), et la deuxième valeur par un deuxième facteur de pondération, pour obtenir une deuxième valeur pondérée (24b) ; et
 - un dispositif destiné à additionner (26) la première valeur pondérée (24a) et la deuxième valeur pondérée (24b), pour obtenir la valeur discrète (28) pour le moment actuel.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le premier facteur de pondération et le deuxième facteur de pondération pour des valeurs comprises entre le premier et le deuxième moment (400, 402) sont réglés de sorte qu'ait lieu un fondu enchaîné du signal audio retardé du premier retard dans le signal audio retardé du deuxième retard.
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le premier facteur de pondération diminue entre le premier moment (400) et le deuxième moment (402), et dans lequel le deuxième facteur de pondération augmente entre le premier moment (400) et le deuxième moment (402).
4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier facteur de pondération est, au premier moment, égal à 1 et est, au deuxième moment, égal à 0, et dans lequel le deuxième facteur de pondération est, au premier moment, égal à 0 et est, au deuxième moment, égal à 1.
5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les premier et deuxième facteurs de pondération sont fonction d'une différence entre le moment actuel et le premier moment (400) ou le deuxième moment (402).
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier facteur de pondération diminue de manière monotone du premier moment au deuxième moment, et le deuxième facteur de pondération augmente de manière monotone du premier moment au deuxième moment.
7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la somme du premier facteur de pondération et du deuxième facteur de pondération se situe dans les limites d'une plage de tolérance prédéterminée qui s'étend autour d'une valeur définie.
8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel la plage de tolérance prédéterminée est de plus ou moins 10 %.
9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le signal audio est une succession de valeurs discrètes distantes l'une de l'autre, chacune d'une période de balayage, dans lequel le premier moment et le deuxième moment sont distants l'un de l'autre de plus d'une période de balayage.
10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel le premier moment et le deuxième moment sont réglés de manière fixe.

- 5 11. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel le dispositif (10) destiné à préparer le premier et le deuxième retard est réalisé de manière à régler un intervalle de temps entre le premier moment et le deuxième moment en fonction des informations de position, de sorte que l'intervalle de temps soit supérieur à un intervalle de référence lorsque la source virtuelle se déplace à une vitesse inférieure à une vitesse de référence et que l'intervalle de temps soit inférieur à un intervalle de référence lorsque la source virtuelle se déplace à une vitesse supérieure à une vitesse de référence.
- 10 12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel un intervalle de temps entre le premier moment et le deuxième moment est de N périodes de balayage, et dans lequel le dispositif (22) destiné à pondérer est réalisé de manière à utiliser pour un nombre de M valeurs discrètes actuelles successives le même premier facteur de pondération et le même deuxième facteur de pondération, M étant inférieur à N et supérieur ou égal à 2.
- 15 13. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (22) destiné à pondérer est réalisé de manière à calculer, pour chaque valeur de balayage actuelle, un premier facteur de pondération actuel et un deuxième facteur de pondération actuel, de sorte que le premier et le deuxième facteur de pondération soient différents d'un premier et d'un deuxième facteur de pondération qui ont été déterminés pour une valeur de balayage précédente déterminée.
- 20 14. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (10) destiné à préparer est réalisé de manière à estimer le deuxième retard pour le deuxième moment sur base d'un ou de plusieurs retards pour des moments précédents.
- 25 15. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les informations de position de la source virtuelle sont associées selon une grille de temps au signal audio pour la source virtuelle, le premier et le deuxième moment étant distants l'un de l'autre d'une durée qui est plus longue qu'un intervalle de temps entre deux points de la grille de temps.
- 30 16. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel plusieurs signaux audio sont présents pour plusieurs sources virtuelles, dans lequel est calculée une composante pour chaque source virtuelle, et dans lequel toutes les composantes pour un haut-parleur sont additionnées, pour obtenir le signal pour le haut-parleur.
- 35 17. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le module de synthèse de champ d'onde est réalisé de manière à calculer, outre les informations de retard, également les informations de modulation qui indiquent le facteur de modulation par lequel doit être modulé le signal audio associé à la source virtuelle, et dans lequel le dispositif (22) destiné à pondérer est réalisé de manière à calculer la première valeur pondérée (24a) comme produit de la valeur de la composante pour le moment actuel et d'un premier facteur de modulation pour le moment actuel et le premier facteur de modulation, et dans lequel le dispositif (22) destiné à pondérer est, par ailleurs, réalisé de manière à calculer la deuxième valeur pondérée comme produit de la valeur de la composante pour le moment actuel, du deuxième facteur de modulation pour le moment actuel et du deuxième facteur de modulation.
- 40 18. Procédé pour calculer une valeur discrète (28) pour un moment actuel d'une composante dans un signal de haut-parleur (322) pour un haut-parleur sur base d'une source virtuelle dans un système de synthèse de champ d'onde avec un module de synthèse de champ d'onde et une pluralité de haut-parleurs, le module de synthèse de champ d'onde étant réalisé de manière à déterminer, à l'aide d'un signal audio (16), qui est associé à la source virtuelle, et à l'aide d'une information de position, qui indique une position de la source virtuelle, une information de retard indiquant le nombre de valeurs de balayage duquel le signal audio doit se présenter retardé par rapport à une référence de temps dans la composante, aux étapes suivantes consistant à :
45 préparer (10) un premier retard (12a), qui est associé à une première position de la source virtuelle à un premier moment, et à préparer un deuxième retard (12b), qui est associé à une deuxième position de la source virtuelle à un deuxième moment ultérieur, la deuxième position différant de la première position et le moment actuel étant situé entre le premier moment (400) et le deuxième moment (402) ;
50 déterminer (14) une valeur du signal audio retardé du premier retard pour le moment actuel et à déterminer une deuxième valeur du signal audio retardé du deuxième retard pour le moment actuel ;
pondérer (22) la première valeur par un premier facteur de pondération, pour obtenir une première valeur

pondérée (24a), et la deuxième valeur par un deuxième facteur de pondération, pour obtenir une deuxième valeur pondérée (24b) ; et
additionner (26) la première valeur pondérée (24a) et la deuxième valeur pondérée (24b), pour obtenir la valeur discrète (28) pour le moment actuel.

- 5
- 19.** Programme d'ordinateur avec un code de programme pour exécuter le procédé selon la revendication 18 lorsque le programme se déroule sur un ordinateur.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

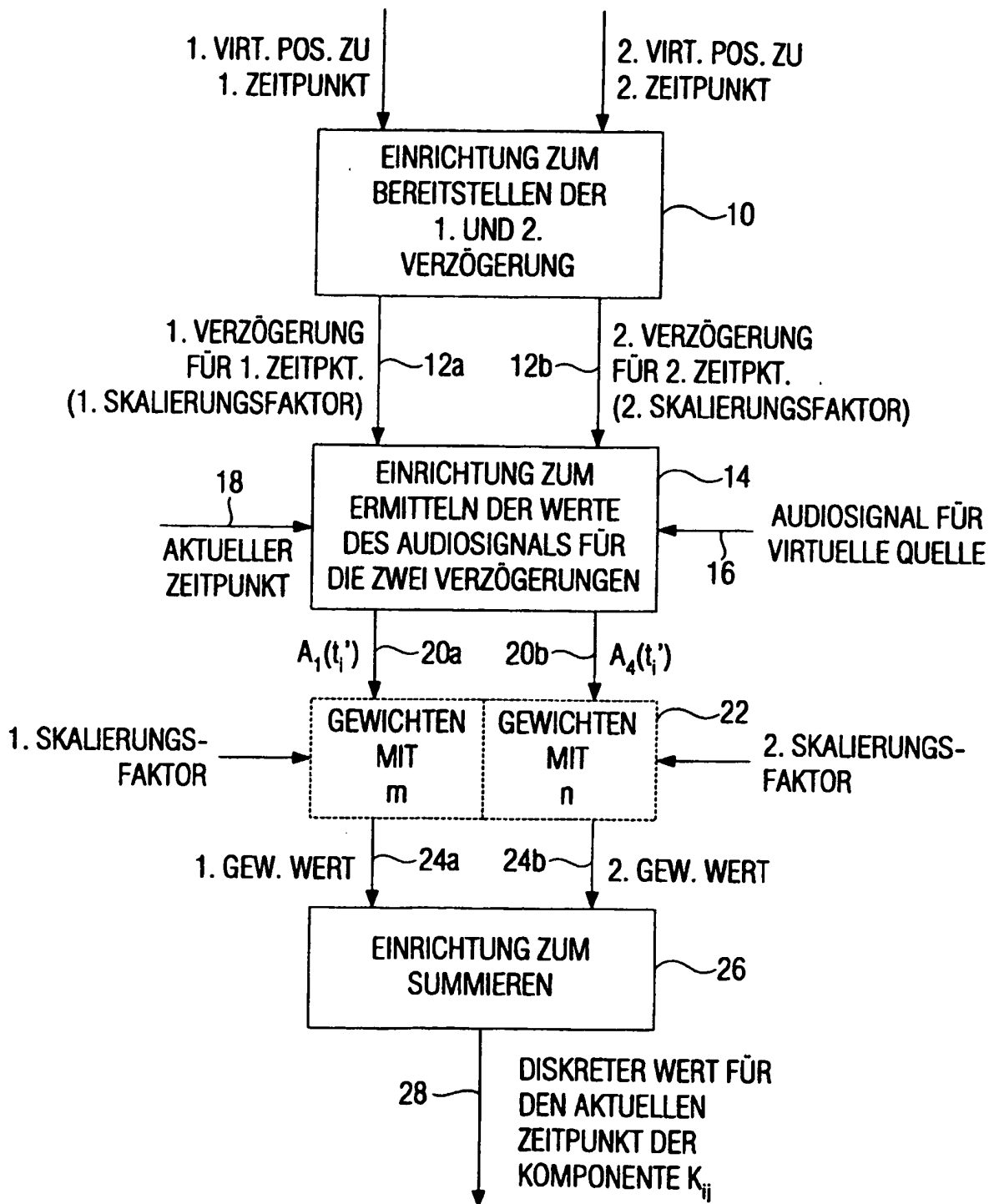


FIG. 1

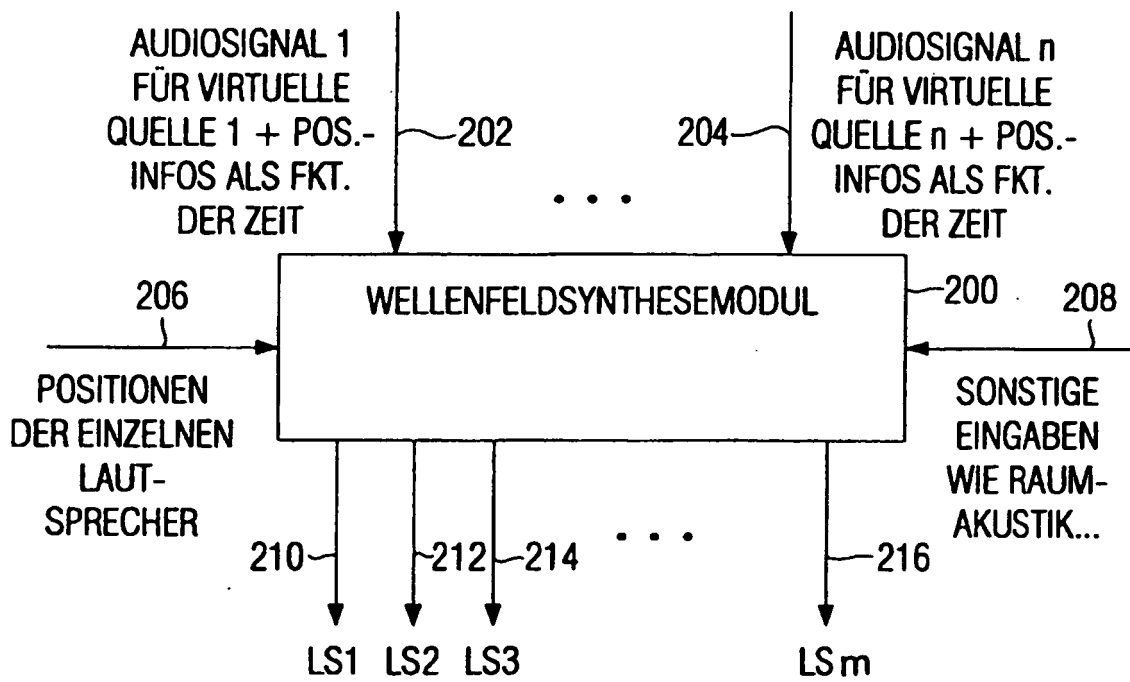


FIG. 2

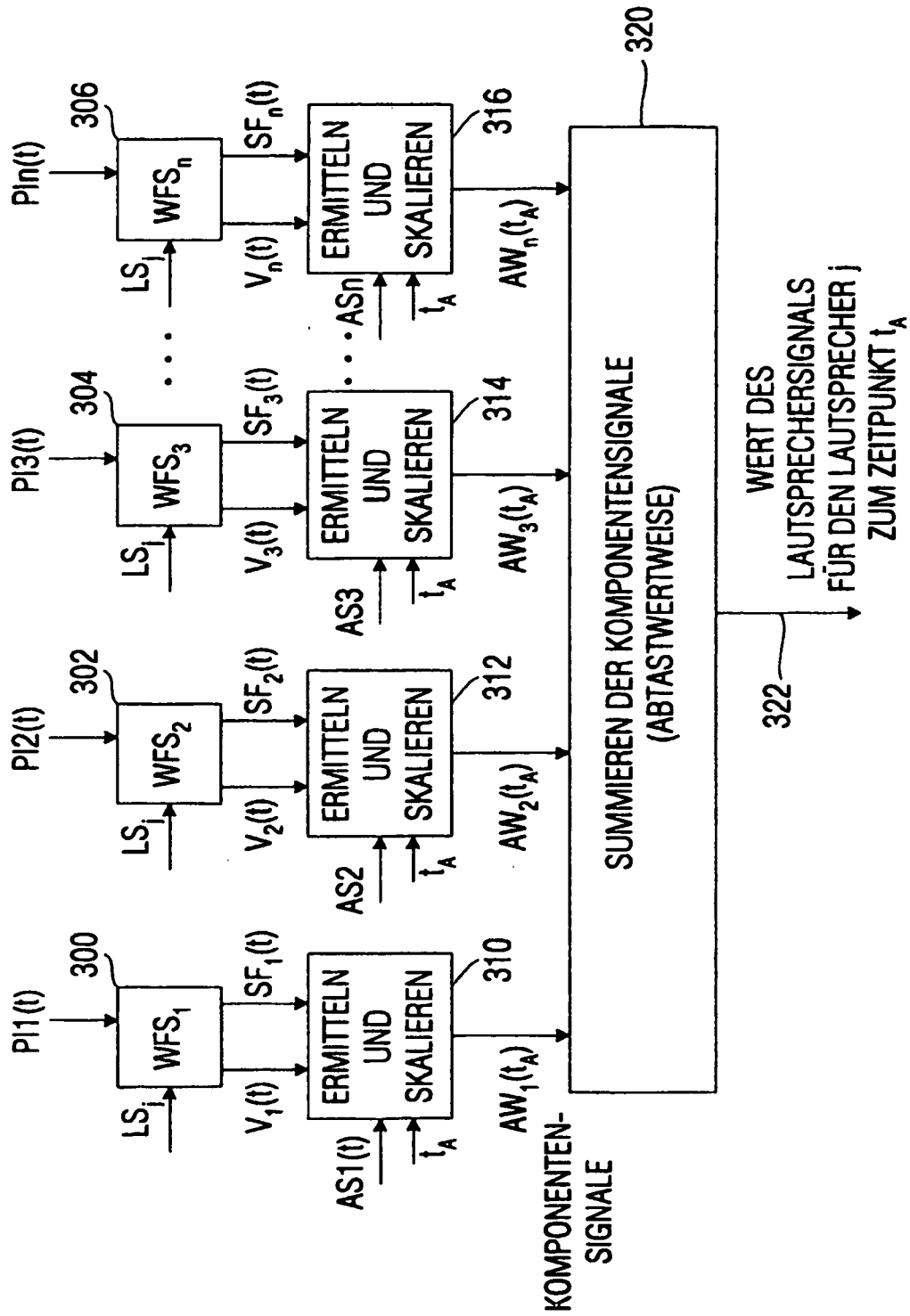
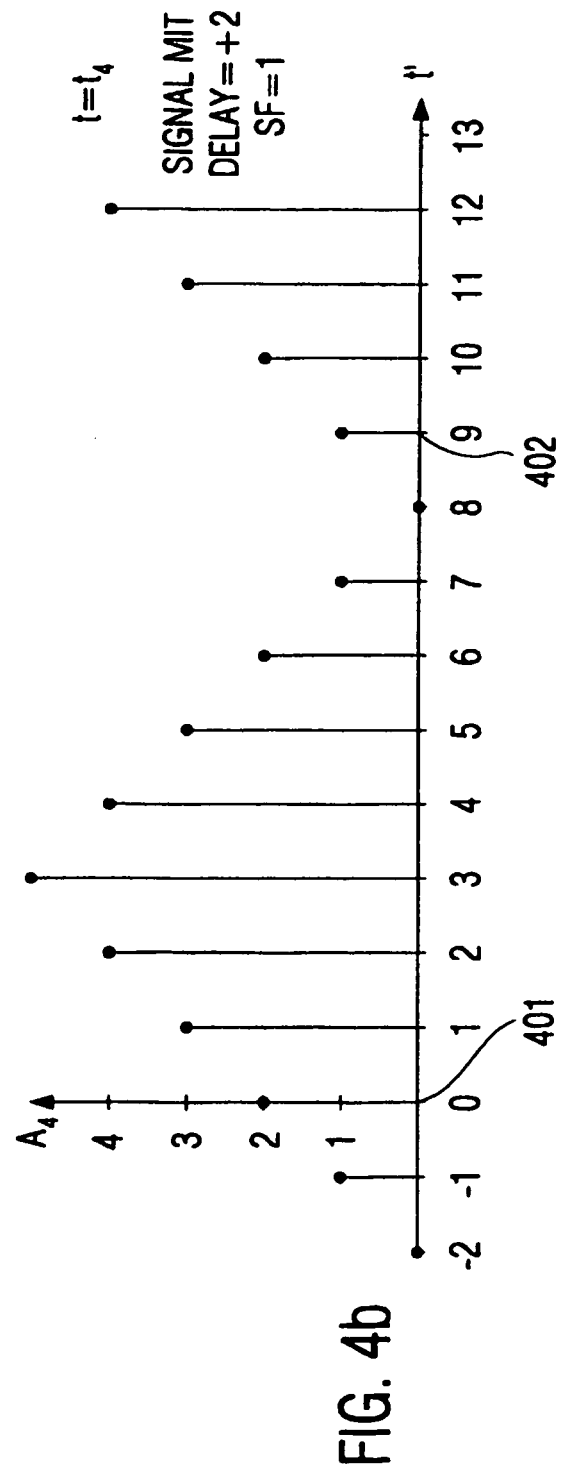
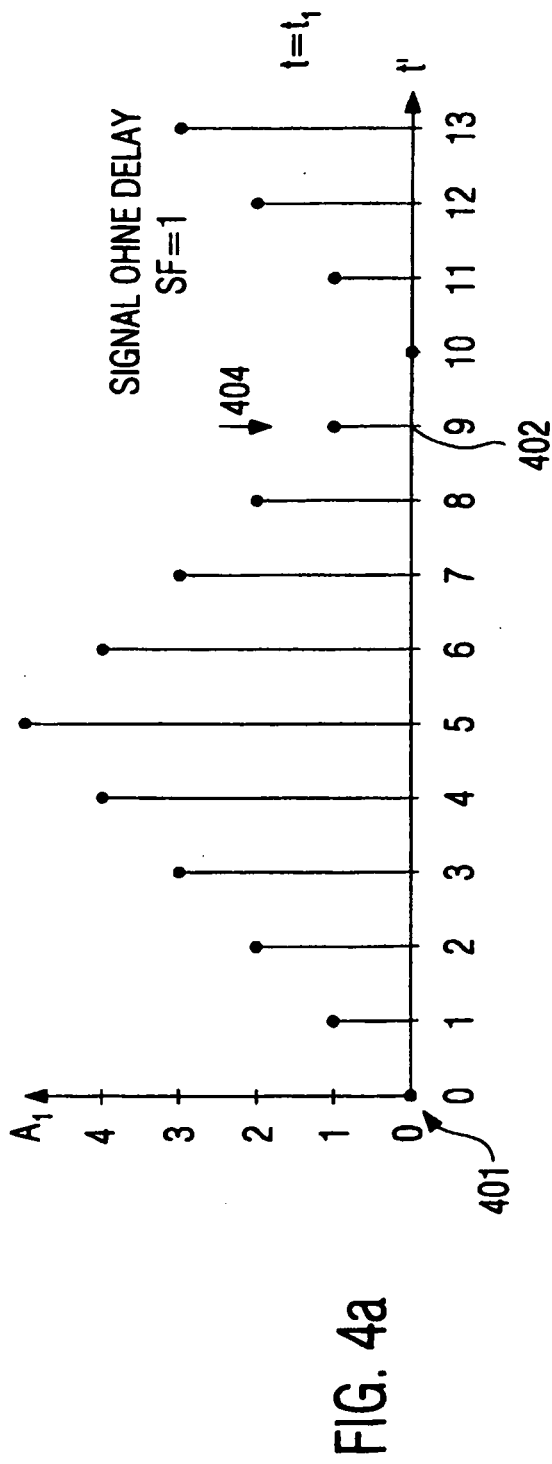


FIG. 3



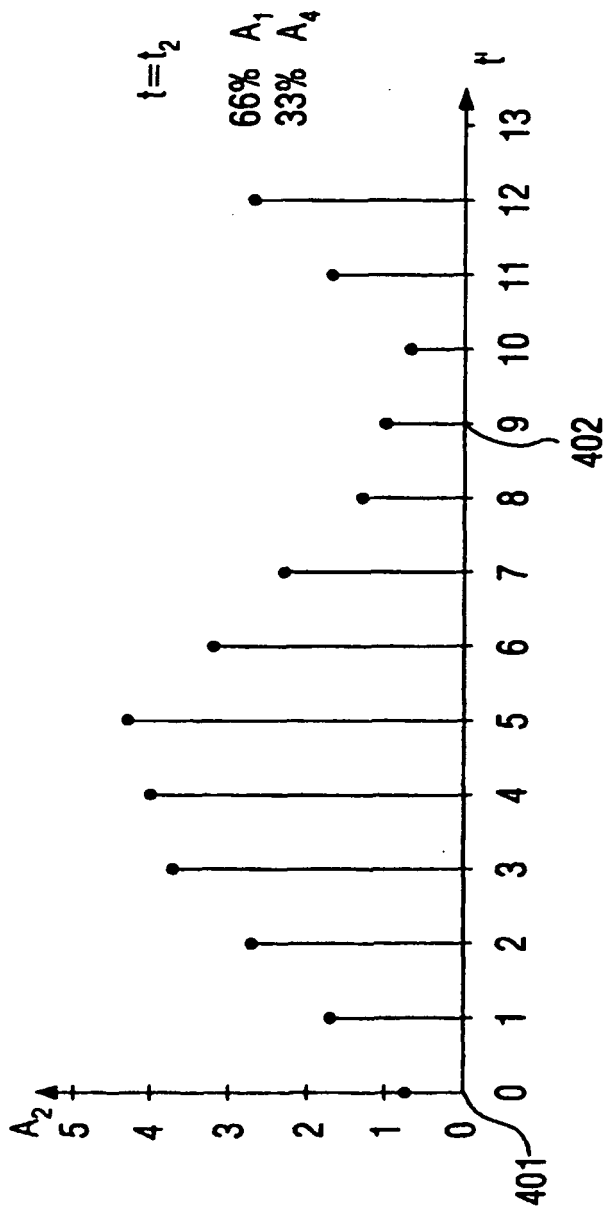


FIG. 4c

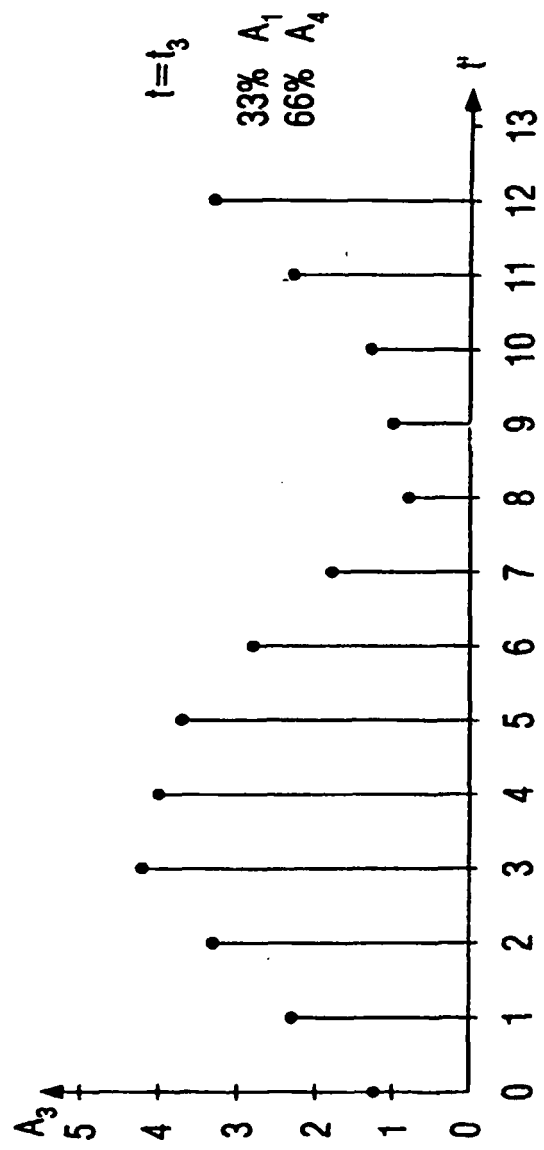
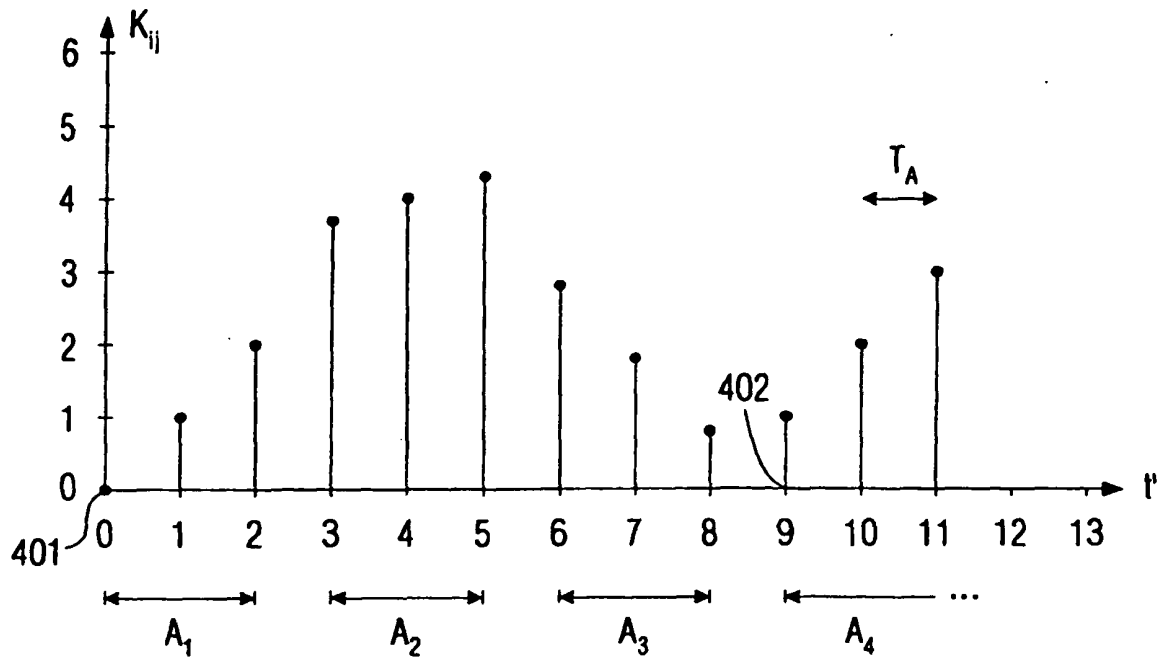


FIG. 4d



KOMPONENTE K_{ij} : KOMPONENTE IN LAUTSPRECHERSIGNAL FÜR DEN
LAUTSPRECHER j AUFGRUND DER VIRTUELLEN QUELLE i
BSP.: POSITIONSAKTUALISIERUNGSINTERVALL $PAI = N \cdot T_A$
 $N = 3$.

FIG. 5

$$K_{ij} = m \cdot A_1 + n \cdot A_4;$$

$$\begin{array}{lll} 0 \leq t' \leq 2 & : m=1 & ; n=0 \\ 3 \leq t' \leq 5 & : m=0,66 & ; n=0,33 \quad \text{--- 600} \\ 6 \leq t' \leq 8 & : m=0,33 & ; n=0,66 \quad \text{--- 602} \\ 9 \leq t' \leq 11 & : m=0 & ; n=1 \end{array}$$

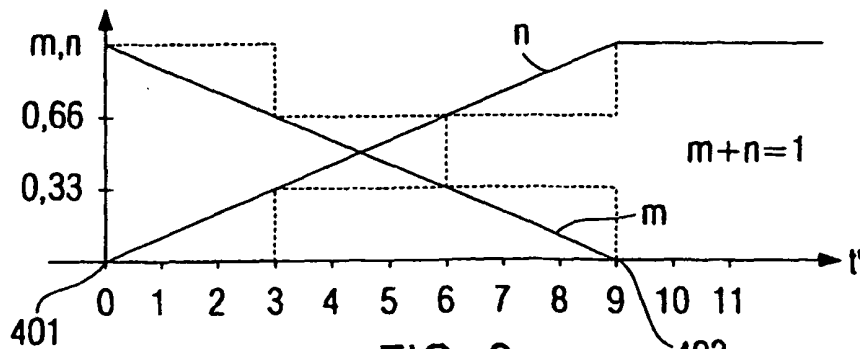


FIG. 6

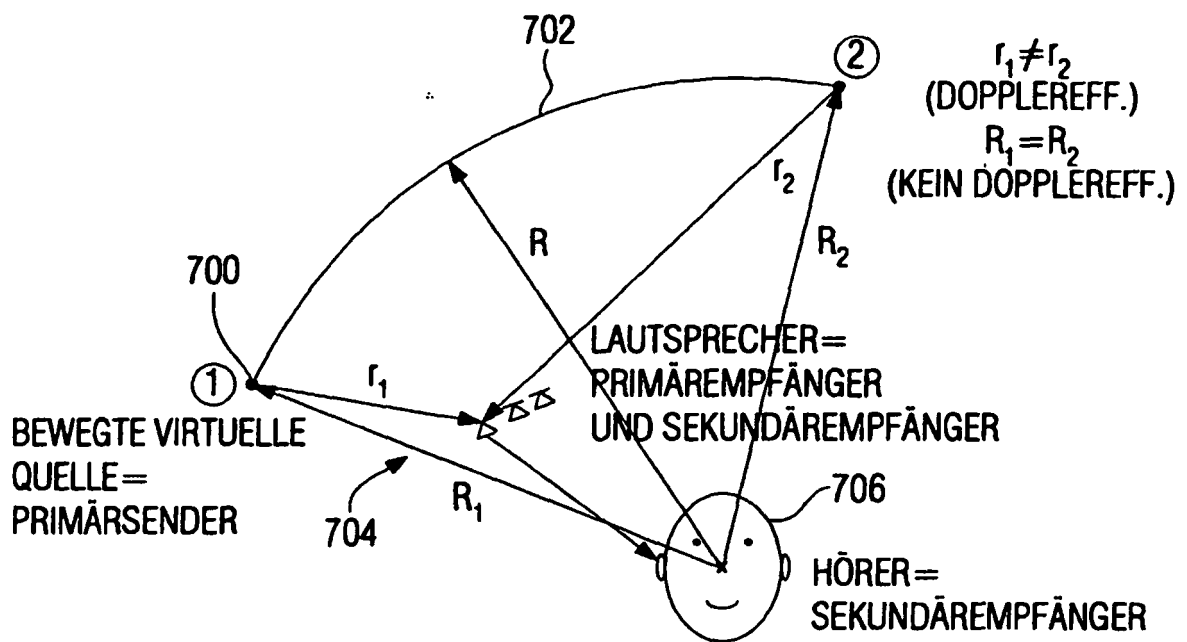
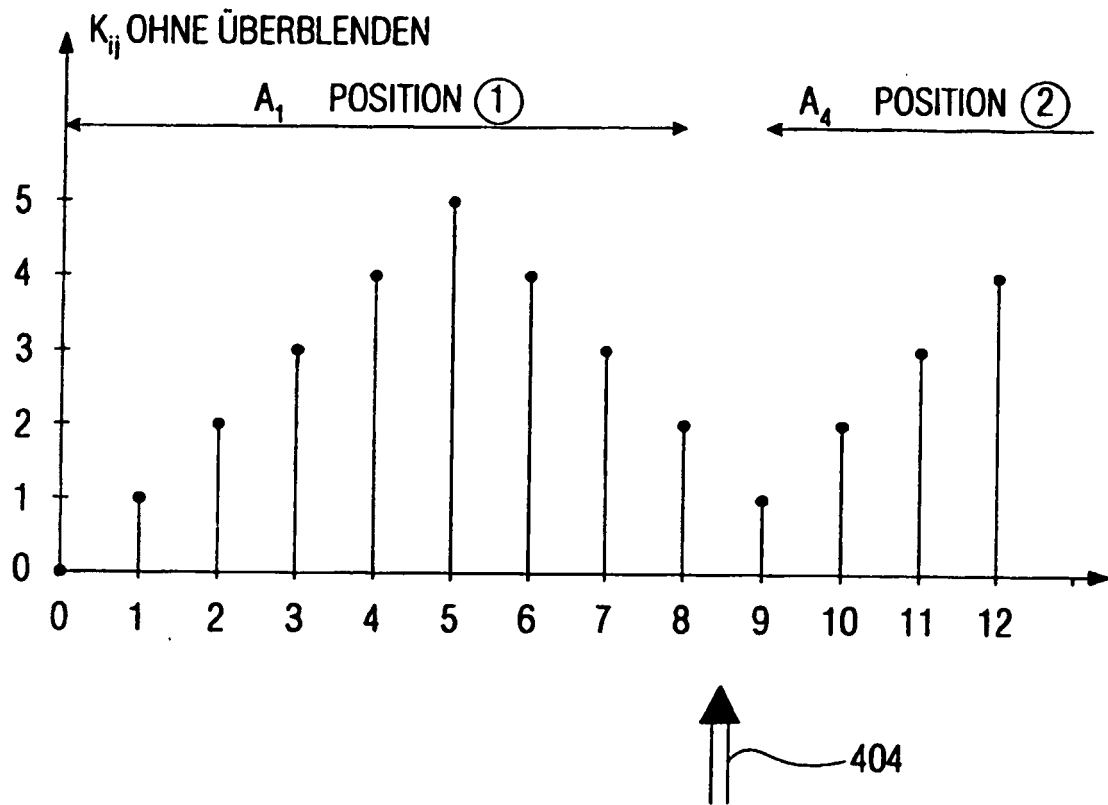


FIG. 7



DELAY=2: 2 SAMPLES WURDEN
WEGGELASSEN

FIG. 8