



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 054 961 A1** 2008.05.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 054 961.9**

(22) Anmeldetag: **22.11.2006**

(43) Offenlegungstag: **29.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H04S 5/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Oellers, Helmut, 99092 Erfurt, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese**

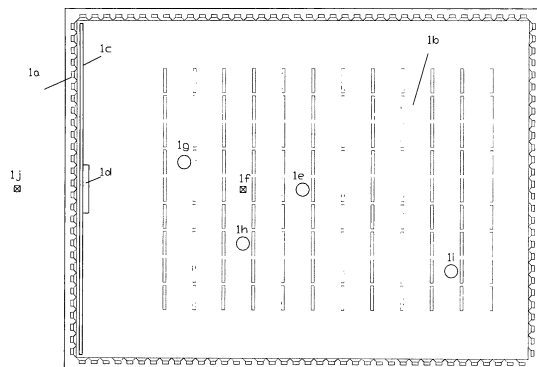
(57) Zusammenfassung: Nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese lassen sich virtuelle Schallquellen erzeugen, die sich in ihrer stabilen Ortbarkeit von einer natürlichen Schallquelle kaum unterscheiden. Sie können sowohl hinter der erzeugenden Lautsprecheranordnung als auch vor ihr positioniert werden.

Bei den praktisch realisierten Versuchsanordnungen wird die Lautsprecheranordnung als horizontale Zeile rings um den Zuhörer aufgebaut. Virtuelle Quellen sind so in dieser Ebene an jedem beliebigen Raumpunkt und auch innerhalb der Lautsprecheranordnung darstellbar. Auch mit einer zweidimensionalen Lautsprecheranordnung hinter einer Bildwand können virtuelle Schallquellen im Zuhörerbereich werden (1).

Prinzipiell kann bei der Wellenfeldsynthese aber der Bereich zwischen der erzeugenden Lautsprecheranordnung und einer virtuellen Quelle im Zuhörerbereich nicht genutzt werden, weil hier Fehlortungen auftreten.

Zusätzlich besteht das grundsätzliche Problem, dass sich eine virtuelle Schallquelle im Zuschauerbereich zwar verhält wie eine natürliche Schallquelle an dieser Stelle, dass sich aber bei einer simultanen Bilddarstellung dieser Schallquelle von fast allen Plätzen aus eine Divergenz zwischen dem optischen und dem akustischen Eindruck ergibt, weil sie nicht wie eine natürliche Schallquelle auch an diesem Punkt zu sehen ist.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß dadurch beseitigt, dass eine solche virtuelle Schallquelle zwar an einer Position hinter den erzeugenden Lautsprechern generiert ...



Beschreibung

[0001] Nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese können virtuelle Schallquellen generiert werden, die sich prinzipiell so Verhalten, wie eine reale Schallquellen an dieser Stelle. Dazu werden die Einzelstrahler einer Lautsprecheranordnung in dem Moment mit dem Signal angesteuert, zu dem die Wellenfront einer dort positionierten realen Schallquelle ihren Raumpunkt durchlaufen würde.

[0002] Die Wiedergabe von auditiven Ereignissen kann mit der Wellenfeldsynthese deshalb so deutlich verbessert werden, weil diese virtuellen Quellen wesentlich stabiler zu orten sind als die Phantomschallquellen, die bei herkömmlicher Wiedergabe mit Einzellausprechern erzeugt werden. Ihre Position wandert nicht mehr mit, wenn sich der Zuhörer im Abhör- raum bewegt.

[0003] Wenn die Lautsprecheranordnung allseitig um den Zuhörer aufgebaut wird, lassen sich die virtuellen Quellen an jedem beliebigen Raumpunkt außerhalb oder auch innerhalb der Lautsprecheranordnung generieren. Aus praktischen Gründen wird diese Anordnung bei den realisierten Anlagen auf eine horizontale Lautsprecherzeile rings um den Zuhörer reduziert. Dabei verzichtet man auf die Möglichkeit, die Elevation der Schallquelle darstellen zu können, um den Aufwand in vertretbaren Grenzen zu halten.

[0004] Virtuelle Schallquellen jenseits der Lautsprecheranordnung lassen sich ohne Probleme sehr authentisch erzeugen, jedoch bringt die Reproduktion innerhalb des Zuschauerbereiches zwei elementare Probleme:

Zum einen überlagert sich im Bereich zwischen den erzeugenden Lautsprechern und der im Wiedergabebereich angeordneten virtuellen Quelle das Erzeugerfeld mit dem Nutzfeld. Außerdem führt die konkave Form der Wellenfronten in diesem Bereich zu Fehlortungen, weil Laufzeitfehler zwischen den Ohren des Zuhörers entstehen. Dadurch laufen die Schallwellen scheinbar in die falsche Richtung. Der Zuhörer darf sich für eine hochwertige Wiedergabe also nicht im Bereich zwischen virtueller Quelle und Lautsprecheranordnung befinden. Diese Artefakte können mit bekannten Verfahren bisher nur reduziert, nicht aber beseitigt werden. [2]

[0005] Zudem stimmt für virtuelle Schallquellen innerhalb des Zuschauerbereiches bei einer gekoppelten Bilddarstellung der optische Eindruck nur für einen einzigen Zuschauerplatz mit dem akustischen Eindruck überein. Das soll anhand der Darstellung in [Fig. 1](#) verdeutlicht werden:

Darin ist eine nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese angesteuerte Lautsprecherzeile (**1a**) rings um die Zuhörer angeordnet. Die Zuhörer im Zuschauerbereich (**1b**) sehen auf der Bildwand (**1c**) die darge-

stellte Schallquelle (**1d**). Dabei kann für eine Bezugs-Zuhörerposition (**1e**) im Zuschauerbereich eine virtuelle Schallquelle (**1f**) erzeugt werden, für die der Schalleindruck mit der Bilddarstellung übereinstimmt.

[0006] Für alle anderen Zuhörer im Zuschauerbereich entsteht für eine solche, innerhalb des Zuhörerbereiches dargestellte, virtuelle Schallquelle eine Divergenz zwischen dem optischen Eindruck und der akustischen Wahrnehmung. Der einige Reihen weiter vor der Bezugs-Zuhörerposition sitzende Zuhörer (**1g**) hört die vor sich auf der Bildwand dargestellte Signalquelle von hinten. Zudem führen die konkaven Wellenfronten und die Überlagerung von Erzeugerfeld und Nutzfeld an seinem Platz zu den beschriebenen Fehlortungen, so dass dieser Bereich zwischen Bildwand und virtueller Quelle nicht nutzbar ist. Für den Zuschauer (**1h**) ist die Schallquelle vorn rechts sichtbar, er hört sie aber genau neben sich. Die Richtungsdifferenz ist für den Zuschauer (**1i**) zwar akzeptabel, er hört aber die Schallquelle viel zu leise. Auch für ihn stimmt die akustische Wahrnehmung nicht mit der Optischen überein, was die Gesamtrezeption völlig unglaubwürdig macht.

[0007] Die Folge ist, dass mit der Wellenfeldsynthese in der Praxis keine virtuelle Quelle, die in einer simultanen Bilddarstellung der Position einer Schallquelle innerhalb des Zuschauerbereiches zugeordnet ist, generiert werden kann, wenn die Vorführung von mehreren Rezipienten gleichzeitig verfolgt werden soll. Deshalb kann die Möglichkeit des Verfahrens, Schallquellen nahe am Zuhörer zu reproduzieren, dabei nur sehr eingeschränkt genutzt werden. Dies ist aber einer der signifikantesten Vorzüge der Wellenfeldsynthese, weil die nahe Darstellung von Schallquellen für die Rezeption einer der wichtigsten emotionalen Faktoren ist.

[0008] Die akustische Wahrnehmung der virtuellen Quelle innerhalb des Zuschauerbereiches unterscheidet sich zwar prinzipiell nicht von der akustischen Wahrnehmung einer realen Schallquelle an diesem Punkt. Das Problem entsteht dadurch, dass die optisch wahrgenommene Signalquelle in der parallelen Bilddarstellung nicht auch an diesem Raumpunkt erzeugt werden kann. Das wird auch zukünftig nicht mit dreidimensionalen Projektionsverfahren möglich sein. Deshalb muss die wahrgenommene Position der Audioquelle in Abhängigkeit von der Zuhörerposition an die Bilddarstellung angepasst werden.

Problemlösung

[0009] Die beschriebenen Probleme können erfindungsgemäß dadurch gelöst werden, dass die wahrgenommene Position der virtuellen Quelle von der physikalischen Position dieser virtuellen Quelle getrennt wird, wobei die daraus resultierenden Verän-

derungen in der auditiven Wahrnehmung bei der Schallfeldsynthese kompensiert werden.

[0010] Dazu muss eine Bezugs-Zuhörerposition im Abhörraum festgelegt werden, auf die sich die Kompensation der Veränderungen in der Wahrnehmung bezieht. Sie soll in der Mitte des Zuhörerbereiches festgelegt werden. Soweit eine virtuelle Quelle bei der Wiedergabe innerhalb der Lautsprecheranordnung erzeugt werden soll, wird die Position dieser virtuellen Quelle auf einer geraden von dieser Bezugs-Zuhörerposition fort hinter die Lautsprecheranordnung verschoben. Das soll im Folgenden anhand der Zeichnungsdarstellungen erläutert werden:

[0011] In [Fig. 1](#) wird die darzustellende virtuelle Schallquelle (**1f**) auf ihrer Verbindungslinie von der Bezugs-Zuhörerposition (**1e**) fort auf eine Position außerhalb der Wiedergabeanordnung (**1j**) verschoben. Dabei wird ihr Pegel so weit angehoben, dass die verschobene virtuelle Quelle an der Bezugs-Zuhörerposition (**1e**) wieder den ursprünglichen Schalldruckpegel erzeugt, den die darzustellende virtuelle Quelle (**1f**) an dieser Stelle erzeugt hätte.

[0012] Diese verschobene, Pegelkorrigierte virtuelle Quelle (**1j**) ist nun für den weiter hinten sitzenden Zuhörer (**1i**) kaum leiser als für den Bezugs-Zuhörer (**1e**), der durch die Pegelkorrektur wieder die ursprüngliche Wahrnehmung hat. Für den Zuhörer (**1g**) sind nun die Ortungsprobleme, die er zwischen erzeugenden Lautsprechern und virtueller Quelle gehabt hätte, gelöst. Er sitzt nicht mehr in dem Bereich zwischen der erzeugenden Lautsprecheranordnung und der virtuellen Quelle. Sein Lautstärkeindruck ist höher als am Bezugs-Zuhörerplatz. Er stimmt mit dem Wahrgenommenen, aus der kurzen Distanz deutlich größeren Bildeindruck überein. Die erste Wellenfront trifft ihn nun aus der Richtung der im Bild dargestellten Quelle, so dass er sie jetzt in dieser Richtung ortet. Auch für den Zuhörer (**1h**) ist die Schallquelle nun annähernd in der richtigen Richtung zu orten, die störende Winkeldifferenz zwischen optischer und akustischer Quelle ist für ihn jetzt auf einen akzeptablen Wert reduziert. Zuhörer (**1i**) nimmt das Schallereignis immer noch leiser wahr, als der Bezugs-Zuhörer. Die Differenz ist aber deutlich geringer geworden, weil sich das Verhältnis der relativen Entfernungen verändert hat. Im gesamten Zuschauerbereich stimmt nun die akustische Wahrnehmung annähernd mit dem optischen Bildeindruck überein. Nur auf den vorderen Plätzen links und rechts werden noch störende Richtungsabweichungen auftreten, wenn die Quelle auf der jeweils anderen Bildwandseite dargestellt wird.

[0013] Auch die Positionen der virtuellen Quellen für die ersten schallstarken Reflexionen dieser Quelle müssen um die gleiche Wegdifferenz auf ihren Verbindungslinien von der Bezugs-Zuhörerposition fort

verschoben und nach den gleichen Regeln im Pegel angehoben werden, wie die direkte Welle, damit sich die Wahrnehmung am Zuhörerplatz nicht verändert.

[0014] Das ist in [Fig. 2](#) für eine Reproduktion mit einer frontal vor dem Zuschauer aufgestellten Lautsprechermatrix nach dem Verfahren zur „Transformation des frühen Schallfeldes“ nach [1] dargestellt. Die wahrgenommene Position der Schallquelle soll in dem Beispiel vor der Lautsprecheranordnung, nahe vor dem Bezugs-Zuhörerplatz erzeugt werden. Dazu wird die physikalisch erzeugte virtuelle Quelle für die direkte Welle in der gegebenen Geometrie des Wiedergaberaumes um den Abstand vom Bezugs-Zuhörer zur erzeugenden Lautsprecheranordnung verschoben. Auch alle virtuellen Schallquellen für die ersten schallstarken Reflexionen dieser Quelle wandern um den gleichen Abstand von der Bezugs-Zuhörerposition fort, wobei ihr Pegel wieder so angehoben wird, dass am Bezugs-Zuhörerplatz wieder der ursprüngliche Schalldruck entsteht.

[0015] Diese differenzierte Berechnung der Pegeldifferenzen für die direkte Welle und die ersten schallstarken Reflexionen gewährleistet dabei, dass am Bezugs-Zuhörerplatz die ursprüngliche Impulsantwort der nahen Schallquelle wiederhergestellt wird. Das unterscheidet sich wesentlich von einer einfachen linearen Pegelkorrektur aller Signalanteile, weil die unterschiedlichen Abstände der Ausgangspositionen der einzelnen virtuellen Quellen zur Bezugs-Zuhörerposition zu sehr unterschiedlichen Faktoren für die einzelnen Pegelkorrekturen führen können. Obwohl der Schalldruck linear mit der Entfernung abnimmt, wird der Pegel für die direkte Wellenfront bei dieser Manipulation immer am stärksten angehoben, weil ihr Ausgangspunkt die geringste Ausgangsentfernung zum Bezugs-Zuhörerplatz hat. Die der Pegelanhebungen aller anderen virtuellen Quellen werden umso geringer, je weiter ihr Ausgangspunkt von der Bezugs-Zuhörerposition entfernt war. Im Beispiel aus der Skizze ergeben sich für eine Quelle in 2 m Abstand vor dem Zuhörer schon Pegeldifferenzen bis zu 8 Dezibel. Diese Differenzen zwischen den Korrekturfaktoren werden umso größer, je näher die darzustellende virtuelle Schallquelle ursprünglich an der Bezugs-Zuhörerposition war. Dadurch wird für eine solche nahe Schallquelle an der Bezugs-Zuhörerposition wieder der hohe Direkt-schallanteil erzeugt, der für ihre Entfernungswahrnehmung von fundamentaler Bedeutung ist.

[0016] Beim herkömmlichen shifting der virtual panning spots vom Zuhörerbereich fort wird mit den Lautsprecherzeilen nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese hingegen das gesamte Signal einheitlich im Pegel angehoben. Dann wird im Zuschauerbereich zwar auch wieder die ursprüngliche Lautstärke erzeugt und der sweet-spot erweitert, eine Quelle nahe am Zuschauer kann aber so nicht generiert werden.

[0017] Soweit auch die Nachhallanteile im gleichen Audiokanal übertragen werden, werden sie mit dem Signal an den Positionen der direkten Quelle und aller schallstarken Reflexionen erzeugt. Nach den beschriebenen Pegelkorrekturen erzeugen diese Signale an der Bezugs-Zuhörerposition wieder den Gesamtschalldruckpegel, den auch die darzustellende virtuelle Schallquelle an dieser Stelle erzeugt hätte. Damit wird auch wieder der ursprüngliche Pegel für die Nachhallanteile erzeugt. Sie treffen nur, wie auch die direkte Welle und ihre und ersten schallstarken Reflexionen, um die Laufzeit der Wegverschiebung später am Zuhörerplatz ein. Die Gesamtwiedergabe wurde mit diesen Manipulationen um einige Millisekunden verzögert, die Impulsantwort und damit die subjektive Wahrnehmung an der festgelegten Zuhörerposition ist aber unverändert geblieben.

[0018] Der wahrgenommene Abstand zu einer Schallquelle ist vor allem dadurch bestimmt, welche Lautstärke ihr Signal am Zuhörerplatz erzeugt. Diese Lautstärke wird subjektiv mit dem erlernten Pegel einer ähnlichen Quelle verglichen, um so die Entfernung der Schallquelle grob zu bestimmen. Bei unterschiedlichem Schalldruck erzeugt eine Schallquelle mit gleicher spektraler Verteilung entsprechend der menschlichen Ohrkurve einen unterschiedlichen Klangeindruck. Bei der Verschiebung der virtuellen Schallquelle wird der Schalldruckpegel auf den ursprünglichen Wert korrigiert. Deshalb erzeugt sie auch von dieser Position aus wieder den ursprünglichen Klangeindruck.

[0019] Bei einer natürlichen Schallquelle verändert sich der Klangeindruck entsprechend dem Frequenzgang der Luftschalldämmung, wenn sie sehr weit vom Zuhörer entfernt ist. Diese Korrektur im Frequenzgang wird zwar auch bei der Wellenfeldsynthese simuliert, um eine weit entfernte Schallquelle darzustellen. Für die beschriebene Verschiebung der virtuellen Quelle vom Bezugs-Zuhörerplatz fort darf diese Korrektur jedoch nicht in die Synthese einfließen, weil dadurch die ursprüngliche Wahrnehmung verändert würde.

[0020] In reflektierender Umgebung wird zusätzlich das Verhältnis von direkter Welle zu ersten schallstarken Reflexionen und Nachhall für die Bewertung des Abstandes zur Quelle herangezogen, so dass in geschlossenen Räumen auch der Abstand zu unbekannten Schallquellen relativ gut beurteilt werden kann. Auch dieses Verhältnis ist nach der Korrektur für die verschobene virtuelle Schallquelle unverändert geblieben.

[0021] Wichtiges Indiz für die Entfernungswahrnehmung ist auch die „initial time-delay gap“ (ITDG), die Lücke in der Impulsantwort zwischen direkter Welle und erster Reflexion, die am Zuhörerplatz eintrifft. Sie ist keine Raumkonstante, sondern abhängig von

den geometrischen Verhältnissen und der jeweiligen Zuhörerposition. Nahe Schallquellen erzeugen auf Grund der Winkelverhältnisse dabei eine größere Lücke als weit entfernte. Deshalb halten wir ein Schallereignis, in dessen Impulsantwort nach der direkten Welle mehr als ca. 10 ms vergehen, ehe die erste Reflexion eintrifft, für eine nahe Schallquelle. Ein wesentlicher Grund dafür, dass herkömmliche Lautsprecherboxen nahe Schallquellen nicht darstellen können ist, dass ihre ungerichtete Abstrahlung im Grundtonbereich immer schon erste Rückwürfe innerhalb dieser Lücke verursacht. Bei den Lautsprecheranordnungen nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese arbeiten benachbarte Lautsprechermembranen im unteren Frequenzbereich weitgehend synchron, so dass sie hier als Teil einer größeren Membranfläche betrachtet werden können. Entsprechend hoch ist die Richtwirkung auch im Grundtonbereich. Deshalb werden die ungewollten frühen Reflexionen im Wiedergaberaum weitgehend vermieden. Wenn die Lautsprecheranordnung auf eine horizontale Zeile reduziert ist, ergibt sich diese Richtwirkung allerdings nur in der Ebene. Die Zylinderwellen der horizontalen Zeilen werden am Fußboden und an der Raumdecke des Wiedergaberaumes reflektiert. Während der Fußbodenbereich meist bedämpft ist, werden die Raumdecken üblicherweise schallhart ausgeführt. In großen Sälen mit entsprechender Deckenhöhe entsteht die erste Reflexion mit ausreichender Verzögerung und ist dann weniger störend. Im Heimbereich fällt sie aber auf allen Plätzen in den Bereich der Initiallücke, wodurch der Eindruck der nahen Quelle nicht mehr erzeugt werden kann.

[0022] Hier wird es notwendig sein, die Reduktion auf die Horizontale Zeile aufzugeben. Bei einer zweidimensionalen Lautsprecheranordnung, wie sie in [1] beschrieben ist, entsteht das Problem nicht. Dann wird für die Bezugs-Zuhörerposition auch von der verschobenen virtuellen Schallquelle wieder die ITDG der nahen Schallquelle erzeugt. Sogar die Veränderung ihrer Dauer in Abhängigkeit von der Zuschauerposition entspricht annähernd den realen Verhältnissen.

[0023] Nur bei sehr nahen Schallquellen werden auch Interaurale Pegeldifferenzen zur Bewertung der Entfernung herangezogen. [3] Wenn die Schallwellen nur ein Ohr erreichen, muss die Schallquelle sehr dicht daneben sein. Einem Zuhörer auf diese Weise „ins Ohr zu flüstern“ wird mit Lautsprecheranordnungen nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese nicht möglich sein. Die anderen Kriterien lassen sich aber auch dann erfüllen, wenn die Position der wahrgenommenen Schallquelle von der physikalischen Position der virtuellen Schallquelle getrennt ist.

[0024] Wie wett die ursprüngliche Position der darzustellenden Quelle vom Zuhörer fort verschoben werden muss, richtet sich nach den Gegebenheiten

des Wiedergaberaumes. Deshalb können die beschriebenen Signalmanipulationen auch nur auf der Wiedergabeseite erfolgen. Sie soll etwa so groß sein, wie der Abstand der Bezugs-Zuhörerposition zu den Lautsprechern, damit jede Quelle immer hinter der Lautsprecheranordnung, nahe der Position der im Bild dargestellten Schallquelle, erzeugt wird.

[0025] Die errechnete Kompensation der Pegeldifferenz für die weiter entfernte virtuelle Quelle erhöht nicht die von den Lautsprechern aufzubringende Schalleistung. Die Verschiebung könnte deshalb auch beliebig groß werden. Bei sehr weiten Verschiebungen ist die Wahrnehmung dann auf allen Zuhörerplätzen gleich, weil innerhalb der Zuhörerebene annähernd parallele Wellenfronten erzeugt werden und kaum noch relative Pegelunterschiede zwischen den Zuschauerplätzen entstehen. Sinkt die Verschiebung auf Null, so entstehen wieder die ursprünglichen Verhältnisse mit den aufgezeigten Problemen. Dann bewirkt eine Veränderung der Position des Zuhörers für ihn wieder die gleichen akustischen Veränderungen, wie im realen Ausgangsschallfeld. Wird die Entfernung der virtuellen Quelle bei Kompensation der Wahrnehmungskriterien an die Bezugs-Zuhörerposition angenähert, so reichen schon geringe Bewegungen im Zuhörerbereich, um die Wahrnehmung entsprechend größerer Bewegungen im Darstellungsbe- reich zu erzeugen. Deshalb kann man den Grad der Verschiebung der virtuellen Quelle von ihrer ursprünglichen physikalischen Position fort in Bezug auf ihre ursprüngliche Entfernung zum Bezugs-Zuhörerplatz als Transformationsfaktor betrachten, mit dem bei der Wiedergabe die Größenverhältnisse zwischen der Bilddarstellung und dem Wiedergaberaum angepasst werden können. Dazu muss mit dem Signal eine Information über die Größe ihres Darstellungsbereiches übertragen werden.

[0026] Jedoch auch ohne diese Information ergibt die Verschiebung um die Entfernung zwischen der, dem Bezugs-Zuhörer nahegelegenen, virtuellen Schallquelle und der Lautsprecherfront eine gute Übereinstimmung zwischen dem akustischen Eindruck und der gekoppelten Bilddarstellung.

[0027] Nachhallanteile dürfen im Audiosignal nur in so weit enthalten sein, oder sie dürfen bei der Synthese nur in dem Maße erzeugt werden, wie es den Verhältnissen im Aufnahmerraum in der darzustellenden Entfernung von der primären Schallquelle entspricht. Wenn sie bei einer getrennten Übertragung von Form und Inhalt erst auf der Wiedergabeseite erzeugt werden, richtet sich ihr Signalanteil nach den Verhältnissen, die von der ursprünglichen Position der Schallquelle vorgegeben wurden.

[0028] Auch der Wiedergaberaum darf keinen größeren Nachhallanteil erzeugen. Er muss für die Darstellung von Schallereignissen nahe beim Zuhörer

stark bedämpft werden, damit der hohe Direktschallanteil eines solchen Signals nicht von den Raumreflexionen überlagert wird. Die horizontalen Lautsprecherzeilen erzeugen Zylinderwellen, wenn die virtuelle Quelle weit hinter der Lautsprecheranordnung positioniert ist. Daraus ergibt sich das Problem, dass die Wellenfront an einer reflektierenden Raumdecke die schon beschriebene unerwünschte Zusatzreflexion erzeugt. Das verhindert, dass der hohe Direktschallanteil einer nahen Quelle erzeugt werden kann. Mit einer zweidimensionalen Lautsprecheranordnung entsteht dieses Problem nur für die Darstellung sehr naher Schallquellen.

[0029] Durch die längeren Laufzeiten der verschobenen virtuellen Schallquellen zum Zuhörer entsteht eine Zeitverschiebung des betreffenden Audiosignals zu allen anderen Audiosignalen der Übertragung. Sie muss kompensiert werden, indem alle virtuellen Quellen der Schallfeldsynthese um den gleichen Weg vom Zuhörer fort verschoben werden. Alternativ wäre auch einfache Verzögerung der übrigen Gesamtwiedergabe möglich, wenn die Bildwiedergabe entsprechend synchron gehalten wird. Dann entsteht für diese Quellen aber nicht der Vorteil des vergrößerten sweet-spot, wie ihn die Quellenverschiebung vom Zuhörer fort zur Folge hat. Jedoch ist diese Option dann interessant, wenn eine Reproduktion auf Basis der Impulsantwort des Aufnahmerraumes mit einer Modellbasierten Lösung für die Darstellung der nahen Schallquellen kombiniert werden soll.

[0030] Die Richtungswahrnehmung für das Signal wird aber in jedem Fall von der Richtung der ersten Wellenfront, also von der Position der verschobenen virtuellen Quelle für die direkte Wellenfront, bestimmt. Die Stimmt für den Bezugs-Zuhörerplatz auch nach der Verschiebung mit der ursprünglichen Richtung, also auch mit der zugehörigen Bilddarstellung überein. Aber auch auf den anderen Zuschauerplätzen entstehen nur noch geringe Winkeldifferenzen zwischen dem optischen Eindruck und der akustischen Wahrnehmung.

[0031] Die Korrektur der Entfernungswahrnehmung passt die akustische Wahrnehmung an die optisch wahrgenommene, scheinbare Entfernung der Bilddarstellung an. Die beschriebenen Probleme, die mit der Darstellung virtueller Schallquellen im Zuschauerbereich einhergehen, sind damit gelöst.

Anwendungsmöglichkeiten

[0032] Nach dem beschriebenen Verfahren kann eine Schallquelle auch dann innerhalb des Zuschauerbereiches positioniert werden, wenn ihre Richtung und Entfernung einer simultanen Bilddarstellung zugeordnet ist und die Reproduktion von unterschiedlichen Plätzen in einem Zuschauerbereich aus betrachtet werden soll.

[0033] Das verbessert die Gesamtrezeption der Darbietung erheblich, weil die Koinzidenz mehrerer Sinneswahrnehmungen zu einer deutlich überzeugenderen Gesamtrezeption führt. Das gilt insbesondere, wenn die vorwiegend rationale Verarbeitung der Bildinformation mit der emotionalen Wirkung einer nahen Schallquelle gekoppelt ist.

[0034] Wegen des hohen Aufwandes und der Notwendigkeit, das Audiomaterial für das Verfahren der Wellenfeldsynthese aufzuarbeiten, scheint die Anwendung des beschriebenen Verfahrens vorerst im Bereich der öffentlichen Vorführung sinnvoll. Wenn es mit einer dreidimensionalen Reproduktion des Ausgangsschallfeldes nach dem Verfahren nach [1] gekoppelt wird, ist es auch im Heimbereich anwendbar.

Quellenverzeichnis:

- [1] Oellers, Helmut: Patentschrift DE 10 2005 001 395 Verfahren und Vorrichtung zur Transformation des frühen Schallfeldes
 [2] Röder, Thomas; Sporer, Thomas: Offenlegungsschrift DE 103 28 335 A1 Wellenfeldsynthesevorrichtung und Verfahren zum Treiben eines Arrays von Lautsprechern
 [3] Brungart and Rabinowitz, 1999: Auditory localization of nearby sources, I, II and III, J. Acoust. Soc. Am., Vol 106, No. 3, 4, 6

Bezugszeichenliste

Fig. 1: Verschiebung der virtuellen Schallquelle von der Zuhörerposition fort

- 1a** WFS-Lautsprecheranordnung
- 1b** Zuschauerbereich
- 1c** Bildwand
- 1d** Optisch dargestellte Schallquelle
- 1e** Bezugs-Zuhörerposition
- 1f** Ursprüngliche Position der darzustellenden virtuellen Schallquelle
- 1g** Zuschauer vor der ursprünglichen virtuellen Schallquelle
- 1h** Zuschauer neben der ursprünglichen virtuellen Schallquelle
- 1i** Zuschauer weit entfernt von der ursprünglichen virtuellen Schallquelle
- 1j** Um den Abstand von Bezugs-Zuhörerplatz zur erzeugenden Lautsprecheranordnung auf einer Gerade verschobene, im Pegel korrigierte, virtuelle Schallquelle für die direkte Wellenfront

Fig. 2: Reproduktion einer nahen Schallquelle mit einer frontal vor dem Zuschauer aufgestellten Lautsprechermatrix nach dem Verfahren zur „Transformation des frühen Schallfeldes“ nach [1]

- 2a** Wiedergaberaum
- 2b** Zweidimensionales WFS-Lautsprecherfeld
- 2c** Bezugs-Zuhörerposition
- 2d** Innerhalb des Zuschauerbereiches, einen Meter vor der Bezugs-Zuhörerposition darzustellende Schallquelle
- 2e** Um den Abstand von Bezugs-Zuhörerplatz zur erzeugenden Lautsprecheranordnung auf einer Gerade verschobene, im Pegel korrigierte, virtuelle Quelle für die direkte Wellenfront
- 2f** Um den Abstand von Bezugs-Zuhörerplatz zur erzeugenden Lautsprecheranordnung verschobene, differenziert im Pegel korrigierte, virtuelle Quellen für die ersten schallstarken Reflexionen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese, **dadurch gekennzeichnet**, das im Zentrum des Wiedergabebereiches eine Bezugs-Zuhörerposition festgelegt wird, die einen Punkt auf allen Geraden bildet, die auch durch alle virtuellen Schallquellen für alle direkten Wellen und ihre ersten schallstarken Reflexionen verlaufen und auf denen alle diese virtuellen Schallquellen um den gleichen Betrag verschoben werden, wobei jede dieser virtuellen Schallquellen entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausgangsentfernung zur Bezugs-Zuhörerposition differenziert in ihrem Pegel so korrigiert wird, dass sie an der Bezugs-Zuhörerposition wieder ihren jeweiligen ursprünglichen Schalldruckpegel erzeugt, wodurch an der Bezugs-Zuhörerposition wieder die ursprüngliche Wahrnehmung erzeugt wird und für alle anderen Plätze im Zuschauerbereich die Divergenz zwischen akustischer Wahrnehmung und optischem Eindruck reduziert wird, wenn die Schallquelle in einer simultanen Bilddarstellung sichtbar ist.

2. Verfahren zur Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, das der Betrag der Verschiebung von der, der Bezugs-Zuhörerposition nahegelegensten virtuellen Schallquelle bestimmt wird und das deren Entfernung zu ihrer erzeugenden Lautsprecheranordnung im Wiedergaberaum den Betrag der Verschiebung für alle virtuellen Schallquellen der Schallfeldsynthese festlegt.

3. Verfahren zur Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, das diese Verschiebung der

Positionen auch nur für einzelne virtuelle Schallquellen und die zugehörigen virtuellen Schallquellen für die ersten schallstarken Reflexionen vorgenommen werden kann, wenn für alle anderen Virtuellen Quellen dieser Schallfeldsynthese und auch für die zugehörige Bilddarstellung die Wiedergabe um die entsprechende Laufzeitdifferenz verzögert wird.

4. Verfahren zur Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verschiebung der virtuellen Schallquellen von der Bezugs-Zuhörerposition fort bewirkt, dass im Wiedergaberaum für eine adäquate akustische Veränderung ein größerer Weg zurückgelegt werden muss, als im Aufnahmeraum und dass eine Verschiebung der virtuellen Quellen zur Bezugs-Zuhörerposition hin bewirkt, dass für eine adäquate akustische Veränderung ein kleinerer Weg zurückgelegt werden muss, als im Aufnahmeraum, weshalb der Grad und die Richtung der Verschiebung als Transformationsfaktor zur Anpassung der Größenverhältnisse genutzt werden kann.

5. Verfahren zur Verschiebung virtueller Schallquellen bei der Audiowiedergabe nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Signal auch eine Information über die Größe des darzustellenden Aufnahmebereiches, der auch in einer zugehörigen Bildübertragung sichtbar sein kann, übermittelt wird, damit aus dieser Information und der Größe des jeweiligen Wiedergabebereiches bei der Schallfeldsynthese ein Transformationsfaktor bestimmt werden kann, mit dem die Größenverhältnisse von Darstellungs- und Wiedergabebereich angepasst werden können.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

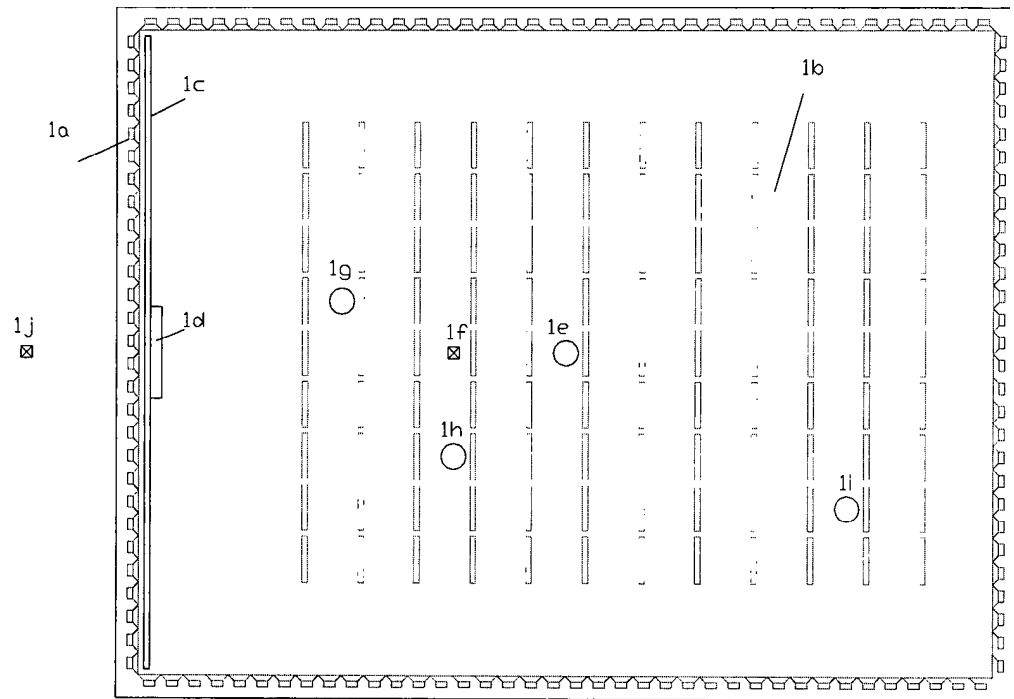


Fig. 1

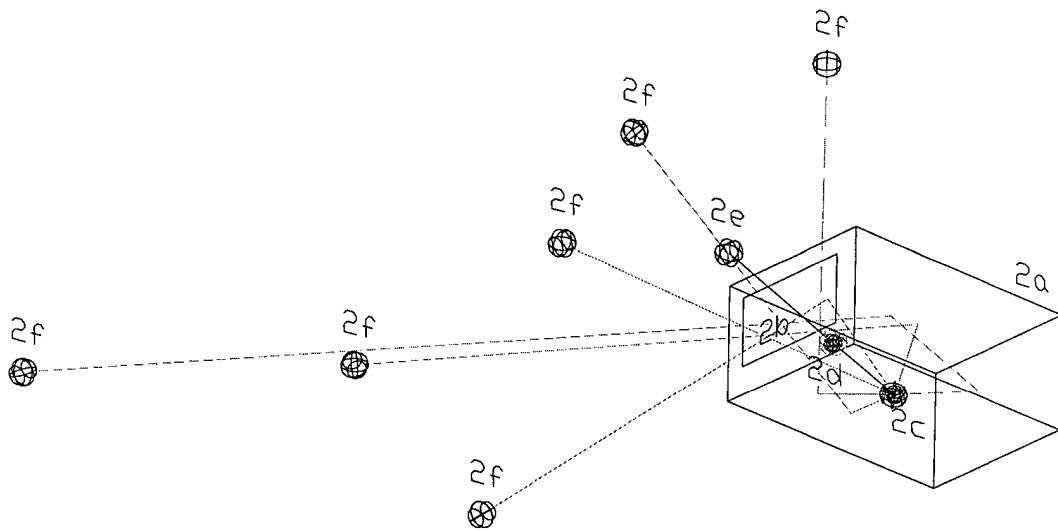


Fig. 2