



(10) **DE 10 2009 006 762 A1** 2010.08.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 006 762.0**

(22) Anmeldetag: **30.01.2009**

(43) Offenlegungstag: **05.08.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04S 3/00** (2006.01)  
**H04R 5/02** (2006.01)

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

(72) Erfinder:  
**Antrag auf Nichtnennung**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Reduktion von Aliasingeffekten**

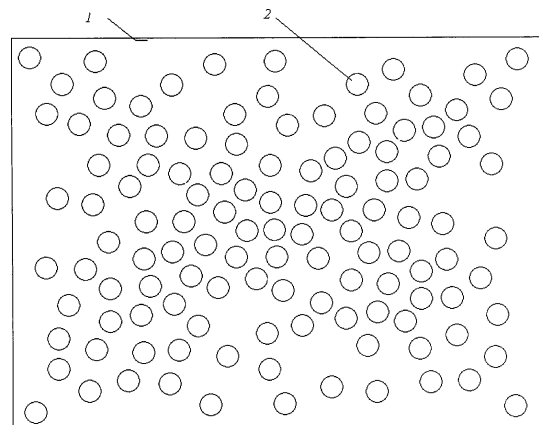
(57) Zusammenfassung: Mit dem Verfahren der Wellenfeldsynthese (WFS) werden nach dem Huygenschen Prinzip aus einer großen Zahl von Elementarwellen neue Wellenfronten synthetisiert, deren Ausgangspunkt eine virtuelle Schallquelle ist.

Der zugrundeliegende mathematische Ansatz ist ein Integral, jedoch ist die Zahl der Elementarschallquellen in der Praxis begrenzt. Dadurch entstehen interferenzbedingte Auslöschungen der Einzelsignale, die als "spatial aliasing" bezeichnet werden.

Damit diese Effekte erst oberhalb des hörbaren Frequenzbereiches entstehen, wären die Einzelstrahler in einem Abstand von weniger als 2 Zentimetern anzuordnen, in der Praxis sollte der Abstand nicht unter 5 cm liegen.

Das führt dazu, dass WFS-Lautsprecheranordnungen bisher meist auf eine einzelne horizontale Lautsprecherreihe reduziert werden. Dabei nimmt man die Reduktion der Wiedergabe auf die horizontale Ebene des Zuhörers in Kauf. Selbst wenn Aliasingeffekte in gewissem Maße toleriert werden, wird sonst die Anzahl der Einzelstrahler in einem zweidimensionalen Lautsprecherfeld sehr hoch, weil einerseits der Abstand der Einzelquellen zueinander nicht vergrößert werden kann, andererseits aber der Darstellungsbereich auf die Ausdehnung des Feldes begrenzt ist.

Erfindungsgemäß wird aufgezeigt, wie sich WFS-Aliasingeffekte bei einer gegebenen Zahl von Einzelstrahlern deutlich reduzieren lassen, wenn diese Einzelstrahler nicht wie üblich regelmäßig und in konstantem Abstand zueinander angeordnet werden.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung beschreibt eine Möglichkeit, mit einer unregelmäßigen Anordnung von Einzelstrahlern in einem zweidimensionalen Lautsprecherfeld nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese die Zahl der Einzelstrahler so weit zu reduzieren, dass eine Anwendung des Verfahrens für eine dreidimensionale Rekonstruktion des Schallfeldes mit vertretbarem Aufwand möglich wird.

**[0002]** So kann die Reduktion übliche des Verfahrens auf die horizontale Ebene des Zuhörers aufgegeben werden.

**Stand der Technik**

**[0003]** Mit dem raschen Fortschritt im Bereich der Digitalen Audiotechnik ist der Wunsch nach deutlich verbesserter Audioübertragung, möglichst nicht mehr unterscheidbar vom Originalschallereignis, entstanden.

**[0004]** Bei den konventionellen, kanalgebundenen Verfahren entstehen dabei prinzipielle Probleme. Im Aufnahmeraum entsteht ein komplexes Schallfeld aus direkter Welle, ersten Reflexionen und Nachhall. Während die Einfallsrichtung des Nachhalls beim Zuhörer von untergeordneter Bedeutung ist, vermittelt uns die zeitliche und räumliche Staffelung von direkter Welle und ersten schallstarken Reflexionen die die Grundlage für unseren räumlichen Eindruck.

**[0005]** Die direkte Welle kann als Phantomschallquelle zwischen den Lautsprechern zufriedenstellend reproduziert werden. Die ersten schallstarken Reflexionen haben ihren Ausgangspunkt aber in Spiegelschallquellen, die überall im Aufnahmeraum verteilt sind.

**[0006]** Diese komplexe räumliche Verteilung kann mit konventionellen Verfahren nicht übertragen werden. Einziger praktikabler Weg ist offensichtlich eine Synthese aus reinem Audiosignal und Aufnahmeraumigenschaften auf der Wiedergabeseite. Diesen Weg geht das Verfahren der Wellenfeldsynthese. [1]

**Aufgabenstellung**

**[0007]** Es soll eine Vorrichtung angegeben werden, mit der eine Lautsprecheranordnung nach dem Verfahren der Wellenfeldsynthese mit reduziertem Aufwand aufgebaut werden kann. Dazu ist die Zahl der notwendigen Einzelstrahler gegenüber den herkömmlichen regelmäßigen und mit konstantem Strahler.

**[0008]** Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Vorrichtungsanspruchs 1 gelöst.

**[0009]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 3 angegeben.

**[0010]** Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die übliche regelmäßige Anordnung der Einzelstrahler von Wellenfeldsyntheseanordnungen Interferenzen der Einzelstrahler hervorruft, deren Nullstellen relativ konstanten Abstand haben. Ihre räumliche Position ist abhängig vom Abstand der Einzelstrahler und dem Winkel von virtueller Quelle und Zuhörer bezüglich der Strahleranordnung.

**Problemlösung**

**[0011]** Das Aliasingproblem kann reduziert werden, wenn die regelmäßige Anordnung der Einzelstrahler in konstantem Abstand zueinander aufgegeben wird.

**[0012]** Der Aliasingeffekt ist vergleichbar mit der Interferenz, die in alten Westernfilmen zu der scheinbaren Rückwärtsbewegung der Wagenräder führt. Es ist leicht nachvollziehbar dass dieser Effekt nicht auftreten würde wenn die Speichen in ungleichmäßigen Winkeln montiert wären.

**[0013]** Werden die WFS-Lautsprecher unregelmäßig verteilt, so werden auch die entstehenden Nullstellen im Schallfeld nicht mehr in so ausgeprägt sein. Es bleibt ein welliger Frequenzgang der, abhängig vom durchschnittlichen Abstand der Einzelstrahler im oberen Frequenzbereich abfällt.

**[0014]** Dieser Abfall kann durch gegenläufige Höhenanhebung, die mit zunehmenden Winkeln von Quelle und Zuhörer bezüglich der Strahleranordnung stärker wird, in gewissem Masse ausgeglichen werden.

**[0015]** Dabei müssen dem System die Räumlichen Koordinaten jedes einzelnen Strahlers auch in der unregelmäßigen Anordnung sehr exakt bekannt sein.

**[0016]** Im modellbasierten Ansatz lassen sich dann die Laufzeiten von der virtuellen Schallquelle zum jeweiligen Lautsprecher aus der Geometrie berechnen. Weitaus schwieriger ist die Anpassung an die unregelmäßigen Abstände im Impulsantwortbasierten Ansatz. Hier muss die Impulsantwort im Renderer für jeden Einzellautsprecher entsprechend seiner Position interpoliert werden, was zu einem ganz erheblichen zusätzlichen Rechenaufwand führt.

**[0017]** Die Entwicklung im Bereich der Wellenfeldsynthese verläuft aber zunehmend in die Richtung, dass die direkte Welle und ihre ersten Reflexionen nach dem modellbasierten Ansatz erzeugt werden. Nur für den Nachhall wird das Signal dann noch in die Impulsantwort gefaltet.

**[0018]** Der Nachhall gibt uns wichtige Informationen

zur Beschaffenheit des Aufnahmegebietes, er bestimmt über seine Feinstruktur das Timbre, jedoch aus welcher Richtung er den Zuhörer trifft ist von untergeordneter Bedeutung. Auch im Aufnahmegebiet trifft er uns allen Richtungen, unmöglich jeder einzelnen der Reflexionen einen Ursprung zuzuordnen.

[0019] Deshalb ist die räumliche Verfälschung, die eine fehlende Korrektur seiner Impulsantwort für jeden einzelnen Lautsprecher entsprechend seiner Raumposition für den Nachhallanteil in solch einem kombinierten Ansatz hervorrufen würde, durchaus tolerierbar.

[0020] Andererseits brächte ein zufällig bestimmter Abstand zwischen den Einzelstrahlern mit durchschnittlich dem Doppelten Wert des ursprünglichen Abstandes in der Regelmäßigen Anordnung eine Reduktion des Gesamtaufwandes auf die Hälfte in der horizontalen Lautsprecherreihe.

[0021] Für das zweidimensionale Lautsprecherfeld würde sich der Aufwand aber auf ein Viertel reduzieren, wodurch die übliche Reduktion des Verfahrens auf die horizontale Ebene mit vertretbarem Aufwand aufgegeben werden könnte.

[0022] Eine weitere deutliche Reduzierung des Gesamtaufwandes für ein solches zweidimensionales Lautsprecherfeld wird möglich wenn zusätzlich der durchschnittliche Abstand der Einzelstrahler zum Rand der Strahlerfläche hin vergrößert wird. Besonders günstig ist dabei eine dichtere Bestückung entlang der diagonalen des Lautsprecherfeldes, während nahe der horizontalen und vertikalen Achse des Lautsprecherfeldes ein sehr großer Abstand der Einzelstrahler kaum zu hörbaren Nachteilen führt, solange ihr Einzelpegel entsprechend der zugeordneten Fläche korrigiert wird.

#### Ausführungsbeispiel

[0023] Für eine weitestgehend Aliasingfreie Wiedergabe bis in den Obertonbereich sollte in einer regelmäßigen Lautsprecheranordnung ein Abstand der Einzelstrahler von 2 Zoll = 5,05 cm nicht überschritten werden.

[0024] Ein zweidimensionales Lautsprecherfeld für den Heimkinobereich mit einem Seitenverhältnis von 16:9 hätte dann eine bei einer Breite von 2,48 Meter und 1,37 Meter Höhe einen ausreichend großen Darstellungsbereich 1296 Einzellautsprecher.

[0025] Bei durchschnittlich doppeltem Abstand in der unregelmäßigen Anordnung reduziert sich diese Zahl auf ein viertel, also 324 Einzelstrahler.

[0026] Wird zusätzlich noch der Abstand im Bereich der horizontalen und vertikalen Achse vergrößert, ist

nochmals eine Reduktion auf die halbe Lautsprecherzahl ohne deutlich wahrnehmbare Nachteile möglich.

[0027] Viele heute schon praktisch aufgebaute WFS-Lautsprecherreihen haben deutlich mehr Einzelstrahler. Die beschriebene Anordnung hätte aufgrund ihrer großen Strahlerfläche eine exzellente Anpassung an die Schallkennimpedanz der Luft, weshalb nur sehr geringe Membranauslenkungen notwendig würden. Damit wären auch preiswertere Einzelstrahler einsetzbar.

[0028] Deshalb wird mit der beschriebenen Anordnung eine dreidimensionale Wellenfeldsynthese auch im Heimbereich mit vertretbarem Aufwand möglich.

#### Patentansprüche

1. Lautsprecheranordnung nach dem Prinzip der Wellenfeldsynthese, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einzelstrahler in unregelmäßigen Distanzen voneinander montiert sind, wobei ihre exakten Raumpositionen im System eingegeben werden um daraus im modellbasierten Ansatz der Wellenfeldsynthese die korrekte Verzögerung der Audiosignale für die Erzeugung virtueller Schallquellen zu berechnen.

2. Lautsprecheranordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Pegel der unregelmäßig angeordneten Einzelstrahler so korrigiert werden, dass sie entsprechend ihres zugeordneten Anteils an der Gesamtstrahlerfläche einen äquivalenten Schalldruck erzeugen.

3. Lautsprecheranordnung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelstrahler nahe der Diagonalen eines zweidimensionalen Lautsprecherfeldes durchschnittlich in einem geringeren Abstand zueinander montiert werden.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

- 1 Zweidimensionales WFS- Lautsprecherfeld
- 2 Unregelmäßig verteilte Einzellautsprecher

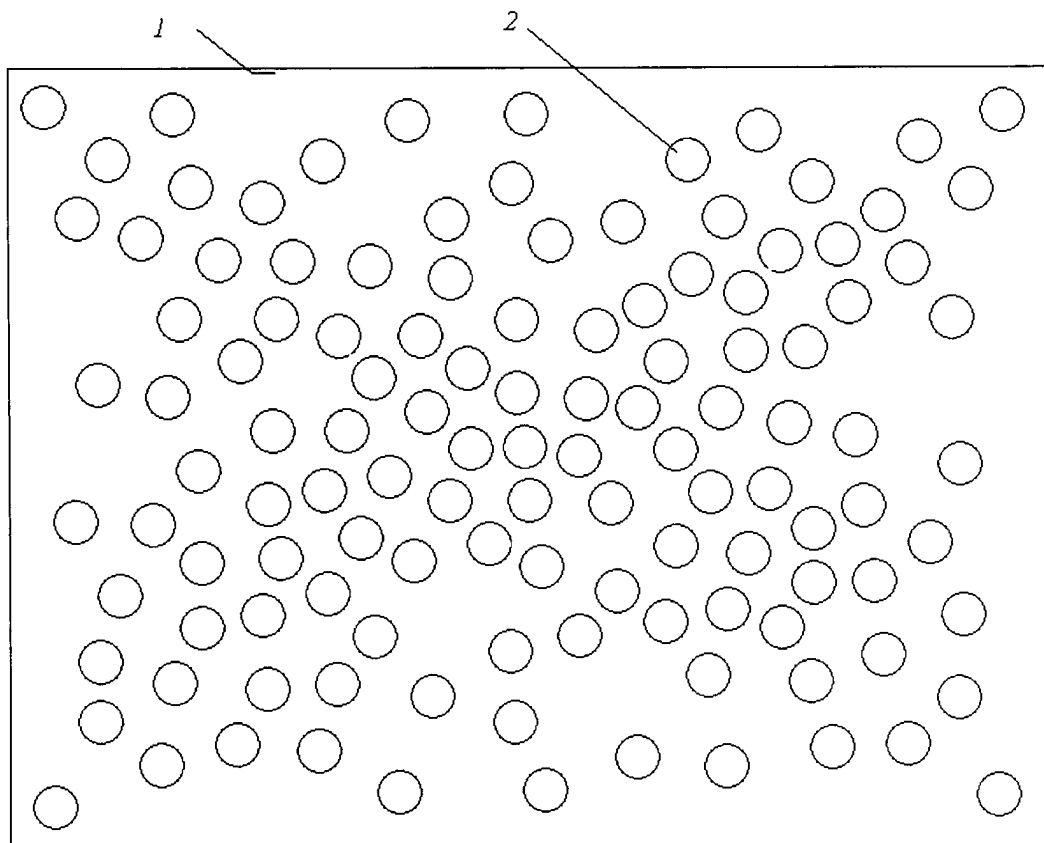


Fig.1