



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.05.2001 Patentblatt 2001/21

(51) Int Cl.7: **G10L 21/02**

(21) Anmeldenummer: **00125116.4**

(22) Anmeldetag: **17.11.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Kroschel, Kristian, Prof. Dr.**
76337 Waldbronn (DE)
• **Riedlinger, Rainer, Dr.**
76149 Karlsruhe (DE)
• **Ihle, Marc, Dr.**
89077 Ulm (DE)

(30) Priorität: **17.11.1999 DE 19955156**

(71) Anmelder: **UNIVERSITÄT KARLSRUHE**
76128 Karlsruhe (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte Bartels und Partner**
Lange Strasse 51
70174 Stuttgart (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Unterdrückung eines Störsignals im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels**

(57) 2. Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels, das neben dem Störsignal ein Nutzsignal einer Nutzsignalquelle empfängt, durch Generierung einer Störsignalreferenz (21) und Spektralsubtraktion (20), dadurch gekennzeichnet, daß das

Schallwandlermittel einen Druckgradientenaufnehmer (1) mit einem Empfindlichkeitsminimum, insbesondere einer Nullstelle der Empfindlichkeit, für einen vorgebbaren Raumwinkel aufweist und daß das Empfindlichkeitsminimum auf die Nutzsignalquelle ausgerichtet wird sowie eine zugehörige Vorrichtung.

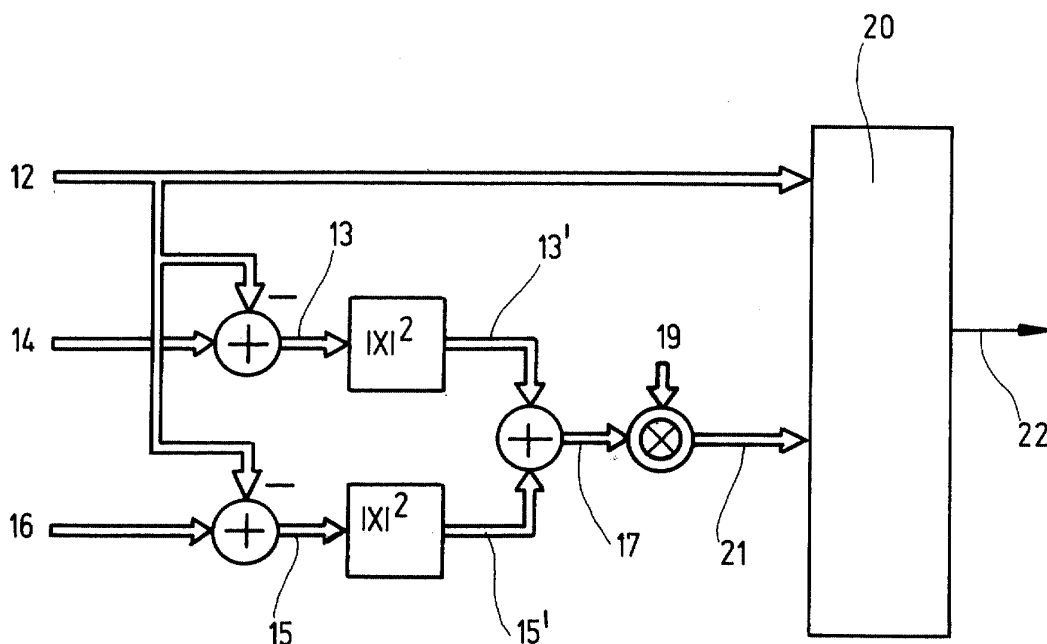


Fig.2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine zugehörige Vorrichtung zum Durchführen dieses Verfahrens gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

[0002] Bekannte Verfahren zur Unterdrückung eines Störsignalanteils basieren zum Teil auf der Verwendung von sogenannten Richtmikrofonen. Dabei werden Schallwellen, die unter einem bestimmten Winkel eintreffen, bevorzugt in elektrische Signale umgewandelt. Bei sogenannten Interferenz-Mikrofonen wird Schall an mindestens zwei Orten entlang einer Mikrofon-Rohrachse abgegriffen, durch akustische Laufzeitglieder verzögert und anschließend voneinander subtrahiert. Nachteilig bei der Verwendung von Richtmikrofonen ist die feste axiale Vorzugsrichtung, die große Bauform und die negative Beeinflussung der Richtwirkung bei Einbau des Richtmikrofons in eine Oberfläche bzw. Grenzfläche.

[0003] Alternative Verfahren verwenden die sogenannte Spektralsubtraktion, bei der das Eingangssignal eines Mikrofons zunächst in Frequenzgruppen zerlegt und durch die zeitliche Abfolge der Beträge und Phasen der Frequenzgruppen repräsentiert wird. Mit einer Schätzung des Betrages des Störsignalanteils in jeder Frequenzgruppe, was der Bildung einer sogenannten Störreferenz entspricht, wird anschließend der Betrag jeder Frequenzgruppe des Gesamtsignals in Abhängigkeit vom Signal-/Rauschabstand innerhalb der Frequenzgruppe reduziert.

[0004] In K. Kroschel: Enhancement of Speech Signals Using Microphone Arrays, Digital Signal Processing, Proceedings of the International Conference, Florenz, Italien, 4.-6. September 1991, Seiten 223-228 ist ein Überblick über die bekannten Verfahren gegeben.

[0005] Die US 5,610,991 zeigt eine Abwandlung des bekannten Zelinski-Verfahrens, bei der die Zusammenführung der Mikrofonssignale eines Arrays zur Berechnung einer Störleistungsdichte durch die Berechnung der Summe aller Kreuzleistungsdichten erfolgt. Damit die Eingangssignale bei Störsignalen nicht zu stark korreliert sind, ist ein Abstand zwischen den Mikrofonen notwendig, der mehr als die halbe Wellenlänge der Eingangssignale beträgt. Die berechnete Störleistungsdichte ist zudem abhängig vom Nutz- bzw. Sprachsignal. Dieses muß aus diesem Grund in einem nachfolgenden Schritt so weit wie möglich herausgerechnet werden.

[0006] Die DE 42 43 831 A1 zeigt ein Verfahren zur Laufzeitschätzung an gestörten Sprachkanälen durch Berechnung der Kreuzkorrelation bzw. Kreuzleistungsdichte. Eine Geräuschreduktion durch Spektralsubtraktion wird lediglich in der Vorverarbeitung der beiden Eingangssignale eingesetzt, damit eine verbesserte Phasenschätzung erfolgen kann.

[0007] Die DE 43 07 688 A1 zeigt ein Verfahren zur Geräuschreduktion für gestörte Sprachkanäle, bei dem als Vorverarbeitung in jedem Eingangssignal eine einfache Spektralsubtraktion durchgeführt wird unter Verwendung eines Pausendetektors für die Schätzung der Störreferenz.

[0008] Die vorverarbeiteten Eingangssignale werden addiert, um eine konstruktive Überlagerung der Nutzsingale zu erzielen. Dies ist nur dann sinnvoll, wenn die Mikrofone relativ weit voneinander entfernt sind und möglichst viele Mikrofone verwendet werden. Dabei bilden sich unerwünschte Nebenkeulen der Empfindlichkeit aus.

[0009] Die DE 44 45 983 C2 zeigt ein Verfahren zur Rauschunterdrückung und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Dabei wird eine Spektralsubtraktion durchgeführt, wobei die Störreferenz durch eine Minimumsuche innerhalb der Leistungsdichte des Eingangssignals berechnet wird.

[0010] Die DE 196 50 410 C1 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Stör- und Echowunderbrückung. Dabei wird die Leistungsdichte des Differenzsignals direkt als Störreferenz verwendet. Hierzu müssen die Mikrofonabstände relativ zur Wellenlänge der Eingangssignale groß gewählt werden, jedenfalls größer als die halbe Wellenlänge der Eingangssignale. Die Richtcharakteristik des Geräuschreduktionssystems weist dabei starke Nebenkeulen auf, die nachteilig sind, da sie zu Klangverfärbungen und Verfälschungen des Ausgangssignals führen können.

[0011] Die Signalanalyse kann beispielsweise mit Filterbänken, Wavelets oder mittels einer schnellen Fouriertransformation (FFT) erfolgen. Im Falle einer Wavelet-Transformation kann die Aufteilung des Eingangssignals in Frequenzgruppen entfallen. Die mittels Wavelet-Transformation generierten Teilsignale des Gesamtsignals werden nach dem nachfolgend als erfindungsgemäß beschriebenen Verfahren in Abhängigkeit vom Signal-/Rauschabstand der Teilsignale reduziert. Wavelet-Transformationen sind in Combes, J. M.; Grossman, A.; Tchamitchian, Ph.: Wavelets: Time-Frequency Methods and Phase Space, Berlin, Heidelberg, Springer-Verl. 1989 und in Daubechies, I.: Ten Lectures on Wavelets, SIAM, 1992 beschrieben.

[0012] In Steven F. Boll: Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction, in: IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing 27 (1979) Nr. 2, S. 113-120 wird der Störanteil geschätzt, indem der Betrag des gestörten Eingangssignals zu Zeiten festgehalten wird, zu denen kein Nutzsingal im Eingangssingal enthalten ist. Diese Schätzung wird bis zur nächsten Nutzsingalpause als Störreferenz beibehalten. Daher steht nicht zu jeder Zeit eine aktuelle Störreferenz zur Verfügung. Entsprechend kann das Verfahren nicht auf schnell veränderliche Störszenarien reagieren.

[0013] In Lange, K.: Praktischer Einsatz der Geräuschreduktion mit Hilfe von Mikrofonarrays, Karlsru-

he, Universität Fridericiana, Diss., 1997 wird eine Störreferenz ermittelt, indem die Signale zweier Mikrofone über einen Entzerrer aneinander angeglichen und anschließend subtrahiert werden. Sofern das Nutzsignal kohärent in den beiden Mikrofonsignalen enthalten ist, läßt sich bei optimaler Entzerrung erreichen, daß das Signal nach der Subtraktion kein Nutzsignal enthält. Mit diesem Signal läßt sich anschließend die gesuchte Störreferenz schätzen. Derartige Verfahren besitzen eine Richtcharakteristik mit starken Nebenkeulen, die Empfindlichkeiten aufweisen, die in der Größenordnung der Hauptkeule liegen. Gerichtete Störsignalanteile aus einigen Raumrichtungen werden damit ungenügend gedämpft.

[0014] In Kuczynski, P. u. a.: Adaptive Mehrkanalgeräuschunterdrückung und Sprecherortung bei gestörten Sprachsignalen innerhalb geschlossener Räume, in: Deutsche Telekom, U.R.S.I., Kleinheubach, 1994, S. 369-378 (Kleinheubacher Berichte Band 38) wird eine mehrkanalige Spektralsubtraktion beschrieben, bei der direkt eine Kohärenzmessung zwischen den Mikrofonsignalen genutzt wird, um die Dämpfungsfunktion zu berechnen, mit der das Betragsspektrum des gestörten Eingangssignals reduziert wird. Dabei muß der Abstand zwischen den Mikrofonen groß gegenüber der akustischen Wellenlänge gewählt werden, da das mehrkanalige Spektralsubtraktionsverfahren unkorrelierte Störsignale in den Mikrofonsignalen verlangt. Bei Mikrofonabständen unterhalb der minimalen akustischen Wellenlänge sind die Störsignalanteile korreliert, so daß sich bei Subtraktion der Signale keine verwertbare Störreferenz ergibt.

[0015] Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik überwinden. Insbesondere soll das Verfahren eine zuverlässige und hochwirksame Unterdrückung des Störsignalanteils gewährleisten und die Richtwirkung in einen beliebigen Raumwinkel ausgerichtet werden können. Die zugehörige Vorrichtung soll insbesondere hinsichtlich der Schallwandlermittel kompakt sein und diese sollen in eine Ober- oder Grenzfläche im wesentlichen bündig einbaubar sein.

[0016] Das Problem ist durch das im Anspruch 1 bestimmte Verfahren und die im Anspruch 9 bestimmte Vorrichtung gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den Unteransprüchen bestimmt.

[0017] Das Problem ist gelöst durch ein Verfahren zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels, das neben dem Störsignal ein Nutzsignal einer Nutzsignalquelle empfängt, durch Generierung einer Störsignalreferenz und Spektralsubtraktion, dadurch gekennzeichnet, daß das Schallwandlermittel einen Druckgradientenaufnehmer mit einem Empfindlichkeitsminimum, insbesondere eine Nullstelle der Empfindlichkeit, für einen vorgebbaren

Raumwinkel aufweist und daß das Empfindlichkeitsminimum auf die Nutzsignalquelle ausgerichtet wird.

[0018] Der Druckgradientenaufnehmer kann dabei durch einen Druckgradientenempfänger, ein Array aus Druckgradientenempfängern bestehend aus mindestens zwei Druckgradientenempfängern, deren Empfindlichkeitsminimum jeweils in Richtung des Nutzsignals ausgerichtet ist, oder durch ein Array aus Druckempfängern, die eng benachbart zueinander angeordnet sind, bereitgestellt werden. Durch Subtraktion der vorzugsweise entzerrten Mikrofonsignale wird der Druckgradient in Richtung der Verbindungslinie der beiden Druckempfänger aufgenommen. Durch die Subtraktion der Signale der beiden Druckempfänger ist ein Druckgradientenempfänger nachgebildet. Ein typisches Beispiel für einen Druckempfänger ist ein Mikrofon mit einer Kugelcharakteristik, d. h. ohne Richtwirkung. Das Signal des Druckgradientenaufnehmers, insbesondere das durch Subtraktion der vorzugsweise entzerrten Mikrofonsignale gewonnene Signal, weist einen kleinen Raumwinkelbereich mit einem Empfindlichkeitsminimum auf, der so gelegt werden kann, daß das Nutzsignal abgeschwächt wird, insbesondere vollständig unterdrückt wird. Werden zwei Mikrofonpaare verwendet, deren Verbindungslinien beispielsweise einen Winkel mit einem Vielfachen von 30°, insbesondere 90° oder 120°, einschließen und die in einer Fläche, insbesondere einer Ober- oder Grenzfläche liegen, die eben oder beliebig gekrümmt sein kann, so kann der Raumwinkelbereich derart eingeschränkt werden, daß nur noch in einer einzigen Raumrichtung ein Empfindlichkeitsminimum auftritt. Dabei ist es möglich, eines der Mikrofone gemeinsam beiden Mikrofonpaaren zuzuordnen, so daß insgesamt minimal nur drei Mikrofone erforderlich sind. Die Ober- oder Grenzfläche kann beispielsweise durch das Armaturenbrett eines Kraftfahrzeuges gebildet sein. In vorteilhafter Weise bleibt die Richtcharakteristik des Druckgradientenaufnehmers auch bei bündigem Einbau der Mikrofone in die Ober- oder Grenzfläche erhalten.

[0019] Im Gegensatz zum Stand der Technik werden beim erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise keine statistischen Leistungsdichtedaten zur Störsignalunterdrückung verwendet, sondern determinierte Signale aus dem Zeit- und/oder Frequenzbereich. Die berechnete Störreferenz enthält vorzugsweise von vornherein keinen Nutzsignal- oder Sprachanteil. Zur Ausblendung des Nutzsignalanteils wird eine destruktive Überlagerung der Ausgangssignale der Arraymikrofone durchgeführt. Weiterhin vorteilhaft ist, daß beim erfindungsgemäßen Verfahren Differenzsignale zweier sehr nahe benachbarter Mikrofone, die insbesondere einen Abstand von weniger als der halben Wellenlänge der Eingangssignale aufweisen, oder Signale von Gradientenmikrofonen verwendet werden und durch Addition der Leistungsdichten eine Störreferenz gebildet wird, die zu einer Richtwirkung des Gesamtsystems führt, die weitgehend unabhängig von der Frequenz ist und keine Ne-

benkeulen aufweist.

[0020] Der Druckgradientenaufnehmer liefert ein Referenzsignal, bei dem Störsignale aus allen Raumrichtungen mit Ausnahme der Richtung zur Nutzsignalquelle aufgezeichnet werden. Mit diesem Referenzsignal steht zu jeder Zeit eine genaue Störreferenz zur Verfügung, mit der die Spektralsubtraktion durchgeführt wird. Bei Verwendung eines Arrays aus Druckempfängern, kann einer der Druckempfänger für die Wandlung des aus dem Störsignalanteil und dem Nutzsignalanteil zusammengesetzten Gesamtsignals verwendet werden. An die Stelle der akustischen Verzögerung der Eingangssignale zur Phasenanpassung, wie sie bei den Richtmikrofonen verwendet wird, tritt eine Verzögerung durch elektronische Verzögerungsmittel, insbesondere Speicher. Dadurch ist die Vorzugsrichtung des Druckgradientenaufnehmers durch die Verarbeitung der elektrischen Signale einstellbar, ohne daß der Druckgradientenaufnehmer in seiner räumlichen Lage verändert werden muß. Dadurch kann die erfindungsgemäße Vorrichtung in eine Oberfläche integriert werden und die Richtwirkung in beliebiger Raumrichtung ausgebildet werden. Vorteilhaft ist weiterhin, daß die Richtwirkung mit zunehmendem Winkelabstand von der Vorzugsrichtung monoton abnimmt und insbesondere keine Nebenmaxima aufweist. Sind mehrere Nutzsignale vorhanden, so kann mit nur einer Mikrofonanordnung und durch mehrfache Auswertung der Signale jede Nutzsignalrichtung getrennt ausgewertet werden. Je nach Anwendung können die Ausgangssignale anschließend getrennt verwertet oder zusammengeführt werden.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung sind beispielsweise in Freisprecheinrichtungen, Hörhilfen und Raumüberwachungseinrichtungen anwendbar. Bei einer Freisprecheinrichtung in einem Konferenzraum, bei der mehrere Nutzsignalquellen in Form von um einen Tisch herum sitzenden Personen vorhanden sind, läßt sich das Nutzsignal jeder Person getrennt von den weiteren Nutzsignalen aufnehmen, wenn lediglich eine erfindungsgemäße Vorrichtung in der Mitte des Tisches platziert ist.

[0022] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden nicht die statistischen Eigenschaften der Eingangssignale zur Trennung von Nutz- und Störsignalanteilen, sondern die Einfallsrichtung der auf den Druckgradientenaufnehmer eintreffenden Wellenfronten ausgenutzt. Dies führt insbesondere dann zu besonders guten Ergebnissen, wenn die Nutzsignalquelle im wesentlichen als eine Punktquelle angenommen werden kann und die Störsignale aus einer oder mehreren Schallquellen diffus eintreffen. Auch ein gerichtetes Störsignal läßt sich unterdrücken, sofern sich die Einfallsrichtung des Störsignals von der des Nutzsignals unterscheidet.

[0023] Für die Spektralsubtraktion wird ein mehrkanaliges Verfahren angewendet, da einkanalige Verfahren nicht auf schnell veränderliche Störszenarien reagieren können. Bei der Zusammenführung der Signale des Druckgradientenaufnehmers werden die Betrags-

quadrate der in den Frequenzbereich transformierten Signale addiert, beispielsweise werden bei der Zusammenführung der Signale von Mikrofonen zunächst die Differenzen der in den Frequenzbereich transformierten Signale der Mikrofonpaare berechnet und anschließend die Betragsquadrate der Differenzen addiert. Dadurch entsteht eine Richtwirkung der Gesamtanordnung, die in Richtung der Nutzsignalquelle ein Empfindlichkeitsminimum, insbesondere eine Nullstelle, aufweist und abweichend von dieser vorzugsweise eine monoton steigende Empfindlichkeit aufweist.

[0024] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen jeweils ein Ausführungsbeispiel für das Verfahren und die Vorrichtung im einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

Fig. 1 zeigt in perspektivischer Ansicht einen erfindungsgemäßen Druckgradientenaufnehmer,
 Fig. 2 zeigt ein Abarbeitungsschema für das erfindungsgemäße Verfahren, und
 Fig. 3A bis 6C zeigen die Richtcharakteristik des Druckgradientenaufnehmers für vier verschiedene Ausrichtungen des Empfindlichkeitsminimums.

[0025] Die Fig. 1 zeigt in perspektivischer Ansicht einen erfindungsgemäßen Druckgradientenaufnehmer 1 mit einem ersten Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten Mikrofonen 2, 4 und einem zweiten Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten Mikrofonen 2, 6, wobei ein Mikrofon 2 gemeinsam für das erste und zweite Mikrofonpaar eingesetzt ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel liegen alle Mikrofone 2, 4, 6 in einer von der Verbindungslinie 3 des ersten Mikrofonpaares 2, 4 und der Verbindungslinie 5 des zweiten Mikrofonpaares 2, 6 aufgespannten ebenen Fläche. Die Verbindungslinien 3, 5 schließen einen Winkel 7 von beispielsweise 90° ein. Die Mikrofone 2, 4, 6 liegen bündig in der von den Verbindungslinien 3, 5 aufgespannten Ebene. Der Abstand 8 der Mikrofone 2, 4 des ersten Mikrofonpaares stimmt im dargestellten Ausführungsbeispiel mit dem Abstand 9 der Mikrofone 2, 6 des zweiten Mikrofonpaares überein. Die Abstände 8, 9 sind kleiner als die halbe Wellenlänge der maximalen aufzunehmenden Frequenz. Andernfalls bildet sich eine in der Regel unerwünschte frequenzabhängige Richtcharakteristik mit Nebenkeulen aus. Mit abnehmenden Abständen 8, 9 werden auch die Differenzsignale des ersten und zweiten Mikrofonpaares geringer. Vorteilhafte Werte für die Abstände 8, 9 liegen bei der Aufnahme von Hörschall in Luft zwischen 0,1

und 10 cm, insbesondere zwischen 0,5 und 2,0 cm.

[0026] Aufgrund der Abstände 8, 9 wird durch die Subtraktion der Druckgradient des einfallenden Signals in Richtung der Achse gebildet, in der die beiden Mikrofone liegen. Das dargestellte Array aus Druckempfängern ist daher in der Lage, den Gradienten der einfallenden Schallwellen in zwei zueinander orthogonalen Raumrichtungen (X, Y) zu bestimmen. Die Verbindungslinie 3 des ersten Mikrofonpaares bestimmt dabei die Y-Richtung, und die Verbindungslinie 5 des zweiten Mikrofonpaares bestimmt die X-Richtung.

[0027] Werden die Signale der Mikrofone 2, 4, 6 nicht durch Laufzeitglieder und/oder Entzerrer verzögert, ergibt sich für das zweite Mikrofonpaar mit den Mikrofonen 2, 6 die in der Fig. 3A dargestellte Richtcharakteristik. Aufgrund des Einbaus der Mikrofone 2, 4, 6 in eine ebene Grenzfläche, ist die Richtwirkung auf den Winkelbereich $0 \leq \vartheta \leq \pi/2$ begrenzt. In entsprechender Weise ergibt sich für das erste Mikrofonpaar mit den Mikrofonen 2, 4 die in der Fig. 3B dargestellte Richtcharakteristik. Durch Kombination entsteht die Gesamt-Richtcharakteristik des Druckgradientenaufnehmers mit einem Empfindlichkeitsminimum, insbesondere einer Nullstelle, in der mit der X- und Y-Achse einen rechten Winkel einschließenden Z-Achse gemäß Fig. 3C. Die in der Fig. 3C dargestellte Gesamt-Richtcharakteristik ist insbesondere unabhängig von einer in der X-/Y-Ebene aufgespannten Grenzfläche liegenden Einfallrichtung, die mit der Y-Achse den Winkel φ einschließt, sondern lediglich abhängig von dem Winkel ϑ , der zwischen einer Einfallrichtung und der Z-Achse eingeschlossen ist.

[0028] Werden die Signale der Mikrofone 4, 6 durch Laufzeitglieder oder Entzerrer um geeignete Zeiten verzögert, neigt sich die Richtcharakteristik, so daß die Raumrichtung minimaler Empfindlichkeit in Richtung der Nutzsignalquelle einstellbar ist. Dies ist in den Fig. 4A bis C für die Werte $\vartheta = 0,2$ und $\varphi = \pi/12$ dargestellt. Der Winkel φ bezeichnet den von der senkrechten Projektion der Einfallrichtung in die X-/Y-Ebene und der Y-Achse eingeschlossenen Winkel. In entsprechender Weise zeigen die Fig. 5A bis C die Einstellung des Empfindlichkeitsminimums auf $\vartheta = 0,5$, $\varphi = \pi/12$ und die Fig. 6A bis C auf $\vartheta = \pi/2$ und $\varphi = \pi/12$. Die Fig. 3C, 4C, 5C und 6C zeigen auch, daß die Empfindlichkeit mit zunehmender Winkelentfernung vom Empfindlichkeitsminimum monoton zunimmt. Sofern der Abstand 8, 9 zwischen den Mikrofonen 2, 4, 6 deutlich unter der halben minimalen Wellenlänge der zu verarbeitenden Schallwellen liegt, beispielsweise um den Faktor 0,2, führt dies zu einer weitgehenden Unabhängigkeit der Richtwirkung von der Frequenz.

[0029] Die Fig. 2 zeigt ein Abarbeitungsschema für das erfindungsgemäße Verfahren. Dabei wird das vorzugsweise entzerrte Signal 12 des ersten Mikrofons 2 unmittelbar der Spektralsubtraktion 20 zugeführt. Für die Berechnung der Störreferenz 21 wird zunächst die Differenz 13 aus dem vorzugsweise entzerrten Signal 14 des zweiten Mikrofons 4 des ersten Mikrofonpaares

abzüglich des Signal 12 des ersten Mikrofons 2 gebildet.

[0030] Entsprechend wird die Differenz 15 aus dem vorzugsweise entzerrten Signal 16 des zweiten Mikrofons 6 des zweiten Mikrofonpaares und dem Signal 12 des ersten Mikrofons 2 gebildet. Von diesen Differenzsignalen 13, 15 werden jeweils die Betragsquadrate 13', 15' der Spektren gebildet und zum Summensignal 17 addiert.

[0031] Durch die Entzerrung werden die Signale bezüglich ihrem Phasengang aneinander angeglichen. Dabei ist es möglich, auf die Entzerrung von höchstens einem der Signale zu verzichten. Vorzugsweise wird das Signal 12 nicht entzerrt. Es kann aber alternativ auch das Signal 14 oder das Signal 16 nicht entzerrt verwendet werden. Soll der Frequenzgang der Mikrofone oder der Raumakustik zusätzlich ausgeglichen werden, so sind alle Eingangssignale zu entzerren.

[0032] Zum Ausgleich der Frequenzabhängigkeit des Summensignals 17 erfolgt abschließend eine Frequenzgang-Korrektur durch Multiplikation mit dem Quadrat eines Filtervektors 19, der eine Funktion der Schallgeschwindigkeit, des Mikrofonabstands, der Abtastfrequenz und des Frequenzindex ist. Aufgrund der Multiplikation wird die Störreferenz 21 frequenzunabhängig. Beispielsweise werden durch den Filtervektor tiefe Frequenzen stärker angehoben als hohe Frequenzen. Durch einen vorgeschalteten Integrierer oder RC-Tiefpass können die Mikrofonensignale vorentzerrt sein. Dies ist dann bei der Wahl des Filtervektors zu berücksichtigen, um die Frequenzabhängigkeit der Differenzsignale 13, 15 und das daraus insbesondere bei Verwendung von Analog/Digital-Wandlern mit geringer Bitauflösung hervorgerufene Quantisierungsrauschen in den unteren Frequenzen, zu reduzieren oder gar zu eliminieren.

[0033] Aus dem Ausgangssignal 12 des ersten Mikrofons 2 und der Störreferenz 21 wird durch die Spektralsubtraktion 20 das Nutzsignal 22 ermittelt.

[0034] Die Entzerrung der Mikrofonensignale ist insbesondere beim Einsatz von Mikrofonen der unteren Qualitätsklasse empfehlenswert, da diese in der Regel große Toleranzen im Amplituden- und Phasengang aufweisen. Auch bei unbefriedigender Raumakustik oder akustisch ungünstiger Position der Mikrofone kann eine Entzerrung vorteilhaft sein. Durch den Entzerrer und/oder ein vorzugsweise einstellbares Laufzeitglied ist das Empfindlichkeitsminimum des Druckgradientenaufnehmers zudem auf die Position der Nutzsignalquelle ausrichtbar, ohne daß die räumliche Lage der Mikrofone verändert werden muß.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlermittels, das neben dem Störsignal ein Nutzsignal einer Nutzsignalquelle empfängt, durch Generierung einer Störsignalreferenz (21) und Spektralsubtraktion

- (20), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schallwandlerrmittel einen Druckgradientenaufnehmer (1) mit einem Empfindlichkeitsminimum für einen vorgebbaren Raumwinkel aufweist, daß das Empfindlichkeitsminimum auf die Nutzsignalquelle ausgerichtet wird und daß die Störsignalreferenz (21) aus einem Ausgangssignal des Druckgradientenaufnehmers (1) generiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Empfindlichkeitsminimum eine Nullstelle der Empfindlichkeit ist.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckgradientenaufnehmer (1) ein erstes Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten ersten Mikrofonen (2, 4) aufweist, und der Druckgradient in Richtung einer Verbindungslinie (3) des ersten Mikrofonpaares durch Subtraktion der vorzugsweise entzerrten Ausgangssignale der beiden Mikrofone (2, 4) gebildet wird.
 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckgradientenaufnehmer (1) ein zweites Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten zweiten Mikrofonen (2, 6) aufweist, wobei eine Verbindungslinie (5) des zweiten Mikrofonpaares die Verbindungslinie (3) des ersten Mikrofonpaares schneidet, insbesondere die Verbindungslinien (3, 5) einen rechten Winkel (7) einschließen.
 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mikrofon (2) gemeinsam für das erste und das zweite Mikrofonpaar eingesetzt wird und daß alle Mikrofone (2, 4, 6) in einer Fläche, insbesondere einer Grenzfläche, liegen.
 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Betragsquadrate (13', 15') der in den Frequenzbereich transformierten Ausgangssignale der beiden Mikrofonpaare addiert werden.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtung des Empfindlichkeitsminimums bei unveränderter Stellung des Druckgradientenaufnehmers durch vorzugsweise elektrische Laufzeitglieder und/oder Entzerrmittel erfolgt.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend vom Empfindlichkeitsminimum mit zunehmendem Abstand vom Raumwinkel die Empfindlichkeit des Druckgradientenaufnehmers (1) monoton ansteigt.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß für die Spektralsubtraktion (20) ein mehrkanaliges Verfahren eingesetzt wird.
 10. Vorrichtung zur Unterdrückung eines Störsignalanteils im Ausgangssignal eines Schallwandlerrmittels, mit dem neben dem Störsignal ein Nutzsignal einer Nutzsignalquelle empfangbar ist, mit Mitteln zur Generierung einer Störsignalreferenz (21) und Mitteln zur Spektralsubtraktion (20), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schallwandlerrmittel einen Druckgradientenaufnehmer (1) mit einem Empfindlichkeitsminimum, insbesondere einer Nullstelle der Empfindlichkeit, für einen vorgebbaren Raumwinkel aufweist, daß das Empfindlichkeitsminimum auf die Nutzsignalquelle ausrichtbar ist und daß die Störsignalreferenz (21) aus einem Ausgangssignal des Druckgradientenaufnehmers (1) generierbar ist.
 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckgradientenaufnehmer (1) ein erstes Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten ersten Mikrofonen (2, 4) aufweist, und der Druckgradient in Richtung einer Verbindungslinie (3) des ersten Mikrofonpaares durch Subtraktion der vorzugsweise entzerrten Ausgangssignale der beiden Mikrofone (2, 4) bildbar ist.
 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckgradientenaufnehmer (1) ein zweites Mikrofonpaar mit zwei voneinander beabstandet angeordneten zweiten Mikrofonen (2, 6) aufweist, wobei eine Verbindungslinie (5) des zweiten Mikrofonpaares die Verbindungslinie (3) des ersten Mikrofonpaares schneidet, insbesondere die Verbindungslinien (3, 5) einen rechten Winkel (7) einschließen.
 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mikrofon (2) gemeinsam für das erste und das zweite Mikrofonpaar einsetzbar ist und daß alle Mikrofone (2, 4, 6) in einer Ebene liegen.
 14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckgradientenaufnehmer (1) Mittel zum Addieren der Betragsquadrate der in den Frequenzbereich transformierten Ausgangssignale der beiden Mikrofonpaare aufweist.
 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (8, 9) zwischen den Mikrofonen des ersten und zweiten Mikrofonpaares kleiner als die halbe Wellenlänge der höchsten auftretenden Frequenz in den

erfaßbaren Stör- und Nutzsignalen ist, und vorzugsweise bei Hörschall in Luft zwischen 0,1 und 10 cm, insbesondere zwischen 0,5 und 2,0 cm, beträgt.

5

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrofone (2, 4, 6) im wesentlichen bündig mit einer sie umgebenden Fläche, insbesondere einer Grenz- oder Oberfläche, abschließen.

10

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Empfindlichkeitsminimum bei unveränderter Stellung des Druckgradientenaufnehmers (1) durch vorzugsweise elektrische Laufzeitglieder und/oder Entzerrmittel ausrichtbar ist.

15

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Mittel für die Spektralsubtraktion (20) ein mehrkanaliges Verfahren zur Spektralsubtraktion (20) einsetzbar ist.

20

25

30

35

40

45

50

55

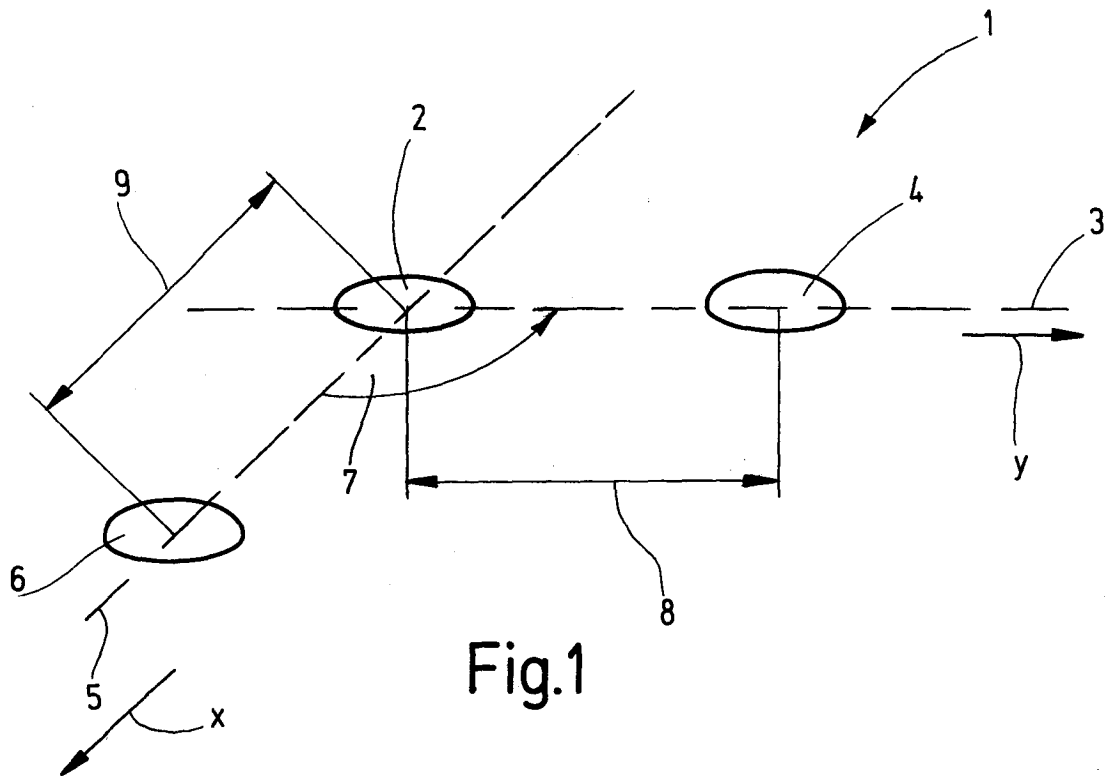


Fig.1

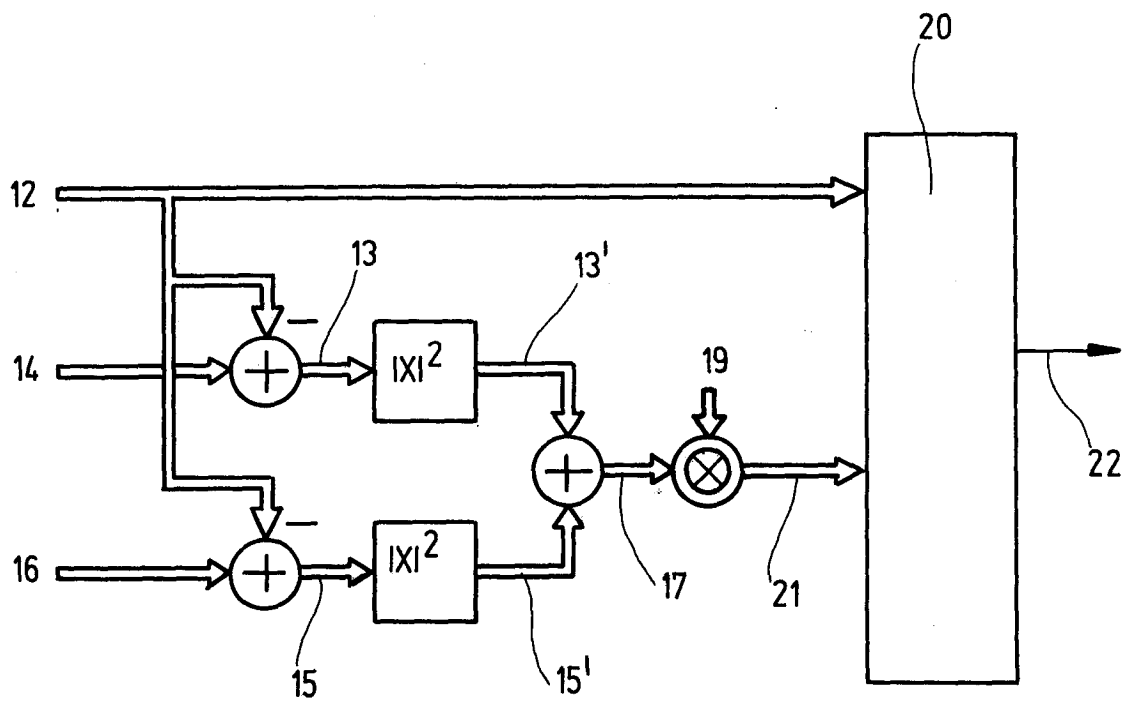


Fig.2

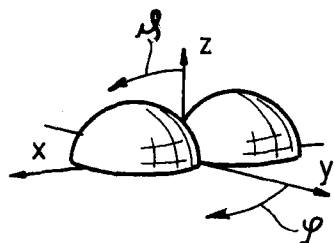
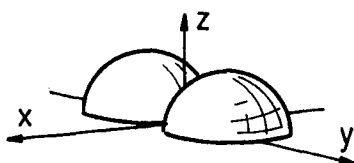
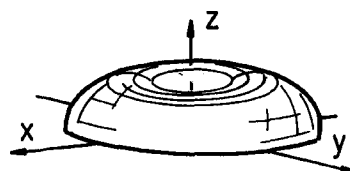


Fig. 3A.



3B



3C

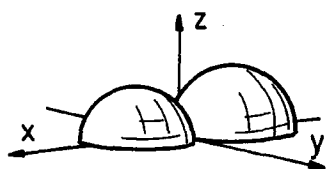
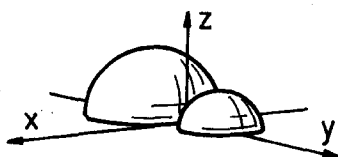
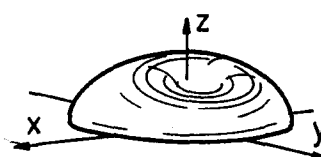


Fig. 4A.



4B



4C

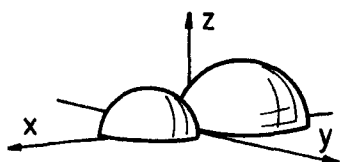
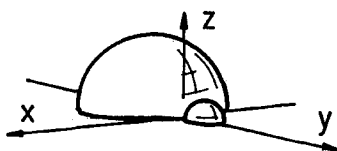
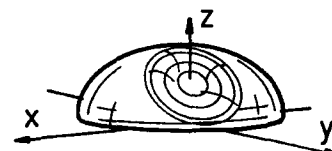


Fig. 5A



5B



5C

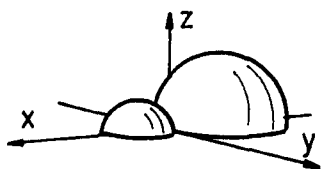
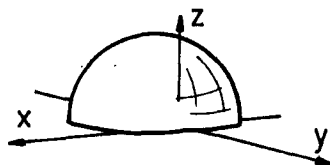
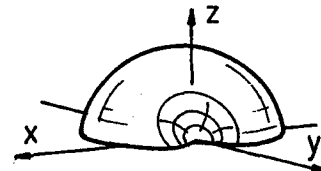


Fig. 6A



6B



6C