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

(11) **EP 1 771 034 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.04.2007 Patentblatt 2007/14

(51) Int Cl.:
H04R 3/00 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **06120987.0**

(22) Anmeldetag: **20.09.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **30.09.2005 DE 102005047047**

(71) Anmelder: **Siemens Audiologische Technik GmbH**
91058 Erlangen (DE)

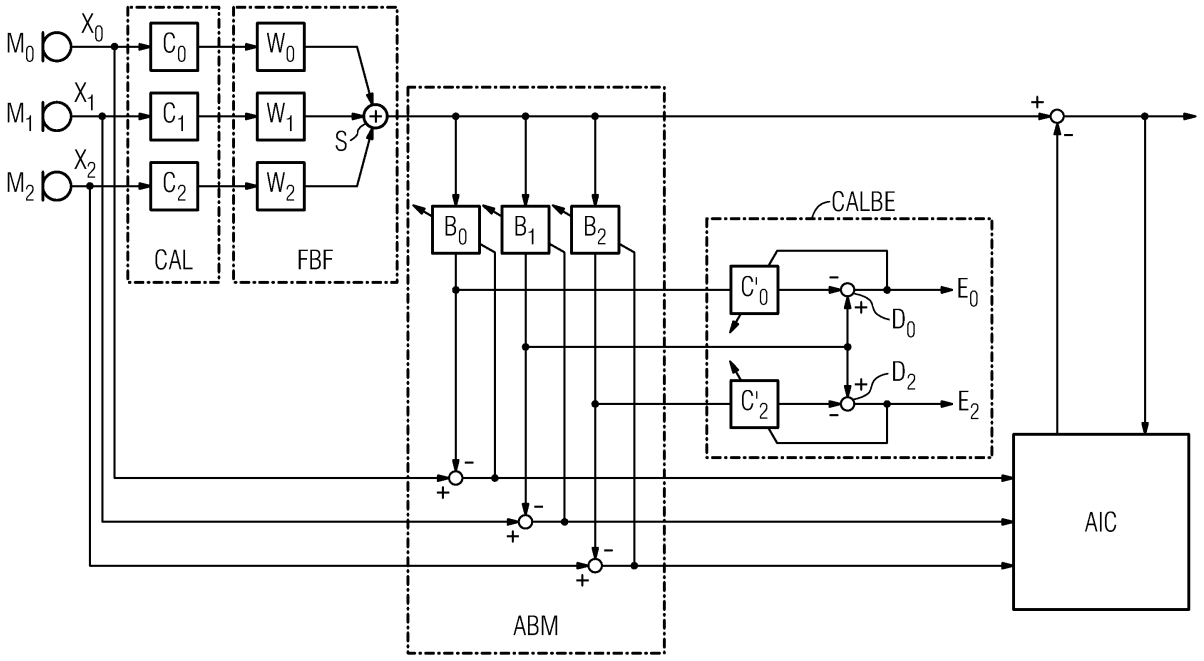
(72) Erfinder:
- **Kellermann, Walter, Prof.**
90542 Eckental (DE)
- **Oak, Parijat Ashok**
400004 Mumbay (IN)

(74) Vertreter: **Berg, Peter**
Siemens AG
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

(54) **Mikrofonkalibrierung bei einem RGSC-Beamformer**

(57) Die Berechnung von den Mikrofonen (M_0, M_1, M_2) eines RGSC-Beamformers nachgeschalteten Kalibrationsfiltern (C_0, C_1, C_2) soll verbessert und automatisiert werden. Hierzu wird die Verwendung einer adaptiven Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE) vorgeschlagen, mittels derer aus den Ausgangssignalen adaptiver Blockierfilter (B_0, B_1, B_2) Kalibrationsfilter (C_0, C_1, C_2) derart berechnet werden, dass die Leistung jeweils eines von einem Referenzsignal subtrahierten und mittels eines Kalibrationsfilters (C_0', C_2') gefilterten Ausgangssignals (E_0, E_2) eines Blockierfilters (B_0, B_2) minimiert wird. Die den Mikrofonen (M_0, M_1, M_2) nachgeschalteten Kalibrationsfilter (C_0, C_1, C_2) werden nachfolgen durch die so ermittelten Kalibrationsfilter (C_0', C_2') ersetzt.

FIG 2



EP 1 771 034 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung sowie ein Verfahren zur Mikrofonkalibrierung bei einem RGSC-Beamformer.

[0002] Aus Wolfgang Herbordt: "Combination of Robust Adaptive Beamforming with Acoustic Echo Cancellation for Acoustic Human/Machine Interface", Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg, eingereicht am 03.12.2003, Seite 99 ff. ist ein RGSC-Beamformer bekannt.

[0003] Aus der US 2005/0047611 A1 sind ein System sowie ein Verfahren zur Aufnahme von Audiosignalen bekannt, bei denen unter Verwendung eines Mikrofon-arrays ein Störsignal gegenüber einem Nutzsignal reduziert wird. Hierzu sind die Mikrofone des Mikrofon-arrays mittels einer Filtereinheit und einem Summationsglied zu einem Beamformer verschaltet. Bei dem genannten Dokument wird die Filtereinheit des Beamformers in nicht überlicher Weise auch als Kalibrationsfilter bezeichnet.

[0004] Allgemein sind bei einem Beamformer mehrere Mikrofone zur Bildung eines Mikrofonsystems, das eine Richtcharakteristik aufweist, miteinander verschaltet. Dadurch werden akustische Eingangssignale in das Mikrofonsystem in Abhängigkeit ihrer Einfallsrichtung in das Mikrofonsystem unterschiedlich stark gedämpft. Bei einem Beamformer müssen die Signalübertragungsfunktionen der verwendeten Mikrofone sehr genau aufeinander abgestimmt sein, um eine gewünschte Richtwirkung erzielen zu können. Abweichungen der Signalübertragungsfunktionen durch Toleranzen oder Alterungseffekte verschlechtern die Funktion des Beamformers erheblich, so dass gegebenenfalls eine gewünschte Störgeräuschunterdrückung mit dem verwendeten Mikrofonsystem nicht mehr in ausreichendem Maße gewährleistet werden kann. Dies gilt insbesondere für Beamformer mit Mikrofon-arrays mit sehr kleiner Apertur, die beispielsweise bei Hörgeräte-Anwendungen Verwendung finden, in denen häufig differentielle oder superdirektive Beamformer-Algorithmen genutzt werden.

[0005] Es ist bekannt, den Mikrofonen eines Beamformers Kalibrierungsfilter nachzuschalten, um Bauteiltoleranzen der verwendeten Mikrofone zu kompensieren. Hierbei wird das Signalübertragungsverhalten der Mikrofone einmalig bestimmt und Filterkoeffizienten von Kalibrierungsfiltern, die den Mikrofonen nachgeschaltet sind, so eingestellt, dass die Bauteiltoleranzen ausgeglichen werden. Diese Vorgehensweise hat jedoch den Nachteil, dass Alterungseffekte nicht berücksichtigt werden können.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen RGSC-Beamformer anzugeben, bei dem alterungsbedingte Bauteiltoleranzen der verwendeten Mikrofone automatisch kompensiert werden.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen RGSC-Beamformer mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1. Ferner wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb eines RGSC-Beamformers mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 6.

[0008] Unter der Berechnung eines Filters wird im Zusammenhang mit der Erfindung die Berechnung der Übertragungsfunktion des betreffenden Filters bzw. die Berechnung der entsprechenden Filterkoeffizienten zur Festlegung dieser Übertragungsfunktion verstanden.

[0009] Die Erfindung bietet den Vorteil, dass eine automatische Kalibrierung der Mikrofone während des Betriebs des Beamformers erfolgt. Dadurch können auch zeitvariante Mikrofonfehlanpassungen, beispielsweise bedingt durch Alterung, Feuchtigkeit, Schmutz usw., ausgeglichen werden, ohne dass eine aufwändige separate Nachkalibrierung notwendig ist.

[0010] Nachfolgend wird der aus dem einleitend zitierten Stand der Technik bekannte und in Figur 1 veranschaulichte RGSC-Beamformer anhand einer Ausführungsform mit drei Mikrofonen kurz beschrieben:

[0011] Zum Aufbau eines RGSC-Beamformers sind wenigstens zwei Mikrofone erforderlich. Theoretisch können jedoch beliebig viele Mikrofone verwendet werden. Im Ausführungsbeispiel umfasst der Beamformer die drei Mikrofone M_0, M_1 und M_2. Den Mikrofonen sind zum Ausgleich von Bauteiltoleranzen die Kalibrationsfilter C_0, C_1 und C_2 nachgeschaltet. Zum Ausgleich vorhandener Bauteiltoleranzen der verwendeten Mikrofone wird deren Übertragungsverhalten gemessen. Anschließend werden die Filterkoeffizienten der Kalibrationsfilter C_0, C_1 und C_2 so eingestellt, dass die Mikrofone in Verbindung mit den nachgeschalteten Kalibrationsfiltern ein zumindest näherungsweise gleiches Signalübertragungsverhalten zeigen. Den Kalibrationsfiltern sind in den Signalpfaden der Mikrofone die Beamformer-Filter W_0, W_1 und W_2 nachgeschaltet. Anschließend werden die gefilterten Mikrofonsignale zur Erzeugung einer Richtcharakteristik in dem Addierer S addiert.

[0012] Es wird darauf hingewiesen, dass bei der gezeigten Schaltung die Kalibrierung der Mikrofone und die Beamformung auch dann durchgeführt werden können, wenn lediglich in zwei Mikrofonsignalpfaden Kalibrierungsfilter bzw. in lediglich zwei Mikrofonsignalpfaden Beamformer-Filter vorhanden sind. Die drei Kalibrationsfilter C_0, C_1 und C_2 werden zusammen als Kalibrationsfiltereinheit CAL und die Beamformer-Filter W_0, W_1 und W_2 in Verbindung mit dem Summierer S werden zusammen als Fester Beamformer FBF bezeichnet. Die Mikrofone M_0, M_1 und M_2 bilden in Verbindung mit der Kalibrationsfiltereinheit CAL und dem Festen Beamformer FBF bereits ein Mikrofonsystem mit einer Richtcharakteristik. Ein aus der Vorzugsrichtung des so gebildeten Richtmikrofons eintreffendes akustisches Signal (Nutzsignal) ist somit gegenüber einem aus einer anderen Richtung eintreffenden akustischen Signal (Störsignal) angehoben.

[0013] Eine weitere Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ergibt sich bei dem bekannten Richtmikrofonsystem durch die Verwendung eines adaptiven Interferenz-Unterdrückers AIC (Adaptive Interference Canceller). Dabei dient der Ausgang des Festen Beamformers FBF als Referenzsignal für den adaptiven Interferenz-Unterdrücker. Eine adaptive Blockiermatrix ABM mit Blockierfiltern B_0, B_1 und B_2 blockiert das Nutzsignal, so dass an jedem Ausgang der adaptiven Blockiermatrix ABM jeweils nur die Schätzung eines Störsignals vorhanden ist. Der AIC benutzt diese Schätzung, um die Störung im Referenzsignal (und damit dem Nutzsignal) zu unterdrücken.

[0014] Die Einstellung der Filterkoeffizienten des Kalibrationsfilters CAL erfolgt bei der aus dem Stand der Technik bekannten Schaltung mittels einer einmaligen Messung des Signalübertragungsverhaltens der verwendeten Mikrofone. Um Alterungserscheinungen zu kompensieren, müsste diese Messung von Zeit zu Zeit wiederholt werden. Im Unterschied hierzu schlägt die Erfindung eine automatische, kontinuierliche oder wiederholte Kalibrierung der Mikrofone vor. Dies wird gemäß der Erfindung dadurch erreicht, dass in die aus dem Stand der Technik gemäß Figur 1 bekannte Schaltung eine Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE) integriert wird. Das resultierende Blockschaltbild ist für den Spezialfall eines Beamformers mit drei Mikrofonen M_0, M_1 und M_2 in Figur 2 veranschaulicht. Dabei entspricht die prinzipielle Funktionsweise des Beamformers der Funktionsweise des in Figur 1 veranschaulichten und beschriebenen Beamformers mit dem Unterschied, dass bei dem Beamformer gemäß der Erfindung eine automatische Kalibrierung der Mikrofone erfolgt. Hierfür umfasst der Beamformer gemäß der Erfindung die Kalibrationsfilterberechnungseinheit CALBE. Dieser sind die Signalausgänge der Blockierfilter B_0, B_1 und B_2 als Eingangsgröße zugeführt. Eines dieser Ausgangssignale der Blockierfilter wird als Referenzsignal verwendet. Im Ausführungsbeispiel ist dies das Ausgangssignal des Blockierfilters B_1. In der Kalibrationsfilterberechnungseinheit CALBE werden schließlich die Kalibrationsfilter C_0' bzw. C_2' adaptiv derart bestimmt, dass die Energie der von dem Referenzsignal subtrahierten, mit den Kalibrationsfiltern C_0' bzw. C_2' gefilterten Ausgangssignale der Blockierfilter B_0 bzw. B_2 minimiert wird. Die so ermittelten Kalibrationsfilter werden nachfolgend als neue, den Mikrofonen M_0 bzw. M_2 nachgeschaltete Kalibrationsfilter C_0 bzw. C_2 verwendet.

[0015] Zusammenfassend berechnet der Kalibrieralgorithmus in der Kalibrationsfilterberechnungseinheit CALBE optimierte Kalibrationsfilter. Diese werden dann in die Kalibrationsfiltereinheit CAL kopiert, wo sie die bisher gültigen Kalibrationsfilter ersetzen. Aus dem gefilterten Ausgangssignal des Festen Beamformers FBF gehen somit die Eingangssignale zu dem adaptiven Algorithmus zur Bestimmung neuer, verbesserter Kalibrationsfilter der Kalibrationsfiltereinheit hervor. Eine Analyse zeigt, dass die gefilterten Ausgangssignale des Festen Beamformers zur Bestimmung der Kalibrationsfilter sehr gut geeignet sind und zu optimierten Kalibrationfiltern (Wiener Lösung) führen.

[0016] Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung liegt darin, dass das Ausgangssignal des Festen Beamformers FBF ein besseres Signal-zu-Geräusch Leistungsverhältnis SNR (Signal-to-Noise-Ratio) als die Mikrofonsignale aufweist. Das bedeutet, die Eingänge des adaptiven Algorithmus sind kaum durch Störgeräusche gestört. Dies führt zu einer schnellen Konvergenz und einer guten Kalibrierung. Weiterhin verbessert sich mit zunehmender Konvergenz der Kalibrationsfilter das Signal-zu-Geräusch-Leistungsverhältnis im Ausgangssignal des Festen Beamformers FBF, so dass sowohl die Konvergenz der Blockierfilter wie auch die weitere Konvergenz der Kalibrationsfilter unterstützt werden. Da die Kalibrierung gemäß der Erfindung automatisch, kontinuierlich oder wiederholt abläuft, können auch zeitvariante Mikrofonfehlanpassungen, beispielsweise bedingt durch Alterung, Feuchtigkeit, Verschmutzung usw., ausgeglichen werden, ohne dass eine aufwändige manuelle Nachkalibrierung notwendig ist.

[0017] Die vorgeschlagene Methode zur Kalibrierung der Mikrofone eines RGSC-Beamformers kann sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich realisiert werden.

[0018] Die im Beispiel für einen Beamformer mit drei Mikrofonen beschriebene Vorgehensweise lässt sich im Rahmen der Erfindung analog auch auf Beamformer mit einer beliebigen Anzahl an Mikrofonen (≥ 2) übertragen.

[0019] Nachfolgend wird der theoretische Hintergrund bei der Mikrofonkalibrierung gemäß der Erfindung aufgezeigt:

Analyse

[0020] Der folgenden Analyse liegt ein zeitdiskreter Fourierraum zugrunde. Ferner wird davon ausgegangen, dass alle Sensorsignale statisch und ergodisch sind. Das hochgestellte T und das Sternchen (*) markieren die transponierte bzw. die komplex konjugierte Matrix.

[0021] Eine gewünschte Quelle $S(\omega)$ mit einer bekannten Position beschallt das Mikrofonarray, das aus $M = 3$ Sensoren besteht. Sei $H_m(\omega)$ die Übergangsfunktion von der Quelle zum m-ten Mikrofon. Dann können die Mikrofonsignale $X^T(\omega) = [X_0(\omega), X_1(\omega), X_2(\omega)]$ geschrieben werden als:

$$\mathbf{X}^T(\omega) = S(\omega)\mathbf{H}^T(\omega), \qquad (1)$$

wobei $H^T(\omega) = [H_0(\omega),H_1(\omega),H_2(\omega)]$ gilt. Das Mikrofonsignal $X_m(\omega)$ wird mit dem korrespondierenden Kalibrierfiltergewicht $C_m(\omega)$ gefiltert. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann das Signal $X_1(\omega)$ als Referenzsignal angenommen werden. Daher gilt $C_1(\omega) = 1$. Sei $W_m(\omega)$ die Übergangsfunktion des FBF (Fester Beamformer) für das m-te Mikrofon. Dann ist das FBF-Ausgangssignal $Y_f(\omega)$ gegeben durch

$$Y_f(\omega) = \sum_{m=0}^{2} W_m(\omega)C_m(\omega)X_m(\omega) = S(\omega)\sum_{m=0}^{2} W_m(\omega)C_m(\omega)H_m(\omega). \quad (2)$$

[0022] Die Übergangsfunktion $B_m(\omega)$ des m-ten ABM-Filters (adaptive blocking matrix, adaptive Filtermatrix) wird bestimmt durch die Minimierung der mittleren Quadrate des m-ten ABM-Ausgangssignals $Y_{b,m}(\omega)$, wobei

$$Y_{b,m}(\omega) = X_m(\omega) - B_m(\omega)Y_f(\omega). \quad (3)$$

[0023] Mit dem Orthogonalitätsprinzip kann die Übergangsfunktion für den optimalen Filter wie folgt abgeleitet werden:

$$B_m(\omega) = \frac{\Phi_{X_m Y_f}(\omega)}{\Phi_{Y_f Y_f}(\omega)} \quad (4)$$

wobei $\Phi_{YfYf}(\omega)$ die spektrale Leistungsdichte am FBF-Ausgang und $\Phi_{XmYf}(\omega)$ die Kreuzspektraldichte zwischen dem m-ten Mikrofonsignal und dem FBF-Ausgang bezeichnet. Mit den Gleichungen (1) und (2) folgt:

$$B_m(\omega) = \Phi_{SS}(\omega)H_m(\omega)\left(\sum_{m=0}^{2} W_m(\omega)C_m(\omega)H_m(\omega)\right)^* \left(\Phi_{Y_f Y_f}(\omega)\right)^{-1}. \quad (5)$$

$\Phi_{SS}(\omega) = S(\omega)S^*(\omega)$ bezeichnet die spektrale Leistungsdichte des gewünschten Signals. Sei

$$\Psi(\omega) = \Phi_{SS}(\omega)\left(\sum_{m=0}^{2} W_m(\omega)C_m(\omega)H_m(\omega)\right)^* \left(\Phi_{Y_f Y_f}(\omega)\right)^{-1}, \quad (6)$$

dann gilt:

$$B_m(\omega) = \Psi(\omega)H_m(\omega). \quad (7)$$

[0024] Die gefilterten FBF-Ausgangssignale $\{F_m(\omega); m = 0, 1, 2\}$ fungieren als Eingang für den adaptiven Kalibrierungsalgorithmus. Man betrachte den Kalibrierungspfad für das Mikrofon m = 0. Wie aus Figur 1 folgt, kann dieser geschrieben werden als

$$E_0(\omega) = F_1(\omega) - C_0'(\omega)F_0(\omega), \quad (8)$$

[0025] Das m-te gefilterte FBF-Ausgangssignal $F_m(\omega)$ ergibt sich zu

$$F_m(\omega) = B_m(\omega)Y_f(\omega). \quad (9)$$

[0026] Das optimale Kalibrierungsfilter ergibt sich aus der Minimierung der mittleren Quadrate des Fehlersignals $E_0(\omega)$. Mit dem Orthogonalitätsprinzip ist die Übergangsfunktion für das optimalen Kalibrierungsfilter gegeben als

$$C_0'(\omega) = \frac{\Phi_{F_1F_0}(\omega)}{\Phi_{F_0F_0}(\omega)} \quad (10)$$

[0027] Anhand der Gleichung (9) ist ersichtlich, dass $\Phi_{F1F0} = B_1(\omega)B_0^*(\omega)\Phi_{YfYF}(\omega)$ und $\Phi_{F0F0} = B_0(\omega)B_0^*(\omega)\Phi_{YfYf}(\omega)$. Daher gilt $C_0' = B_1(\omega)B_0^{-1}(\omega)$, unter der Voraussetzung dass $\Phi_{YfYf}(\omega) \neq 0$ und $B_0(\omega) \neq 0$ gilt. Mit Gleichung (7) kann die Übergangsfunktion für eine optimale Kalibrierung berechnet werden als

$$C_0'(\omega) = H_1(\omega)H_0^{-1}(\omega). \quad (11)$$

[0028] Die Analyse für das zweite Kalibrierungsfilter wird nun auf ähnliche Weise durchgeführt:

$$C_2'(\omega) = H_1(\omega)H_2^{-1}(\omega). \quad (12)$$

[0029] Dies sind die gewünschten Übergangsfunktionen für das optimale Kalibrierungsfilter. Die Analyse zeigt also, dass die gefilterten FBF-Signale auch verwendet werden können, um Kalibrierungsfilter für Mikrofone an Stelle von Mikrofonsignalen zu erhalten. Sie haben jedoch einen Vorteil gegenüber den direkt auf die Mikrofonsignale angewandten herkömmlichen Kalibrierungsalgorithmen. Insbesondere werden in realen Situationen die gefilterten FBF-Signale weniger durch interferierende Geräusche gestört als die Mikrofonsignale. Das liegt an der Anwesenheit des FBF, durch den der Anteil des Zielsignals im Verhältnis zu interferierenden Signalen verbessert wird.

Anpassung

[0030] Die Kalibrierungsfilter werden über den im Folgenden gezeigten nLMS-Algorithmus (normalisierter Least-Mean-Square-Algorithmus) angepasst.

$$C_m'(\omega, k+1) = C_m'(\omega, k) + \mu_{cal}F_m^*(\omega, k)E_m(\omega, k)P_{F_mF_m}(\omega, k), \ m = 0, 2, \quad (13)$$

wobei μ_{cal} der Schrittgrößenparameter ist. $P_{FmFm}(\omega, k)$ ist die Leistungsschätzung für das Frequenzband um die Frequenz ω:

$$P_{F_mF_m}(\omega, k) = \lambda_c P_{F_mF_m}(\omega, k-1) + (1-\lambda_c)|F_m(\omega, k)|^2 \quad (14)$$

mit dem Vergessensfaktor λ_c. k bezeichnet den Block-Zeit-Index.

Anpassungssteuerung

[0031] Die ABM-Filter versuchen, die zwischen dem FBF-Ausgang und den Sensorsignalen korrelierten Signalkomponenten auszublenden. Aus diesem Grund, und damit keine räumlich korrelierten Interferenzen ausgeblendet werden, darf die Anpassung der ABM-Filter nur durchgeführt werden, wenn das gewünschte Signal anliegt. Das heißt, ABM-Filter werden in Situationen mit hohem Signal-Rausch-Abstand angepasst.

[0032] Ähnliches gilt für den Kalibrierungsalgorithmus. Um zu verhindern, dass das Kalibrierglied bei den Mikrofonen die Interferenzrichtung und die Zielsignalrichtung durcheinander ringt, ist seine Anpassung auch nur bei einem hohen Signal-Rausch-Abstand vorzunehmen.

[0033] Die Ergebnisse einer Simulation sind aus den Figuren 3 und 4 ersichtlich:

Figur 3 zeigt einen MSE-Plot des Kalibrierungsalgorithmus für den Amplitudenfehler von 1 dB und den Phasenfehler von -5° am vorderen Mikrofon für unterschiedliche Schrittgrößenparameter μ_c.

Figur 4 zeigt die Spektrale Leistungsdichte des FBF-Ausgangs für ideale Mikrofone, schlecht angepasste Mikrofone (Amplitudenfehler von 1 dB und Phasenfehler von -5° am vorderen Mikrofon) sowie nachgeregelte Mikrofone nach der Kalibrierung, $\mu_c = 0{,}008$.

Patentansprüche

1. RGSC-Beamformer, umfassend

   - wenigstens zwei Mikrofone (M_0, M_1, M_2), die je ein Mikrofonsignal (X_0, X_1, X_2) erzeugen,
   - einen Festen Beamformer (FBF),
   - eine adaptive Blockiermatrix (ABM),
   - einen adaptiven Interferenz-Unterdrücker (AIC), sowie
   - eine den Mikrofonen nachgeschaltete Kalibrationsfiltereinheit (CAL) mit wenigstens einem Kalibrationsfilter (C_0, C_1, C_2) zur Kompensation von Bauteiltoleranzen der verwendeten Mikrofone

   Gekennzeichnet durch eine Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE), der zur Berechnung der Kalibrationsfilter (C_0, C_1, C_2) in der adaptiven Blockiermatrix (ABM) erzeugte Signale zugeführt sind.

2. RGSC-Beamformer nach Anspruch 1, wobei der Feste Beamformer (FBF) wenigstens einen Beamformer-Filter (W_0, W_1, W_2) zur Filterung jeweils eines aus einem Mikrofonsignal (X_0, X_1, X_2) hervorgehenden Signals sowie einen Addierer (S) zur Addition zweier aus den Mikrofonsignalen (X_0, X_1, X_2) hervorgehender Signale umfasst.

3. RGSC-Beamformer nach Anspruch 1 oder 2, wobei die adaptive Blockiermatrix (ABM) adaptive Blockierfilter (B_0, B_1, B_2) umfasst zur Filterung des Ausgangssignals des Festen Beamformers (FBF) in Abhängigkeit jeweils eines Mikrofonsignals (X_0, X_1, X_2).

4. RGSC-Beamformer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE) die Signalausgänge der Blockierfilter (B_0, B_1, B_2) als Signaleingänge zugeführt sind.

5. RGSC-Beamformer nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE) wenigstens einen Subtrahierer (D_0, D_2) umfasst, dem als Referenzsignal ein Ausgangssignal eines Blockierfilters (B_1) direkt und ein Ausgangssignal eines Blockierfilters (B_0, B_2) nach einer Filterung mit einem adaptiven Kalibrationsfilter (C_0', C_2') zugeführt sind.

6. Verfahren zum Betrieb eines RGSC-Beamformers, der

   - wenigstens zwei Mikrofone (M_0, M_1, M_2), die je ein Mikrofonsignal (X_0, X_1, X_2) erzeugen,
   - einen Festen Beamformer (FBF),
   - eine adaptive Blockiermatrix (ABM),
   - einen adaptiven Interferenz-Unterdrücker (AIC), sowie
   - eine den Mikrofonen nachgeschaltete Kalibrationsfiltereinheit (CAL) mit wenigsten einem Kalibrationsfilter

(C_0, C_1, C_2) zur Kompensation von Bauteiltoleranzen der verwendeten Mikrofone umfasst,

wobei wenigstens ein Mikrofonsignal (X_0, X_1, X_2) mittels eines einem Mikrofon (M_0, M_1, M_2) nachgeschalteten Kalibrationsfilters (C_0, C_1, C_2) gefiltert wird,
dadurch gekennzeichnet, dass das Kalibrationsfilter (C_0, C_1, C_2) adaptiv durch aus der adaptiven Blockiermatrix (ABM) hervorgehende Signale berechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei ein Ausgangssignal eines Blockierfilters (B_1) als Referenzsignal bei der Berechnung des Kalibrationsfilters verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei ein Kalibrationsfilter (C_0', C_2') in der Kalibrationsfilterberechnungseinheit (CALBE) derart adaptiv berechnet wird, dass das mittels des Kalibrationsfilters (C_0', C_2') gefilterte Ausgangssignal des Blockierfilters (B_0, B_2) von dem Referenzsignal subtrahiert wird und das resultierende Ausgangssignal (E_0, E_2) minimiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Berechnung des Kalibrationsfilters im Zeitbereich erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Berechnung des Kalibrationsfilters im Frequenzbereich erfolgt.

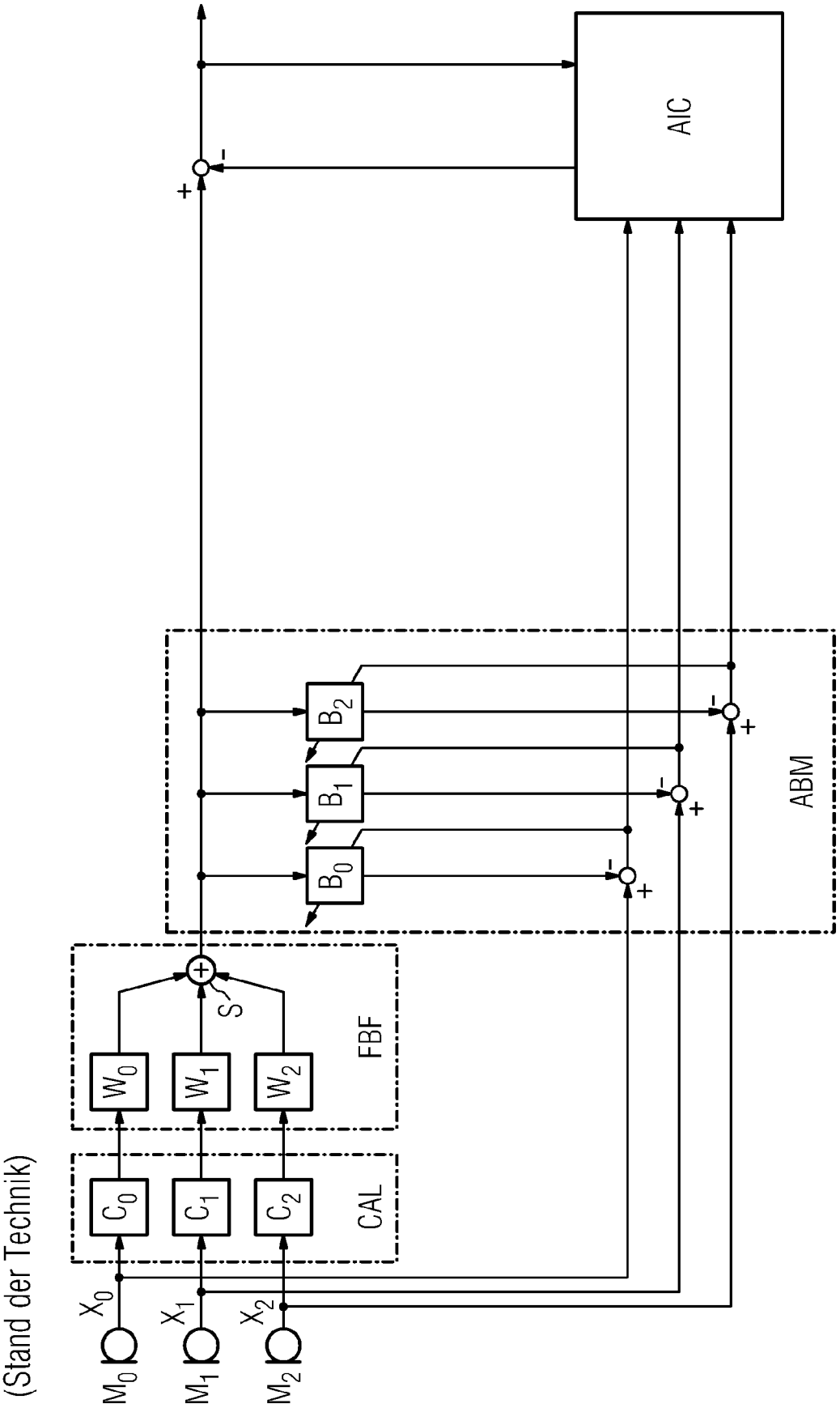


FIG 1
(Stand der Technik)

FIG 2

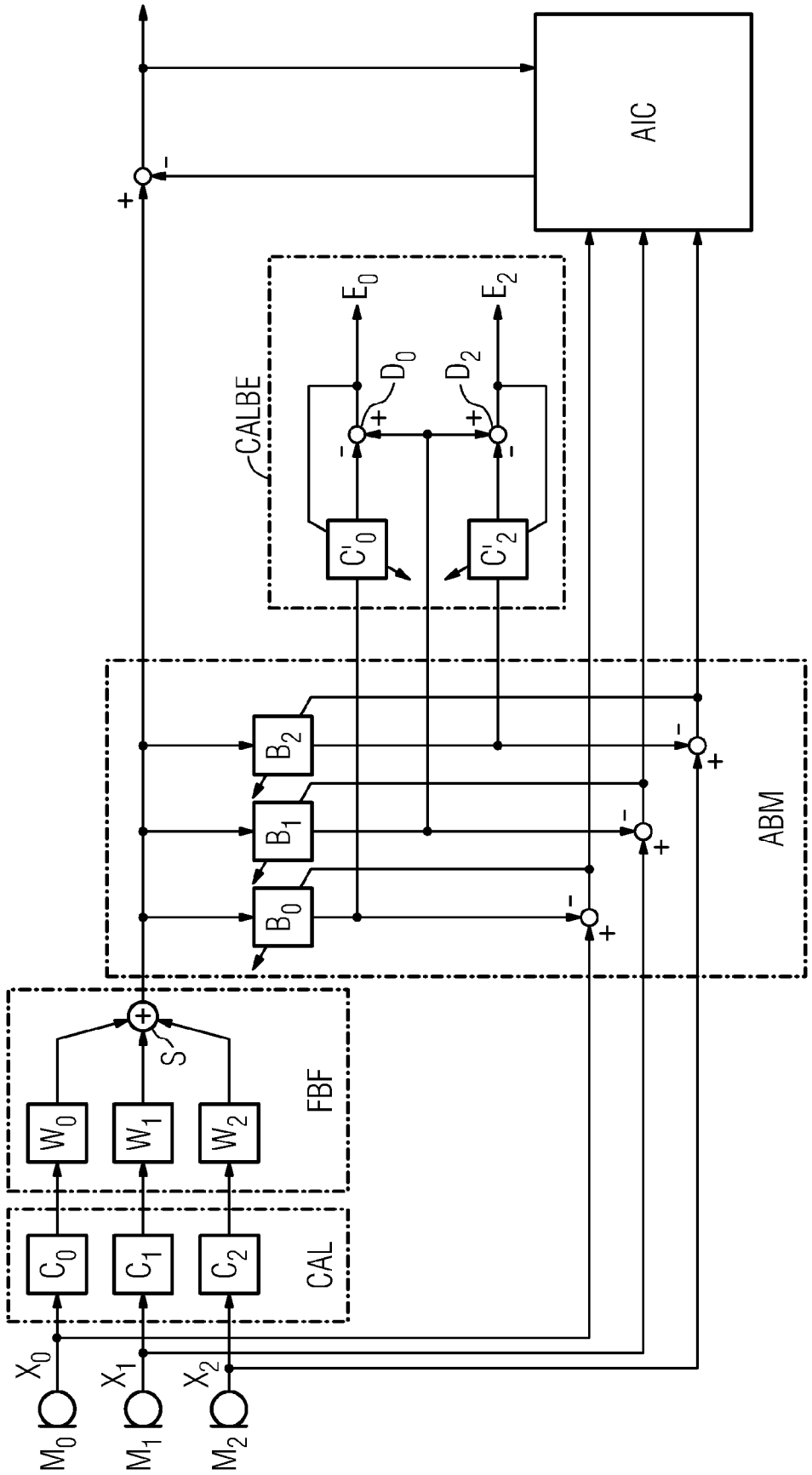

AIC
CALBE
E_0
E_2
D_0
D_2
C'_0
C'_2
ABM
B_2
B_1
B_0
FBF
S
W_0
W_1
W_2
CAL
C_0
C_1
C_2
X_0
X_1
X_2
M_0
M_1
M_2

FIG 3

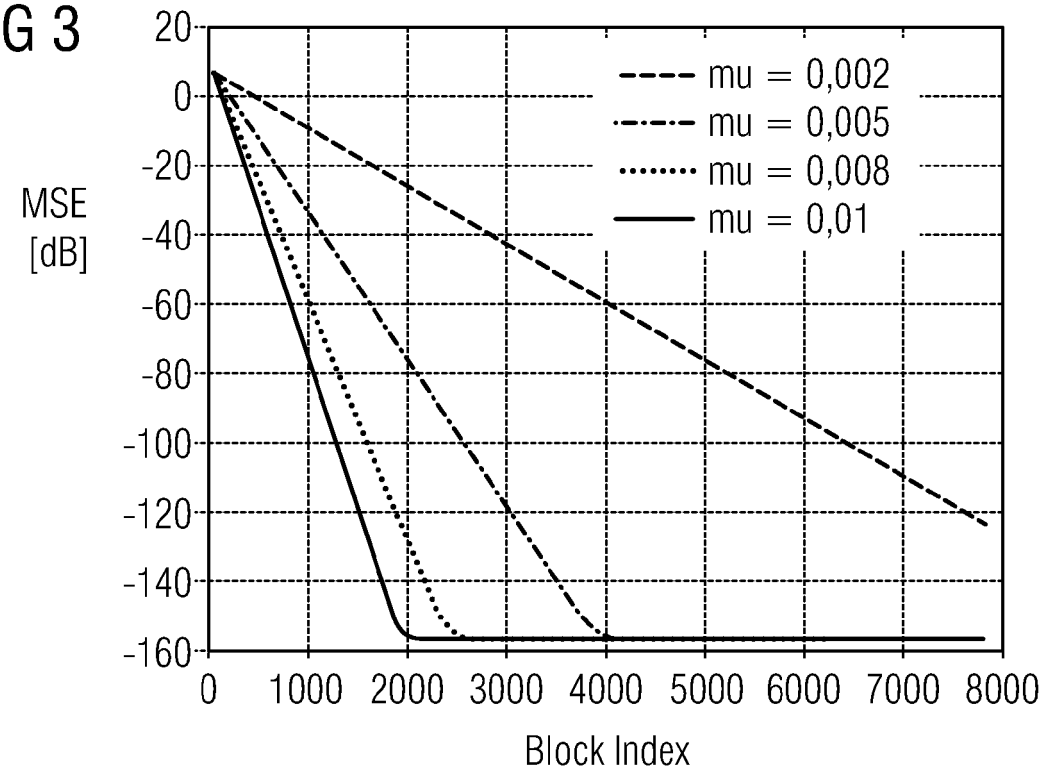
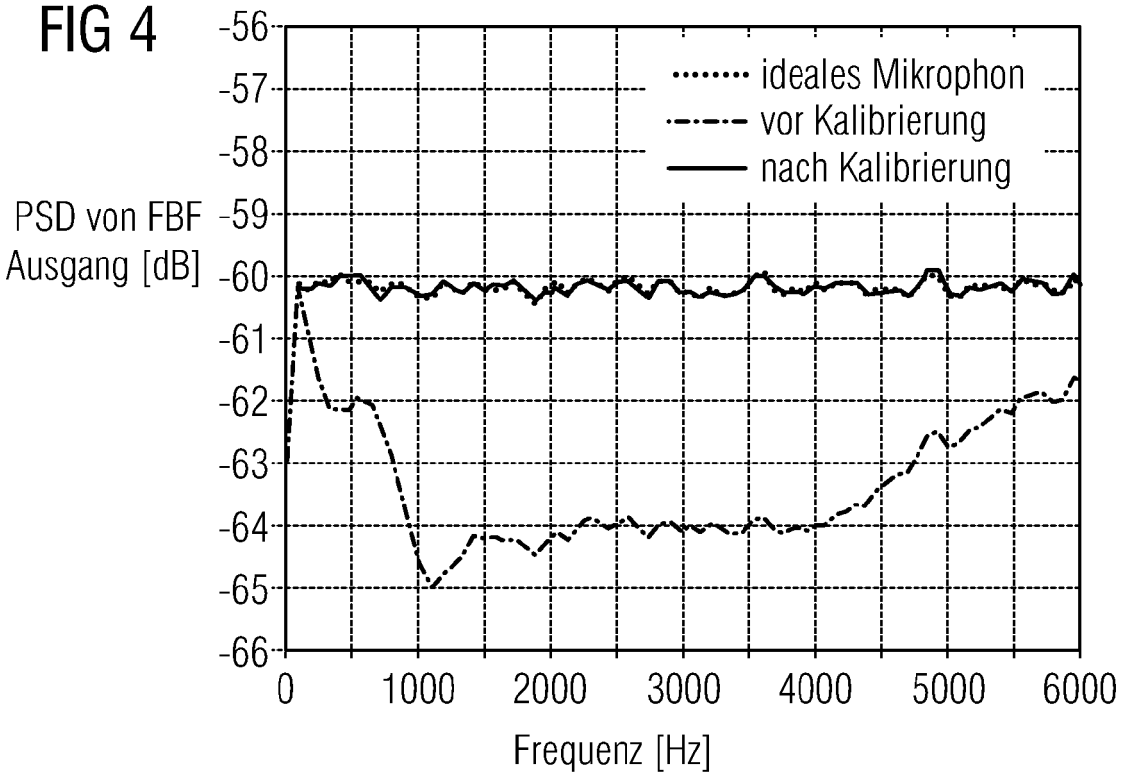

20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
MSE
[dB]
mu = 0,002
mu = 0,005
mu = 0,008
mu = 0,01
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
Block Index

FIG 4


-56
-57
-58
-59
-60
-61
-62
-63
-64
-65
-66
PSD von FBF
Ausgang [dB]
ideales Mikrophon
vor Kalibrierung
nach Kalibrierung
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
Frequenz [Hz]

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20050047611 A1 **[0003]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **WOLFGANG HERBORDT.** Combination of Robust Adaptive Beamforming with Acoustic Echo Cancellation for Acoustic Human/Machine Interface. *Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg,* 03. Dezember 2003, 99 **[0002]**