

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterdrückung eines Störgeräusches in einem akustischen System, wobei das akustische System wenigstens ein Mikrofon und wenigstens einen Lautsprecher umfasst, und wobei das wenigstens eine Mikrofon ein Eingangssignal erzeugt, wobei der wenigstens eine Lautsprecher ein akustisches Signal erzeugt, welches teilweise auf das wenigstens eine Mikrofon rückkoppelt.

[0002] In einem akustischen System der oben beschriebenen Art, wie es beispielsweise durch ein Hörgerät gegeben sein kann, können durch Rückkopplung bedingte Störgeräusche auftreten. Eine akustische Rückkopplung kann dadurch entstehen, dass das durch den Lautsprecher erzeugte akustische Signal teilweise vom Mikrofon wahrgenommen wird, und hierdurch erneut Eingang in das akustische System findet. Das vom Mikrofon erzeugte Eingangssignal wird im akustischen System verstärkt, so dass innerhalb der geschlossenen Schleife, welche durch den Lautsprecher, das durch diesen erzeugte akustische Signal, das Mikrofon, und die Signalverarbeitung innerhalb des akustischen Systems gebildet wird, ein Signalanteil durch die Rückkopplung immer weiter zu einem pfeifenden Störgeräusch verstärkt wird, wenn die Verstärkung bei der Signalverarbeitung innerhalb des akustischen Systems einen bestimmten Grenzwert übersteigt.

[0003] Derartige Störgeräusche können durch sog. Rückkopplungs-Unterdrückungsverfahren ("feedback cancellers") reduziert oder sogar eliminiert werden. Hierfür werden nach Stand der Technik oftmals adaptive feedback-cancellation-Methoden verwendet, in welchen ein adaptives Filter mit Filterkoeffizienten h die zeitabhängige Impulsantwort des akustischen Rückkopplungspfades modelliert. Ein oft verwendetes Beispiel für eine Vorschrift zur Anpassung der Filterkoeffizienten h ist durch den "normalized least mean square" Algorithmus (NLMS) gegeben:

$$h(k+1) = h(k) + \mu e^*(k) x(k) / |x(k)|^2.$$

[0004] Hierbei ist k der diskrete Zeitindex, x der Input in das System zur Auslöschung der Rückkopplung, $e = m - c$ das Fehlersignal, welches definiert ist als die Differenz zwischen dem vom Mikrofon erzeugten Eingangssignal m und dem Kompensationssignal c zur Kompensation der Rückkopplung. μ ist die Schrittweite, über welche die Geschwindigkeit der Anpassung bzw. der Konvergenz gesteuert wird, und $*$ bezeichnet die komplexe Konjugation.

[0005] In einem realistischen akustischen System wird dabei das Eingangssignal m oftmals zunächst mit einer vergleichsweise hohen Abtastrate digitalisiert und hierdurch in zeitdiskrete Abtastwerte umgewandelt. Anschließend wird jeweils eine Vielzahl, beispielsweise 128, von aufeinander folgenden Abtastwerten zu einem sogenannten Frame zusammengefasst. Innerhalb eines Frames kann nun anhand der den Frame bildenden Abtastwerte mittels Fouriertransformation eine spektrale Analyse des Eingangssignals durchgeführt werden. Für die Erzeugung bzw. die Analyse eines nächsten Frames wird das zu betrachtende Fenster um einige Abtastwerte, beispielsweise 32, in Richtung der Zeitachse verschoben, sodass die Fenster der jeweils für einen Frame zu berücksichtigenden Abtastwerte sich für benachbarte Frames teilweise deutlich überlappen. Der Zeitindex kann in diesem Fall als ein Frame-Index aufgefasst werden, wobei das adaptive Filter auch im Frequenzraum verwendet werden kann. In diesem Fall sind die Filterkoeffizienten h Vektoren, deren Einträge jeweils einem spektralen Subband entsprechen. Die Anwendung ist jedoch nicht auf diesen Fall beschränkt. Einzelheiten hierzu finden sich beispielsweise in S. Haykin, "Adaptive Filter Theory" (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996) oder T. v. Waterschoot & M. Moonen, "Fifty years of acoustic feedback control: state of the art and future challenges" (Proc. IEEE, Bd. 99, Nr. 2, Feb. 2011, Seiten 288-327).

[0006] Es ist nun ein bekanntes Problem, dass korrelierte Eingangssignale, wie sie beispielsweise durch die Aufnahme von Musik oder auch von gesprochener Sprache erzeugt werden können, in einem adaptiven Filter zu einer Divergenz führen können, was zu einer mindestens teilweisen Auslöschung eines Zielsignals führen kann. Dies kann im Ausgangssignal deutlich wahrnehmbare Signal-Artefakte produzieren, was zu einer erheblichen Verschlechterung der Klangqualität führt. Die durch eine akustische Rückkopplung erzeugten pfeifenden Störgeräusche weisen in den betreffenden Signalen ebenfalls eine hohe Korrelation auf, insbesondere, wenn ein korreliertes Zielsignal vorliegt, welches aufgenommen und nach der Wiedergabe durch einen Lautsprecher rückgekoppelt wird. Soll nun zur Unterdrückung der hierdurch erzeugten Störgeräusche ein adaptives Filter verwendet werden, so können bei der Unterdrückung des Störsignals der Rückkopplung auch Signalanteile des Zielsignals zumindest teilweise ausgelöscht werden, was sich negativ auf die Klangqualität des Ausgangssignals auswirkt.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Unterdrückung eines durch akustische Rückkopplung bedingten Störgeräusches zu nennen, welches die Verwendung eines adaptiven Filters erlaubt, und gleichzeitig eine möglichst hohe Klangqualität im Ausgangssignal aufweist.

[0008] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Unterdrückung eines Störgeräusches in einem akustischen System, wobei das akustische System wenigstens ein Mikrofon und wenigstens einen Lautsprecher umfasst, wobei das wenigstens eine Mikrofon ein Eingangssignal erzeugt und wobei der wenigstens eine Lautsprecher ein akustisches Signal erzeugt, welches teilweise auf das wenigstens eine Mikrofon rückkoppelt, wobei

entlang eines Hauptsignalpfades in Abhängigkeit vom Eingangssignal ein erstes Zwischensignal und aus dem ersten Zwischensignal durch eine Frequenzverzerrung ein Ausgangssignal gebildet wird, wobei aus dem Hauptsignalpfad das Ausgangssignal in einen Signal-Rückkopplungspfad ausgekoppelt wird, wobei im Signal-Rückkopplungspfad aus dem Ausgangssignal durch eine Dekorrelierung ein zweites Zwischensignal gebildet wird, das als Eingangsgröße für ein adaptives Filter herangezogen wird, welches ein Kompensationssignal erzeugt, und wobei das Kompensationssignal dem Eingangssignal zur Kompensation zugeführt wird, wobei aus dem Eingangssignal und/oder aus dem kompensierten Eingangssignal ein drittes Zwischensignal gebildet wird, welches als Eingangsgröße für das adaptive Filter herangezogen wird, und wobei das Ausgangssignal dem wenigstens einen Lautsprecher zur Wiedergabe zugeführt wird. Vorteilhaft und teils für sich gesehen erfinderische Ausgestaltungsformen sind in den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung dargelegt.

[0009] Insbesondere kann auch das Ausgangssignal als weitere Eingangsgröße für das adaptive Filter herangezogen werden, wobei das zweite Zwischensignal und das dritte Zwischensignal im adaptiven Filter zur Bestimmung von Filterkoeffizienten herangezogen werden, mittels derer das Ausgangssignal gefiltert und hierdurch das Kompensationssignal erzeugt wird.

[0010] Die Erfindung geht dabei von folgenden Überlegungen aus: Eine Verringerung der Schrittweite μ eines verwendeten adaptiven Filters hätte zur Folge, dass im Fall eines korrelierten Eingangssignals das Filter deutlich langsamer divergiert, so dass ungewünschte Artefakte im Ausgangssignal reduziert werden könnten bzw. unhörbar werden. Die Reduktion der Schrittweite könnte hierbei beispielsweise immer dann erfolgen, wenn ein korreliertes bzw. tonales Eingangssignal registriert wird. Ein Nachteil eines solchen Vorgehens ist jedoch, dass jede Veränderung des akustischen Rückkopplungspfades, während das korrelierte Signal registriert wird, nicht schnell genug verfolgt werden kann, um durch die Rückkopplung hervorgerufene Störgeräusche zu vermeiden, da infolge der verringerten Schrittweite μ Beschränkungen an die Anpassungsfähigkeit des Filters gelegt werden. Die Schrittweite ist daher immer zu sehen als ein Trade-off zwischen der Klangqualität und der Fähigkeit, auf Veränderungen im akustischen Rückkopplungspfad zu reagieren.

[0011] Eine andere Möglichkeit, die Probleme eines adaptiven Filters für ein stark korreliertes Eingangssignal zu beheben, liegt in einer möglichen Dekorrelierung des Eingangssignals (sog. "pre-whitening"). Da im adaptiven Filter nur korrelierte Eingangssignale Probleme mit der Anpassung hervorrufen, könnte eine derartige Dekorrelierung zunächst das Problem lösen. Eine solche Dekorrelierung wird oftmals durch eine lineare Prädiktion ("linear predictor") implementiert. Für ein korreliertes Eingangssignal wird dabei eine Vorhersage für ein oder mehrere zukünftige Samples des Signals in Abhängigkeit von vergangenen beobachteten Samples des Signals getroffen. Diese Vorhersage wird anschließend vom eigentlichen Eingangssignal subtrahiert. Das Resultat dieser Subtraktion wird Prädiktions-Fehlersignal ("residual signal") genannt. So ist beispielsweise ein Sinussignal vollständig deterministisch und daher perfekt vorher-sagbar. In diesem Fall wäre für eine entsprechende Prädiktions-Ordnung das residuale Signal null.

[0012] Im Fall einer linearen Prädiktion kann das Prädiktions-Fehlersignal geschrieben werden als

$$r(k) = s(k) - \sum_{i=1}^P s(k-i)a(i),$$

wobei $s(k)$ das Sample des Input-Signals für die Prädiktion zum Zeitpunkt k darstellt, $a(i)$ den Filterkoeffizienten der Dekorrelierung bezeichnet, und P die Ordnung der Prädiktion. Das so erzeugte Prädiktions-Fehlersignal ist dabei im Allgemeinen komplexwertig.

[0013] Durch eine Rückkopplung verursachte Störgeräusche weisen ebenfalls erheblich korrelierte Signalanteile auf. Wendet man nun eine Dekorrelierung auf ein solches Signal an, so ist die Signalstärke des daraus resultierenden Prädiktions-Fehlersignals sehr gering. Für eine Weiterverwendung in einem adaptiven Filter würde dies bedeuten, dass das adaptive Filter an der Frequenz des durch die Rückkopplung erzeugten Störgeräusches nicht angeregt ist. Somit kann das Filter an dieser Frequenz keine Anpassung an den akustischen Rückkopplungspfad vornehmen, wodurch das Störgeräusch solange verbleibt, bis der akustische Rückkopplungspfad sich verändert.

[0014] Zum Abschätzen der Filterkoeffizienten für die Dekorrelierung mittels linearer Prädiktion existieren verschiedene Methoden, beispielsweise der NLMS-Algorithmus und die Lewinson-Durbin-Rekursion. Bei letzterer wird folgende matrixwertige Gleichung rekursiv gelöst:

$$a = R^{-1}r,$$

wobei der Vektor a die Koeffizienten $a(i)$ enthält, und die Matrix R und der Vektor r die Autokorrelationsmatrix bzw. den Autokorrelationsvektor bezeichnet. Beide Größen werden gebildet durch die Autokorrelationen

$$r(j) = E\{s(k)s(k-j)\},$$

wobei für stationäre Signale der Erwartungswert E nur von der Zeitverschiebung j abhängt. Der Erwartungswert kann dabei z.B. durch rekursives Mitteln approximiert werden.

[0015] Für nicht stationäre Signale, wie z.B. Sprache, sind die Autokorrelationswerte zeitabhängig, und daher bevorzugt wiederholt zu ermitteln. Die meisten nicht stationären Signale können jedoch innerhalb eines Zeitfensters einer bestimmten Dauer als nahezu stationär betrachtet werden. Die Länge dieses Zeitfensters hängt dabei vom Grad ab, in welchem das Signal nicht stationär ist. Die Anpassungsgeschwindigkeit eines Filters bzw. Schätzers, welcher die Autokorrelationswerte eines Input-Signals berechnet, spielt hierbei eine wichtige Rolle: Je schneller der Schätzer, desto besser können nicht stationäre Signale verfolgt werden, wodurch sich eine Dekorrelierung eines Input-Signals verbessert. Um also ein nicht stationäres Signal für eine Dekorrelierung innerhalb eines kurzen Zeitfensters als stationär behandeln zu können, bedarf es eines möglichst schnellen Schätzers. Dies gilt auch für jene Dekorrelierungen, welche sich eines anderen Verfahrens bedienen. So wird beispielsweise im NLMS-Algorithmus die Anpassungsgeschwindigkeit und damit die Fähigkeit, nicht stationäre Signale zu dekorrelieren, über die Schrittweite geregelt.

[0016] Das Problem, dass ein korreliertes Zielsignal für das adaptive Filter zum Auslösen eines durch Rückkopplung bedingten Störgeräusches vorher bevorzugt zu dekorrelieren ist, jedoch durch eine Dekorrelierung das adaptive Filter bei den Frequenzen des durch Rückkopplung hervorgerufenen Störgeräusches nicht mehr angeregt ist, könnte nun dadurch umgangen werden, dass in einem ersten Schritt ein derartiges Störgeräusch detektiert wird, und in Abhängigkeit einer solchen Detektion in einem zweiten Schritt in diesem Fall die Dekorrelierung unterbleibt. Dies hat jedoch mehrere praktische Nachteile: Zum einen ist eine solche Detektion in der Praxis stets fehlerbehaftet. Insbesondere, wenn durch die akustische Rückkopplung mehrere nahe beieinander liegende Frequenzen angeregt werden, können diese gegebenenfalls aufgrund einer unzureichenden spektralen Auflösung bei der Detektion nicht hinreichend unterdrückt werden. Überdies erfordert ein solches Vorgehen zunächst immer eine wenigstens ansatzweise Entwicklung eines durch die Rückkopplung bedingten Störgeräusches, um bei dessen Detektion den entsprechenden Signalverarbeitungsblock der Dekorrelierung zu umgehen. Dies bedeutet, dass ein internes Signal im akustischen System nie gänzlich rückkopplungsfrei ist, sondern Signalanteile des Störgeräusches bis zum Schwellwert der Detektion enthält. Dies ist jedoch aus Gründen der Klangqualität unerwünscht.

[0017] Eine weitere Möglichkeit könnte darin bestehen, die Filterkoeffizienten für die Dekorrelierung in einem weiteren akustischen System zu bestimmen, und diese Filterkoeffizienten zwischen den beteiligten akustischen Systemen kontinuierlich zur Anpassung zu übermitteln. Diese Möglichkeit wäre insbesondere bei einem binauralen Hörgerätesystem gegeben. Der genannten Idee läge die Annahme zugrunde, dass die von den beteiligten akustischen Systemen jeweils aufgezeichneten Schallsignale aus der Umgebung eine hohe Ähnlichkeit aufweisen, durch Rückkopplung in einem einzelnen System hervorgerufene Störgeräusche jedoch nur das einzelne akustische System betreffen. Da ein durch Rückkopplung hervorgerufenen Störgeräusch bei einer bestimmten Frequenz unter hoher Wahrscheinlichkeit nur in einem akustischen System auftreten wird, können die Filterkoeffizienten für die Dekorrelierung, welche in einem anderen akustischen System ermittelt werden, als ein guter Schätzwert für die Dekorrelierung eines Zielsignals im von Rückkopplung betroffenen akustischen System herangezogen werden. Hierfür ist jedoch zunächst das Vorhandensein eines weiteren akustischen Systems erforderlich, was oft nicht gegeben ist. Überdies kann infolge der Übertragung auch eine Zeitverzögerung der Filterkoeffizienten auftreten, sodass diese beim Empfang im jeweils anderen akustischen System nicht mehr aktuell sind, oder aufgrund der räumlichen Anordnung der beteiligten akustischen Systeme stellen die jeweiligen Filterkoeffizienten keine hinreichend gute Abschätzung für das jeweils andere System dar. Dies kann beispielsweise bei einem binauralen Hörgerätesystem aufgrund von durch den Kopf des Anwenders bedingte Abschattungseffekte auftreten.

[0018] Demgegenüber schlägt nun die Erfindung vor, ein Ausgangssignal des akustischen Systems, welches in einen Signal-Rückkopplungspfad einzuspeisen ist, zunächst einer Frequenzverzerrung zu unterziehen, und daraufhin zu dekorrelieren. Insbesondere kann hierbei eine zeitabhängige Frequenzverzerrung verwendet werden. Durch eine Rückkopplung hervorgerufene Störgeräusche weisen im Normalfall ein nahezu perfekt sinusförmiges Signal auf. Durch die Frequenzverzerrung geht diese Form verloren. Wird beispielsweise für die Frequenzverzerrung eine zeitabhängige Frequenzverschiebung gewählt, folgen die Signale der Störgeräusche dieser Frequenzverschiebung.

[0019] Die Autokorrelationswerte von frequenzverzerrten Signalen nehmen mit zunehmendem Zeitabstand ab, sodass das Zeitfenster, währenddessen das durch Rückkopplung hervorgerufene Störsignal als stationär betrachtet werden kann, verkürzt wird. Somit ist es möglich, einen Dekorrelierer derart zu implementieren, dass sich dieser nicht an das Störsignal der Rückkopplung anpasst. Das Zeitfenster, in welchem Signale als stationär betrachtet werden können, ist dabei bevorzugt so zu wählen, dass durch die Frequenzverzerrung das Störsignal der Rückkopplung nicht als stationär betrachtet wird, die eigentlich nicht stationären Signalanteile eines Zielsignals schon. Somit wird die Dekorrelierung nicht an das Störsignal, sondern nur an die Signalanteile des Zielsignals angepasst, welche dekorreliert werden. Im

dekorrelierten Signal sind nun die nicht stationären korrelierten Signalanteile entfernt, wie sie bei der Aufzeichnung von gesprochener Sprache auftreten, nicht jedoch die durch die Rückkopplung hervorgerufenen Signalanteile. Das dekorrelierte Signal wird nun als ein Zwischensignal dem adaptiven Filter zugeführt, welches basierend auf dem durch Rückkopplung hervorgerufenen Störsignal ein Kompensationssignal erzeugen kann, welches zur Unterdrückung der Störgeräusche in den Hauptsignalpfad zurückgeführt wird.

[0020] Günstigerweise wird das Eingangssignal zeitdiskretisiert, wobei als adaptives Filter ein "least mean square"-Algorithmus (LMS) verwendet wird. Bevorzugt wird dabei das Ausgangssignal als das Referenzsignal verwendet, und das Fehlersignal des LMS-Filters durch die Differenz aus dem Eingangssignal und dem Kompensationssignal gebildet. Das angegebene Verfahren ist insbesondere bei der Verwendung eines LMS-Algorithmus im adaptiven Filter vorteilhaft, da durch die Frequenzverzerrung des Ausgangssignals die Divergenz-Probleme, welche bei der Verwendung eines LMS-Algorithmus zur adaptiven Filterung von durch Rückkopplung bedingten Störsignalen auftreten, gelöst werden.

[0021] Als weiter vorteilhaft erweist es sich hierbei, wenn die Schrittweite im LMS-Algorithmus über das zweite Zwischensignal normalisiert wird. Dieses Vorgehen wird auch bezeichnet als "Normalized least mean square" (NLMS). Durch eine solche Normalisierung werden die Konvergenzeigenschaften des Algorithmus verbessert. Die optimalen Filterkoeffizienten sind im Allgemeinen gegeben durch die Lösung der Filtergleichung mittels eines Wiener-Filters. Dieses kann jedoch aufgrund der statischen Eigenschaften und der begrenzten Umsetzungszeit meist nicht angewandt werden, weswegen Abschätzungen für die durch das Wiener-Filter gegebenen Filterkoeffizienten verwendet werden, wobei die Abschätzungen im Idealfall gegen die Wiener-Lösung konvergieren. Im Falle eines LMS-Algorithmus zur Abschätzung der im Sinne eines Wiener-Filters optimalen Filterkoeffizienten kann eine zu große Schrittweite μ in der Nähe der optimalen Lösung die Konvergenz verschlechtern, da im Lösungsraum durch die Iterationsschritte eine relativ grobe Bewegung um die optimale Lösung stattfindet. Durch die Normalisierung der Schrittweite und damit durch den Übergang zum NLMS wird in der Nähe der optimalen Filterkoeffizienten die Bewegung verfeinert, wodurch in den einzelnen Iterationsschritten ein übermäßiges Entfernen von der optimalen Lösung im Lösungsraum unterbunden wird.

[0022] Zweckmäßigerweise wird die Frequenzverzerrung zur Bildung des Ausgangssignals aus dem ersten Zwischensignal durch eine Frequenzverschiebung erreicht. Insbesondere wird dabei eine zeitabhängige Frequenzverschiebung verwendet. Dies bietet die Möglichkeit, die Anpassungsgeschwindigkeit des Dekorrelierers auf die Frequenzverschiebung abzustimmen, und somit die frequenzverschobenen Signalanteile des durch die akustische Rückkopplung hervorgerufenen Störgeräusches von der Dekorrelierung wirksam auszunehmen. Jedoch kann eine Frequenzverzerrung auch durch eine Phasenmodifikation, eine Frequenztransposition oder eine nicht-lineare Transformation erfolgen. Auch in diesem Fall ist die Anpassungsgeschwindigkeit des Dekorrelierers bevorzugt auf den jeweiligen Grad der Frequenzverzerrung abzustimmen.

[0023] Als weiter vorteilhaft erweist sich, wenn das Ausgangssignal zur Bildung des zweiten Zwischensignals mittels eines linearen Prädiktionsfilters dekorreliert wird. Die Filterkoeffizienten des linearen Prädiktionsfilters sind dabei bevorzugt mittels einer Levinson-Durbin-Rekursion oder mittels eines LMS- bzw. NLMS-Algorithmus zu bestimmen. Der Vorteil eines linearen Prädiktionsfilters besteht darin, dass hierfür nur lineare Gleichungssysteme zu lösen sind, was die numerische Komplexität für das jeweilige Filterproblem begrenzt. Insbesondere kann auch das Eingangssignal oder das kompensierte Eingangssignal mittels eines linearen Prädiktionsfilters dekorreliert werden, und zur Bildung des dritten Zwischensignals herangezogen werden, welches als Eingangsgröße dem adaptiven Filter zugeführt wird.

[0024] Bevorzugt werden dabei für die Filterkoeffizienten des linearen Prädiktionsfilters zeitabhängige Autokorrelationswerte des Ausgangssignals und/oder eines auf dem Eingangssignal basierenden Fehlersignals herangezogen. Insbesondere können die Autokorrelationswerte dabei für einen Levinson-Durbin-Algorithmus verwendet werden. Die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit der Autokorrelationswerte ermöglicht eine Abstimmung der Dekorrelierung an den Grad der Frequenzverzerrung über die geeignete Wahl eines entsprechenden Zeitfensters, nach welchem jeweils die Autokorrelationswerte erneut ermittelt werden.

[0025] Besonders bevorzugt werden die Filterkoeffizienten des, insbesondere jedes linearen Prädiktionsfilters in Abhängigkeit von der Dekorrelierungsstärke der Frequenzverzerrung angepasst. Dies bedeutet insbesondere, dass das Zeitfenster, in welchem Signale als stationär betrachtet werden können, von der Dekorrelierungsstärke der Frequenzverzerrung abhängt. Im Fall eines Levinson-Durbin-Algorithmus kann dies beispielsweise über eine wiederholte Anpassung der Autokorrelationswerte in den genannten Zeitabständen erfolgen, aus welchen die Filterkoeffizienten erneut zu ermitteln sind. Im Fall eines NLMS-Algorithmus kann stattdessen entsprechend die Schrittweite in den genannten Zeitabständen angepasst werden.

[0026] Durch die beschriebene funktionale Abhängigkeit der Zeitabstände bzw. des stationären Zeitfensters kann beeinflusst werden, welche Signalanteile vom Dekorrelierer noch als stationär wahrgenommen werden, so dass die von der Frequenzverzerrung betroffenen Signalanteile des Störsignals nicht mit dekorreliert werden. Ein Dekorrelierer, welcher ein zu kurzes "stationäres Zeitfenster" aufweist, könnte auch Signalanteile eines frequenzverzerrten ursprünglich monofrequenten Signals als stationär auffassen und daher mit dekorrelieren. Dies wird dadurch umgangen, dass die Anpassungsgeschwindigkeit der Dekorrelierung an den Grad der Frequenzverzerrung, insbesondere an die dieser eigenen Dekorrelierungsstärke, angepasst wird. wird beispielsweise eine zeitabhängige Frequenzverschiebung gewählt,

so ist diese bevorzugt schneller durchzuführen, als im Zeitfenster für die Dekorrelierung Signale als stationär betrachtet werden.

[0027] In einer weiter vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Filterkoeffizienten des, insbesondere jedes linearen Prädiktionsfilters in Abhängigkeit von einer Transferfunktion eines Modells des akustischen Systems angepasst, welches das wenigstens eine Mikrofon und wenigstens einen das korrigierte Ausgangssignal wiedergebenden Lautsprecher umfasst. Insbesondere können dabei die Zeitabstände für die Anpassung der Filterkoeffizienten zusätzlich auch von der Dekorrelierungsstärke der Frequenzverzerrung abhängen. Die Transferfunktion kann hierbei die spezifischen Kenndaten des akustischen Systems enthalten, wie z.B. Verstärkungswerte in einzelnen Sub-Bändern. In ein solches Modell kann dabei, wenigstens implizit über Koeffizienten der Transferfunktion, auch die Wahrscheinlichkeit eingehen, dass eine Rückkopplung Störgeräusche bei einer bestimmten Frequenz hervorruft. Ist eine Anregung durch Rückkopplung sehr wahrscheinlich bzw. oberhalb eines vorher festgelegten Grenzwertes für die Wahrscheinlichkeit, kann die Anpassungsgeschwindigkeit der Dekorrelierung verringert werden, um sicherzustellen, dass die frequenzverzerrten Anteile des ursprünglich monofrequenten Störsignals nicht als stationär betrachtet und mit dekorreliert werden. Ist eine Rückkopplung unwahrscheinlich, kann das Zeitfenster für die Anpassung des Dekorrelierers verkürzt werden, so dass tonale Signalkomponenten, welche z.B. durch Sprachaufnahme erzeugt wurden, schnell erkannt werden, und dekorreliert werden.

[0028] Die Erfindung nennt weiter ein akustisches System, welches umfassend wenigstens ein Mikrofon zur Erzeugung eines Eingangssignals, wenigstens einen Lautsprecher zur Wiedergabe eines Ausgangssignals, und eine Steuereinheit umfasst, welche dazu eingerichtet ist, ein Störgeräusch, das durch Rückkopplung des über den wenigstens einen Lautsprecher wiedergegebenen Ausgangssignals in das vom wenigstens einen Mikrofon erzeugte Eingangssignal hervorgerufen wird, durch das vorbeschriebene Verfahren unterdrücken. Insbesondere ist das akustische System dabei als ein Hörgerät, und vorteilhaft als ein Hörhilfegerät ausgebildet. Die für das Verfahren und seine Weiterbildungen angegebenen Vorteile können dabei sinngemäß auf das akustische System übertragen werden.

[0029] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen jeweils schematisch:

FIG 1 in einem Blockdiagramm der Ablauf eines Verfahrens zur Unterdrückung eines Störgeräusches in einem akustischen System, und

FIG 2 in einem Blockdiagramm eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit des Verfahrens nach FIG 1.

[0030] Einander entsprechende Teile und Größen sind in allen Figuren jeweils mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0031] In FIG 1 ist schematisch in einem Blockdiagramm der Ablauf eines Verfahrens 1 zur Unterdrückung eines Störgeräusches g in einem akustischen System 2 dargestellt. Das akustische System 2, welches hier gegeben ist durch ein Hörgerät 3, beispielsweise ein Hörhilfegerät, umfasst dabei ein Mikrofon 4 und einen Lautsprecher 6. Das vom Mikrofon 4 aufgezeichnete Mikrofonsignal m wird in einem Hauptsignalpfad 8 einer Signalverarbeitungseinheit 10 zugeführt, wo es unter anderem verstärkt wird. Am Ende des Hauptsignalpfads 8 wird ein Ausgangssignal x_s an das Mikrofon 4 ausgegeben, welches aus dem Ausgangssignal x_s ein akustisches Signal p erzeugt. Ein Teil des vom Lautsprecher 6 erzeugten akustischen Signals p wird als Rückkopplung f_b erneut vom Mikrofon 4 aufgezeichnet, und findet somit Eingang in das Mikrofonsignal m . Durch die Rückkopplung f_b werden Signalanteile des akustischen Signals p im Mikrofonsignal m erneut der Signalverarbeitungseinheit 10 zugeführt und dort weiter verstärkt. Durch die wiederholte Verstärkung, Wiedergabe und Aufnahme in einem geschlossenen Prozess entstehen Störgeräusche g in der Form von nahezu monofrequenten Pfeiftönen. Zur Unterdrückung der Störgeräusche g ist der Signal-Rückkopplungspfad 16 vorgesehen.

[0032] Für den Signal-Rückkopplungspfad 16 wird aus dem Hauptsignalpfad 8 das Ausgangssignal x_s ausgekoppelt und einem Dekorrelierer 18 zugeführt. Der Dekorrelierer 18 wird hierbei gebildet durch ein lineares Prädiktionsfilter 20.

[0033] Im Hauptsignalpfad 8 gibt die Signalverarbeitungseinheit 10 ein erstes Zwischensignal x aus, welches durch eine Frequenzverzerrung 22 in das Ausgangssignal x_s umgewandelt wird. Die Frequenzverzerrung 22, welche im vorliegenden Fall durch eine Frequenzverschiebung 23 erreicht wird, hat zur Folge, dass das lineare Prädiktionsfilter 20 nicht die den Störgeräuschen g entsprechenden Signalanteile dekorreliert, sondern nur Signalanteile eines Zielsignals. Vom linearen Prädiktionsfilter 20 wird ein zweites Zwischensignal x_w als Eingangsgröße an ein adaptives Filter 24 ausgegeben. Das adaptive Filter 24 erzeugt aus dem Ausgangssignal x_s ein Kompensationssignal c , welches zur Kompensation der Störgeräusche g vom Mikrofonsignal m subtrahiert wird. Hierdurch wird der Signal-Rückkopplungspfad 16 geschlossen.

[0034] Für die Erzeugung des Kompensationssignals c wird dem adaptiven Filter 24 ein weiteres Zwischensignal ew als Eingangssignal zugeführt. Dieses dritte Zwischensignal ew wird gebildet aus dem Fehlersignal e , welches sich aus dem um das Kompensationssignal c kompensierten Mikrofonsignal m ergibt. Das Fehlersignal e wird nun ebenso durch ein lineares Prädiktionsfilter 26 dekorreliert und das dekorrelierte Fehlersignal ew als zweite Eingangsgröße dem ad-

aptiven Filter 24 zugeführt. Aus dem dekorrelierten Fehlersignal ew und dem zweiten Zwischensignal xw werden nun in einem Filterblock 28 des adaptiven Filters 24 die Koeffizienten h berechnet, aus welchen ein Signalblock 30 des adaptiven Filters zusammen mit dem Ausgangssignal xs das Kompensationssignal c erzeugt.

[0035] Durch die Frequenzverschiebung 23 wird hierbei sichergestellt, dass das lineare Prädiktionsfilter 20 keine den Störgeräuschen g zugehörige Signalanteile dekorreliert, wodurch das adaptive Filter 24 diese nicht mehr mit dem Kompensationssignal c kompensieren würde. Die Länge des stationären Zeitfensters T der linearen Prädiktionsfilter 20, 26, und damit ihre Anpassungsgeschwindigkeit, wird dabei in Abhängigkeit der Frequenzverschiebung 23 gesteuert. Eine Steuereinheit 32 im Hörgerät 3 führt dabei alle angegebenen Verfahrensschritte durch.

[0036] In FIG 2 ist in einem Blockdiagramm eine leichte Abwandlung des in FIG 1 dargestellten Verfahrens 1 gezeigt. Hier wird im akustischen System 2, also insbesondere in einem Hörgerät 3, beispielsweise in einem Hörhilfegerät, das dekorrelierte Fehlersignal ew , welches als Eingangsgröße dem adaptiven Filter zugeführt wird, aus einem im linearen Prädiktionsfilter 26 dekorrelierten Eingangssignal mw und einem dekorrelierten Kompensationssignal cw gebildet. Das dekorrelierte Kompensationssignal cw wird dabei im Filterblock 28 des adaptiven Filters aus dem im linearen Prädiktionsfilter 26 dekorrelierten Fehlersignal ew und dem zweiten Zwischensignal xw gebildet, welches durch das im linearen Prädiktionsfilter 20 dekorrelierten Ausgangssignal xs gegeben ist. Die Länge des stationären Zeitfensters T der linearen Prädiktionsfilter 20, 26, und damit ihre Anpassungsgeschwindigkeit, wird hierbei durch eine Anpassungsregelung 34 bestimmt, in welche der Grad df der Frequenzverschiebung 23, der Gain n der Signalverarbeitungseinheit 10 in einzelnen Sub-Bändern, und eine nicht näher dargestellte Transferfunktion des akustischen Systems 2 Eingang finden und zur Bestimmung des Zeitfensters T herangezogen werden. Ebenso kann dabei auch ein durch die Filterkoeffizienten h bestimmtes Modell des akustischen Rückkopplungspfad fb mit herangezogen werden, so dass die Anpassungsgeschwindigkeit der Dekorrelierung in den linearen Prädiktionsfilter 20, 26 auch in Abhängigkeit der durch dieses Modell geschätzten Rückkopplung bestimmt werden. Die Verwendung einer derartigen Anpassungsregelung 34 ist dabei nicht auf die in FIG 2 dargestellte Form des Signal-Rückkopplungspfad 16 beschränkt, sondern kann prinzipiell in verschiedenen Ausführungsvarianten, insbesondere im in FIG 1 gezeigten Ausführungsbeispiel, Verwendung finden.

[0037] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, ist die Erfindung nicht durch dieses Ausführungsbeispiel eingeschränkt. Andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren (1) zur Unterdrückung eines Störgeräusches (g) in einem akustischen System (2), wobei das akustische System (2) wenigstens ein Mikrofon (4) und wenigstens einen Lautsprecher (6) umfasst, wobei das wenigstens eine Mikrofon (4) ein Eingangssignal (m) erzeugt und wobei der wenigstens eine Lautsprecher (6) ein akustisches Signal (p) erzeugt, welches teilweise auf das wenigstens eine Mikrofon (4) rückkoppelt, wobei entlang eines Hauptsignalpfades (8) in Abhängigkeit vom Eingangssignal (m) ein erstes Zwischensignal (x), und aus dem ersten Zwischensignal (x) durch eine Frequenzverzerrung (22) ein Ausgangssignal (xs) gebildet wird, wobei aus dem Hauptsignalpfad (8) das Ausgangssignal (xs) in einen Signal-Rückkopplungspfad (16) ausgekoppelt wird, wobei im Signal-Rückkopplungspfad (16) aus dem Ausgangssignal (xs) durch eine Dekorrelierung (18) ein zweites Zwischensignal (xw) gebildet wird, das als Eingangsgröße für ein adaptives Filter (24) herangezogen wird, welches ein Kompensationssignal (c) erzeugt, und wobei das Kompensationssignal (c) dem Eingangssignal (m) zur Kompensation zugeführt wird, wobei aus dem Eingangssignal (m) und/oder aus dem kompensierten Eingangssignal (e) ein drittes Zwischensignal (ew) gebildet wird, welches als Eingangsgröße für das adaptive Filter herangezogen wird, und wobei das Ausgangssignal (xw) dem wenigstens einen Lautsprecher (4) zur Wiedergabe zugeführt wird.
2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, wobei das Eingangssignal (m) zeitdiskretisiert wird, und wobei als adaptives Filter ein "least mean square"-Algorithmus (LMS) verwendet wird.
3. Verfahren (1) nach Anspruch 2, wobei die Schrittweite im LMS-Algorithmus über das zweite Zwischensignal (xw) normalisiert wird.
4. Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Frequenzverzerrung (22) zur Bildung des Ausgangssignals (xs) aus dem ersten Zwischensignal (x) durch eine Frequenzverschiebung (23) erreicht wird.

EP 3 065 417 A1

5. Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ausgangssignal (x_s) zur Bildung des zweiten Zwischensignals (x_w) mittels eines linearen Prädiktionsfilters (20) dekorreliert wird.
- 5 6. Verfahren (1) nach Anspruch 5, wobei für die Filterkoeffizienten des linearen Vorhersage-Filters (20) zeitabhängige Autokorrelationswerte des Ausgangssignals (x_s) und/oder eines auf dem Eingangssignal (m) basierenden Fehlersignals (e) herangezogen werden.
- 10 7. Verfahren (1) nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, wobei die Filterkoeffizienten des linearen Prädiktionsfilters (20) in Abhängigkeit von der Dekorrelierungsstärke der Frequenzverzerrung (22) angepasst werden.
- 15 8. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Filterkoeffizienten des linearen Prädiktionsfilters (20) in Abhängigkeit von einer Transferfunktion eines Modells des akustischen Systems (2) angepasst werden, welches das wenigstens eine Mikrofon (4) und wenigstens einen das korrigierte Ausgangssignal (x_s) wiedergebenden Lautsprecher (6) umfasst.
- 20 9. Akustisches System (2), umfassend wenigstens ein Mikrofon (4) zur Erzeugung eines Eingangssignals (m), wenigstens einen Lautsprecher (6) zur Wiedergabe eines Ausgangssignals (x_s), und eine Steuereinheit (32), welche dazu eingerichtet ist, ein Störgeräusch (g) durch Rückkopplung des über den wenigstens einen Lautsprecher (6) wiedergegebenen Ausgangssignals (x_s) in das vom wenigstens einen Mikrofon (4) erzeugte Eingangssignal (m) durch ein Verfahren (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zu unterdrücken.
- 25 10. Akustisches System (2), welches als Hörgerät (3), insbesondere als ein Hörhilfegerät, ausgebildet ist.

30

35

40

45

50

55

FIG 1

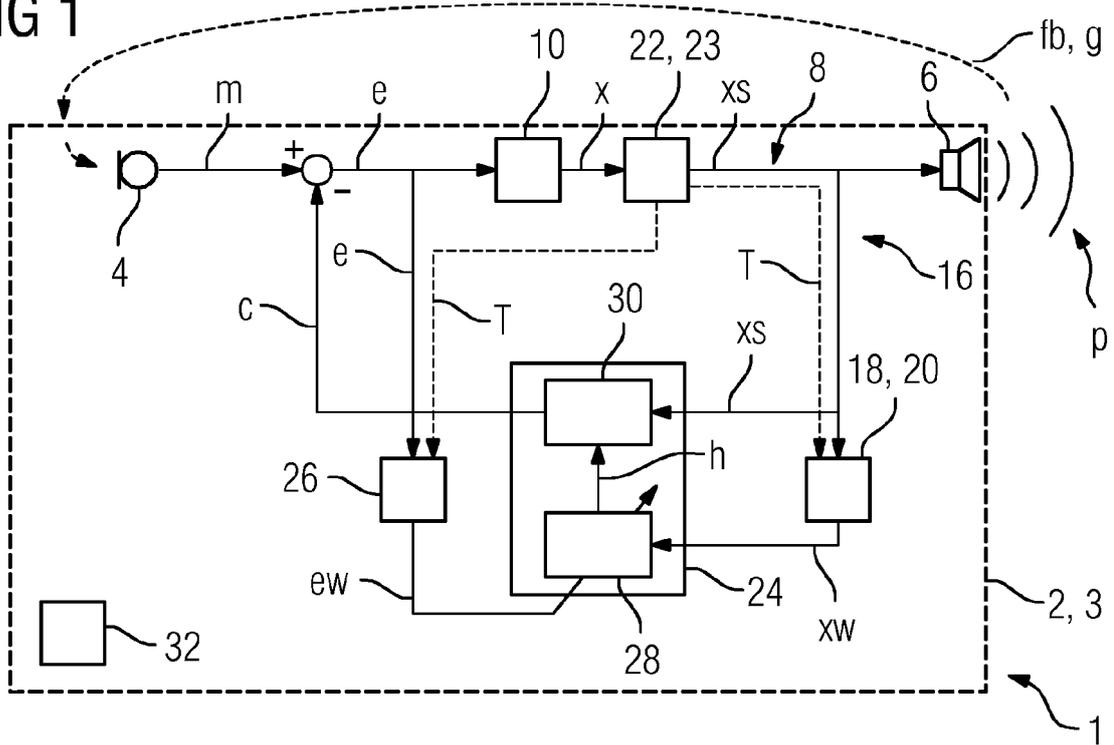
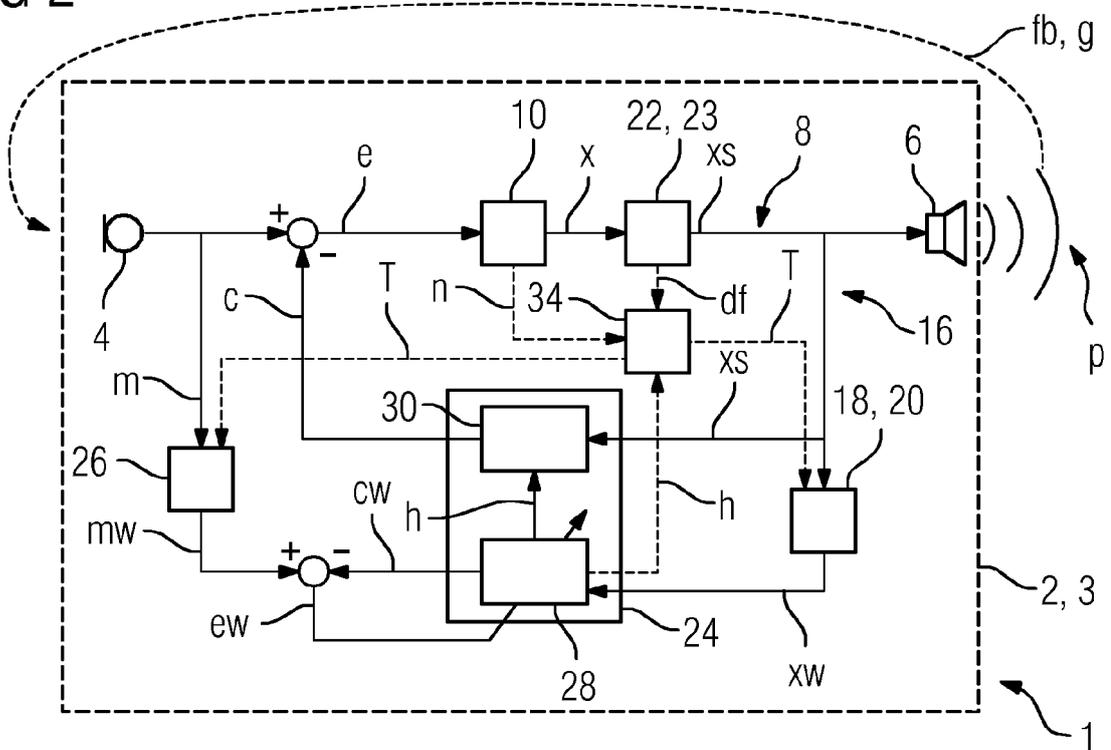


FIG 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 15 1092

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	EP 2 503 795 A2 (SIEMENS MEDICAL INSTR PTE LTD [SG]) 26. September 2012 (2012-09-26) * das ganze Dokument * -----	1-6,8-10	INV. H04R1/10 H04R3/02 H04R25/00
Y	DE 10 2013 207403 B3 (SIEMENS MEDICAL INSTR PTE LTD [SG]) 13. März 2014 (2014-03-13) * Zusammenfassung * * Absätze [0038] - [0042] * * Abbildung 3 *	1-6,8-10	
Y	EP 2 736 271 A1 (OTICON AS [DK]) 28. Mai 2014 (2014-05-28) * Zusammenfassung * * Absätze [0075] - [0124] * * Abbildungen 2d-f,3-8 *	1-6,8-10	
A	EP 2 086 250 A1 (OTICON AS [DK]) 5. August 2009 (2009-08-05) * Zusammenfassung * * Absätze [0001] - [0009] * * Absätze [0056] - [0070] * * Abbildungen 1b,1c,2 *	1-10	
A	WO 2005/096670 A1 (WIDEX AS [DK]; KLINKBY KRISTIAN TJALFE [DK]) 13. Oktober 2005 (2005-10-13) * Zusammenfassung * * Seite 8, Zeile 8 - Seite 12, Zeile 29 * * Abbildungen 3,10 * ----- -/--	1-10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H04R
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 1. August 2016	Prüfer Sucher, Ralph
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 15 1092

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	<p>KAWTHER ESSAFI ET AL: "A decorrelation based adaptive prediction filter for acoustic feedback cancellation in hearing aids", INFORMATION SCIENCES SIGNAL PROCESSING AND THEIR APPLICATIONS (ISSPA), 2010 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 10. Mai 2010 (2010-05-10), Seiten 69-72, XP031777918, ISBN: 978-1-4244-7165-2 * das ganze Dokument *</p> <p>-----</p>	1,9,10	
A	<p>JOSON H A L ET AL: "ADAPTIVE FEEDBACK CANCELLATION WITH FREQUENCY COMPRESSION FOR HEARING AIDS", THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS FOR THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, NEW YORK, NY, US, Bd. 94, Nr. 6, 31. Dezember 1993 (1993-12-31), Seiten 3248-3254, XP000407303, ISSN: 0001-4966, DOI: 10.1121/1.407231 * das ganze Dokument *</p> <p>-----</p>	1,9,10	
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>			
<p>Recherchenort München</p>		<p>Abschlußdatum der Recherche 1. August 2016</p>	<p>Prüfer Sucher, Ralph</p>
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 15 1092

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

01-08-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 2503795 A2	26-09-2012	DE 102011006129 A1	27-09-2012
			EP 2503795 A2	26-09-2012
			US 2012243716 A1	27-09-2012
15	-----			
	DE 102013207403 B3	13-03-2014	CN 104125526 A	29-10-2014
			DE 102013207403 B3	13-03-2014
			EP 2797344 A2	29-10-2014
			US 2014321683 A1	30-10-2014
20	-----			
	EP 2736271 A1	28-05-2014	CN 103841497 A	04-06-2014
			EP 2736271 A1	28-05-2014
			US 2014146977 A1	29-05-2014
25	-----			
	EP 2086250 A1	05-08-2009	CN 101516051 A	26-08-2009
			EP 2086250 A1	05-08-2009
			US 2009196445 A1	06-08-2009
			US 2014355802 A1	04-12-2014
30	-----			
	WO 2005096670 A1	13-10-2005	AT 413789 T	15-11-2008
			AU 2004317776 A1	13-10-2005
			CA 2555157 A1	13-10-2005
			CN 1926920 A	07-03-2007
			DK 1721488 T3	02-03-2009
			EP 1721488 A1	15-11-2006
35			JP 4177882 B2	05-11-2008
			JP 2007525917 A	06-09-2007
			US 2006291681 A1	28-12-2006
			WO 2005096670 A1	13-10-2005
40	-----			
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 Nicht-Patentliteratur

- **S. HAYKIN.** Adaptive Filter Theory. *Englewood Cliffs*, 1996 [0005]
- **T. V. WATERSCHOOT ; M. MOONEN.** Fifty years of acoustic feedback control: state of the art and future challenges. *Proc. IEEE*, Februar 2011, vol. 99 (2), 288-327 [0005]