



(10) **DE 10 2017 216 972 B4** 2019.11.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 216 972.9**

(22) Anmeldetag: **25.09.2017**

(43) Offenlegungstag: **28.03.2019**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.11.2019**

(51) Int Cl.: **H04R 25/00** (2006.01)

G10L 19/00 (2013.01)

G10L 21/02 (2013.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26129
Oldenburg, DE**

(74) Vertreter:

**Fink Numrich Patentanwälte PartmbB, 80634
München, DE**

(72) Erfinder:

**Schädler, Marc René, 26121 Oldenburg,
DE; Kollmeier, Birger, 26129 Oldenburg,
DE; Warzybok, Anna, 26131 Oldenburg, DE;
Hülsmeier, David, 26131 Oldenburg, DE; Buhl,
Mareike, 26127 Oldenburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 047 694	B4
DE	10 2004 044 565	A1
US	2007 / 0 067 166	A1
WO	2015/ 113 601	A1

**YUAN-PEI, L., VAIDJANATHAN, P.P.: Liner
Phase Cosine Modulated Maximally Decimated
Filter Banks with Perfect Reconstruction. In: IEEE
Transact. on Signal Proc., 42, 1995, 11, 2525-2539.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen**

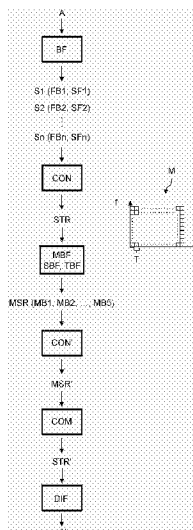
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen, bei dem:

a) als Eingangssignal (A) ein Audiosignal in der Form eines Zeitsignals aus Amplitudenwerten digital erfasst wird und die im Eingangssignal (A) enthaltenen spektralen Zeitsignale (S1, S2, ..., Sn) in mehreren Frequenzbändern (FB1, FB2, ..., FBn) mit zugeordneten Signalfrequenzen (SF1, SF2, ..., SFn) in der Form Mittenfrequenzen der jeweiligen Frequenzbänder (FB1, FB2, ..., FBn) bestimmt werden, wodurch eine Vielzahl von Signalpegeln für jedes spektrale Zeitsignal (S1, S2, ..., Sn) erhalten werden;

b) aus den spektralen Zeitsignalen (S1, S2, ..., Sn) eine spektro-temporale Repräsentation (STR) des Eingangssignals (A) ermittelt wird, die für jeweilige Zeitfenster (T) eine Vielzahl von Signalpegeln enthält, wobei die Signalpegel in einem Zeitfenster (T) jeweils einer anderen Signalfrequenz (SF1, SF2, ..., SFn) zugeordnet sind;

c) die spektro-temporale Repräsentation (STR) einer Modulations-Bandpassfilterung (MBF) umfassend eine spektrale Modulations-Bandpassfilterung (SBF) unterzogen wird, wobei durch die spektrale Modulations-Bandpassfilterung (SBF) aus mehreren nicht überlappenden spektralen Modulationsfrequenzbändern (MB1, MB2, ..., MB5), denen jeweils ein Frequenzwert in der Form der minimalen spektralen Modulationsfrequenz im entsprechenden Modulationsfrequenzband (MB1, MB2, ..., MB5) zugeordnet ist,

jeweils die spektrale Variation der im jeweiligen Modulationsfrequenzband (MB1, MB2, ..., MB5)



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur sog. Dynamikkompression von Audiosignalen bekannt. Ein bevorzugter Anwendungsbereich dieser Verfahren ist die Wandlung von Audiosignalen in Hörgeräten. Mittels der Dynamikkompression wird der Wertebereich der Signalpegel eines Audiosignals in einen verkleinerten Wertebereich abgebildet, so dass leise Geräusche besser gehört werden können und laute Geräusche als nicht zu laut empfunden werden. Die Kompression erfolgt in Abhängigkeit von den im Audiosignal enthaltenen Frequenzen.

[0003] Bekannte Verfahren zur Dynamikkompression sind beispielsweise in den Dokumenten DE 10 2006 047 694 B4, DE 10 2004 044 565 A1 sowie WO 2015/113601 A1 beschrieben.

[0004] Die herkömmlichen Verfahren zur Dynamikkompression weisen den Nachteil auf, dass Sprachanteile im Audiosignal meist genauso verstärkt werden wie Störgeräusche oder dass es zu Verzerrungen im erzeugten Ausgangssignal kommt. Demzufolge wird bei der Verwendung dieser Verfahren in Hörgeräten oftmals keine zufriedenstellende Signalqualität erreicht.

[0005] Die Druckschrift US 2007/0067166 A1 offenbart ein Verfahren zur Codierung von Audiosignalen. In diesem Verfahren wird ein Eingangssignal einer adaptiven Filterung unterzogen, um ein gefiltertes Signal zu erhalten. Anschließend werden Vektoren des gefilterten Signals in einer Zeit-Frequenz-Ebene eingeteilt, um eine Vektorkombination zu erhalten. In einem nächsten Schritt werden die zu quantisierenden Vektoren ausgewählt, die anschließend quantisiert werden, wobei ein Restfehler der Quantisierung berechnet wird. Aus der Quantisierung erhaltene Informationen werden schließlich an einen Decoder übermittelt.

[0006] In der Druckschrift YUAN-PEI, L., VAIDJANATHAN, P.P.: Liner Phase Cosine Modulated Maximally Decimated Filter Banks with Perfect Reconstruction. In: IEEE Transact. on Signal Proc., 42, 1995, 11, 2525-2539, wird eine Signalverarbeitung basierend auf einer Cosinus-modulierten Filterbank mit linearer Phase beschrieben.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen mit dem Ausgangssignale mit verbesserter Qualität erzeugt werden können sowie eine Vorrichtung hierfür zu schaffen.

[0008] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 bzw. durch die Vorrichtung nach Patentanspruch 14 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen. Dabei wird in einem Schritt a) als Eingangssignal ein Audiosignal (d.h. ein Schallwellensignal) in der Form eines Zeitsignals aus Amplitudenwerten (d.h. ein Signal mit Amplituden zu aufeinander folgenden Zeitpunkten) digital erfasst, wobei die im Eingangssignal enthaltenen spektralen Zeitsignale in mehreren Frequenzbändern bestimmt werden, wodurch eine Vielzahl von Signalpegeln (zu aufeinander folgenden Zeitpunkten) für jedes spektrale Zeitsignal erhalten wird. Den jeweiligen Frequenzbändern sind dabei Signalfrequenzen in der Form von entsprechenden Mittenfrequenzen zugeordnet. Vorzugsweise werden die Signalpegel in dB SPL (SPL = Sound Pressure Level) angegeben. Die digitale Erfassung des Audiosignals kann beispielsweise mittels eines Mikrofons mit zugeordnetem Analog-Digital-Wandler erfolgen. Die Extraktion von spektralen Zeitsignalen aus dem Eingangssignal ist an sich aus dem Stand der Technik bekannt und kann beispielsweise mittels einer Vielzahl von Bandpassfiltern erreicht werden, wie auch näher in der detaillierten Beschreibung erläutert ist.

[0010] In einem Schritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus den spektralen Zeitsignalen eine spektro-temporale Repräsentation des Eingangssignals ermittelt, wobei diese spektro-temporale Repräsentation für jeweilige Zeitfenster (aus mehreren aufeinander folgenden Zeitpunkten) eine Vielzahl von Signalpegeln enthält, wobei die Signalpegel in einem Zeitfenster jeweils einer anderen Signalfrequenz zugeordnet sind. In einer einfachen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann die spektro-temporale Repräsentation durch Mittelung der Signalpegel des Eingangssignals im jeweiligen Zeitfenster bestimmt werden. Vorzugsweise werden jedoch im Rahmen der Ermittlung der spektro-temporalen Repräsentation ein oder mehrere andere Verarbeitungsschritte durchgeführt, wobei bevorzugte Varianten dieser Verarbeitungsschritte weiter unten beschrieben werden.

[0011] In einem Schritt c) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die spektro-temporale Repräsentation einer Modulations-Bandpassfilterung umfassend eine spektrale Modulations-Bandpassfilterung unterzogen, wobei durch die spektrale Modulations-Bandpassfilterung aus mehreren nicht überlappenden und vorzugsweise aneinander angrenzenden spektralen Modulationsfrequenzbändern, denen jeweils ein Frequenzwert in der Form der minimalen spektralen Modulationsfrequenz im entsprechenden Modulationsfrequenzband zugeordnet ist, jeweils die spektrale Variation der im jeweiligen Modulationsfrequenzband enthaltenen Signalanteile entlang der Signalfrequenzen extrahiert wird. Sofern nichts anderes angegeben, wird hier und im Folgenden unter einem Modulationsfrequenzband ein spektrales Modulationsfrequenzband verstanden. Spektral bedeutet dabei, dass die Änderung der Signalanteile in Richtung der Signalfrequenzen betrachtet wird. Die spektrale Modulations-Bandpassfilterung, welche ein wesentliches Merkmal der Erfindung darstellt, berücksichtigt die Wechselwirkung zwischen den unterschiedlichen spektralen Zeitsignalen.

[0012] Als Ergebnis der spektralen Modulations-Bandpassfilterung erhält man für jedes Modulationsfrequenzband eine oder mehrere erste Modulationssignal-Repräsentationen, wobei jede erste Modulationssignal-Repräsentation für jeweilige Zeitfenster eine Vielzahl von Modulationssignalpegeln enthält, wobei die Modulationssignalpegel in einem Zeitfenster jeweils einer anderen Signalfrequenz zugeordnet sind. Sofern in Schritt c) nur eine spektrale Modulations-Bandpassfilterung durchgeführt wird, erhält man für jedes Modulationsfrequenzband nur eine einzelne erste Modulationssignal-Repräsentation. Im Falle, dass zusätzlich auch eine temporale Modulations-Bandpassfilterung durchgeführt wird, kann ein jeweiliges Modulationsfrequenzband gegebenenfalls mehrere erste Modulationssignal-Repräsentationen enthalten, von denen zumindest ein Teil temporal bandpass-gefiltert sind.

[0013] In einem Schritt d) des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die ersten Modulationssignal-Repräsentationen in zweite Modulationssignal-Repräsentationen gewandelt, d.h. aus jeder ersten Modulationssignal-Repräsentation wird eine zweite Modulationssignal-Repräsentation mit gleichem Modulationsfrequenzband wie die erste Modulationssignal-Repräsentation erzeugt. Dabei ist zumindest ein Teil der zweiten Modulationssignal-Repräsentationen gegenüber der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation modifiziert.

[0014] In Schritt e) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine modifizierte spektro-temporale Repräsentation ermittelt, indem die zweiten Modulationssignal-Repräsentationen derart kombiniert werden, dass für ein jeweiliges Zeitfenster jeder Signalpegel, der in der unmodifizierten spektro-temporalen Repräsentation oberhalb einer vorgegebenen Hörschwelle liegt, in der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation auf einen Signalpegel innerhalb eines Zielpegelbereichs abgebildet wird, wobei der Zielpegelbereich von der Signalfrequenz abhängt und durch eine untere Zielhörschwelle nach unten begrenzt ist. Der Begriff der Zielhörschwelle und auch der Hörschwelle ist derart zu verstehen, dass es sich um eine Schwelle mit zugeordneten Signalpegeln handelt, die von einem Normalhörenden gehört werden können. Ferner bezieht sich die weiter unten erwähnte Ruhehörschwelle eines Normalhörenden auf die minimalen Signalpegel, die ein Normalhörender gerade noch hören kann (z.B. nach Norm ISO 226: 2006-04). Analog ist die Ruhehörschwelle eines Schwerhörenden definiert. In einer bevorzugten Variante ist die untere Zielhörschwelle die Ruhehörschwelle eines Schwerhörenden. In einer weiteren bevorzugten Variante ist die vorgegebene Hörschwelle die Ruhehörschwelle eines Normalhörenden oder eine darüber liegende Hörschwelle.

[0015] In einem Schritt f) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation ein Ausgangssignal erzeugt, das gegenüber dem Eingangssignal modifiziert ist. Bei Verwendung des Verfahrens in einem Cochlea-Implantat kann die modifizierte spektro-temporale Repräsentation beispielsweise direkt als Signal für eine an sich bekannte Signalkodierung der Elektroden des Implantats verwendet werden. In diesem Fall stellt das kodierte Signal das Ausgangssignal des Schritts f) dar. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird in Schritt f) die Differenz zwischen der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation und der unmodifizierten spektro-temporalen Repräsentation ermittelt. Diese Differenz wird auf die spektralen Zeitsignale des Eingangssignals in den mehreren Frequenzbändern angewendet, wodurch das modifizierte Ausgangssignal erzeugt wird. Dieses Ausgangssignal kann dann in ein entsprechendes Audiosignal gewandelt werden, z.B. bei Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Hörgerät. Im Falle, dass die Differenz in dB angegeben ist, wird unter der Anwendung der Differenz insbesondere ein Verstärken bzw. Abschwächen der Amplitude des Eingangssignals um den Faktor $10^{\frac{\text{Differenz}}{20}}$ verstanden.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass eine Aufteilung der spektralen Zeitsignale eines Audiosignals in spektrale Modulationsfrequenzbänder erfolgt. Dabei macht man sich die Erkenntnis zunutze, dass durch eine geeignete Modifikation dieser spektralen Strukturen eine Verbesserung der Signalqualität vor allem im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit erreicht werden kann.

[0017] Der oben definierte Zielpegelbereich kann gegebenenfalls nur nach unten durch die untere Zielhörschwelle begrenzt sein. Vorzugsweise ist der Zielpegelbereich jedoch auch durch eine obere Zielhörschwelle nach oben begrenzt. Vorzugsweise entspricht die obere Zielhörschwelle einer Unbehaglichkeitsschwelle eines Schwerhörenden, d.h. einer Schwelle, bei der die Signalpegel derart hoch sind, dass sie von einem Schwerhörenden als unangenehm empfunden werden. Analog gibt es auch eine Unbehaglichkeitsschwelle eines Normalhörenden, d.h. eine Schwelle, bei der die Signalpegel derart hoch sind, dass sie von einem Normalhörenden als unangenehm empfunden werden.

[0018] In einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Wandlung der ersten Modulationssignal-Repräsentationen in zweite Modulationssignal-Repräsentationen in Schritt d) derart durchgeführt, dass alle zweiten Modulationssignal-Repräsentationen, deren jeweiliges Modulationsfrequenzband Modulationsfrequenzen von größer gleich $0,25/\text{ERB}$ enthält, gegenüber den entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentationen unmodifiziert bleiben oder verstärkt werden. Dabei kann gegebenenfalls ein Teil dieser Bänder unmodifiziert bleiben, wohingegen ein anderer Teil der Bänder verstärkt wird. Bei dieser Variante macht man sich die Erkenntnis zunutze, dass für die Spracherkennung die schmalen spektralen Strukturen besonders wichtig sind, so dass diese erhalten bleiben sollen. Es wird somit eine bessere Sprachverständlichkeit erreicht.

[0019] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Wandlung der ersten Modulationssignal-Repräsentationen in zweite Modulationssignal-Repräsentationen in Schritt d) derart durchgeführt, dass für das Modulationsfrequenzband mit dem höchsten Frequenzwert jede zweite Modulationssignal-Repräsentation mit der ersten Modulationssignal-Repräsentation identisch ist und eine oder mehrere zweite Modulationssignal-Repräsentationen umfassend zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation für das Modulationsfrequenzband mit dem zweithöchsten Frequenzwert und/oder jede zweite Modulationssignal-Repräsentation für das Modulationsfrequenzband mit dem niedrigsten Frequenzwert gegenüber der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation modifiziert ist, wobei die zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation für das Modulationsfrequenzband mit dem zweithöchsten Frequenzwert vorzugsweise verstärkt ist. Hierdurch wird ebenfalls eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit für das modifizierte Ausgangssignal erreicht.

[0020] In einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die zweiten Modulationssignal-Repräsentationen in Schritt e) derart kombiniert, dass zu der oder den zweiten Modulationssignal-Repräsentationen für das Modulationsfrequenzband mit dem niedrigsten Frequenzwert zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation für das Modulationsfrequenzband mit dem zweithöchsten Frequenzwert und alle zweiten Modulationssignal-Repräsentationen für das Modulationsfrequenzband mit dem höchsten Frequenzwert hinzuaddiert werden und anschließend schrittweise die restlichen zweiten Modulationssignal-Repräsentationen in der Reihenfolge hin zu Modulationsfrequenzbändern mit niedrigen Frequenzwerten hinzuaddiert werden, wobei vor dem Hinzuaddieren einer vorgegebenen Anzahl von Modulationssignalpegeln einer zweiten Modulationssignal-Repräsentation aus den restlichen zweiten Modulationssignal-Repräsentationen für ein jeweiliges Zeitfenster überprüft wird, ob eine Zulässigkeitsbedingung für die vorgegebene Anzahl von Modulationssignalpegeln verletzt ist. Je nach Ausgestaltung kann die vorgegebene Anzahl einen Teil oder ggf. auch alle Modulationssignalpegel der jeweiligen zweiten Modulationssignal-Repräsentation betreffen. Zum Beispiel kann die Zulässigkeitsbedingung für einen Teil der Signalfrequenzen erfüllt sein, wohingegen sie für einen anderen Teil der Signalfrequenzen nicht erfüllt ist. Das Hinzuaddieren der vorgegebenen Anzahl für das jeweilige Zeitfenster (für alle noch hinzuaddierbaren zweiten Modulationssignal-Repräsentationen) wird bei Verletzen der Zulässigkeitsbedingung beendet, wobei die Zulässigkeitsbedingung dann verletzt ist, wenn das Hinzuaddieren des Modulationssignalpegels in einem jeweiligen Zeitfenster für zumindest eine Signalfrequenz in der vorgegebenen Anzahl zu einem Signalpegel außerhalb des oben definierten Zielpegelbereichs führt, welcher vor dem Hinzufügen noch innerhalb des Zielpegelbereichs lag. Mit dieser Variante kann auf einfache Weise sichergestellt werden, dass die Signalpegel im Zielpegelbereich bleiben.

[0021] In einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform wird in Schritt d) für das Modulationsfrequenzband mit dem niedrigsten Frequenzwert die erste Modulationssignal-Repräsentation mittels einer Kompressions-Funktion in die zweite Modulationssignal-Repräsentation derart gewandelt, dass für jede Signalfrequenz in einem jeweiligen Zeitfenster ein vorgegebener Wertebereich der ersten Modulationssignalpegel auf einen verkleinerten Wertebereich der zweiten Modulationssignalpegel abgebildet wird. Je nach Anwendung kann der verkleinerte Wertebereich innerhalb des vorgegebenen Wertebereichs der ersten Modulationssignalpegel liegen oder mit diesem Wertebereich überlappen. In Spezialfällen kann der verkleinerte Wertebereich auch außerhalb des vorgegebenen Wertebereichs liegen. Der vorgegebene Wertebereich braucht dabei nicht alle Signalpegel umfassen, die in der ersten Modulationssignal-Repräsentation auftreten. Die Kompressions-

Funktion wird vorzugsweise ausschließlich auf das Modulationsfrequenzband mit dem niedrigsten Frequenzwert angewendet. Mit dieser Variante wird eine geeignete Kompression in einen gewünschten Zieldynamikbereich gewährleistet.

[0022] In einer bevorzugten Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform ist der vorgegebene Wertebereich nach unten durch eine untere Hörschwelle begrenzt, welche die Ruhehörschwelle eines Normalhörenden oder eine darüber liegende Hörschwelle ist, und der verkleinerte Wertebereich ist nach unten durch eine untere Hörschwelle begrenzt, welche vorzugsweise die Ruhehörschwelle eines Schwerhörenden ist. Dabei sind der vorgegebene Wertebereich und der verkleinerte Wertebereich vorzugsweise auch durch eine obere Hörschwelle nach oben begrenzt, wobei die obere Hörschwelle für den vorgegebenen Wertebereich vorzugsweise eine Unbehaglichkeitsschwelle eines Normalhörenden ist und die obere Hörschwelle für den verkleinerten Wertebereich vorzugsweise eine Unbehaglichkeitsschwelle eines Schwerhörenden ist. Diese Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich insbesondere zur Verwendung in Hörhilfen, wie Hörgeräten oder Cochlea-Implantaten oder Hirnstamm-Implantaten.

[0023] In einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Schritt d) zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation durch die Multiplikation der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation mit einem Faktor größer Null erhalten. Vorzugsweise werden alle zweiten Modulationssignal-Repräsentationen, außer der Modulationssignal-Repräsentation für das Modulationsfrequenzband mit dem niedrigsten Frequenzwert, über eine solche Modifikation erhalten. In einer weiteren bevorzugten Variante ist der Faktor auf jeden Fall für zumindest eine Modulationssignal-Repräsentation des Modulationsfrequenzbands mit dem zweithöchsten Frequenzwert ≥ 1 .

[0024] In einer weiteren bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in Schritt b) die Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals derart verändert, dass die Signalpegel innerhalb eines jeweiligen Zeitfensters durch einen Wert zwischen einschließlich dem Maximalwert und einschließlich dem Minimalwert der Signalpegel innerhalb des jeweiligen Zeitfensters, vorzugsweise durch den Maximalwert, ersetzt werden, wodurch einem Zeitfenster ein einzelner Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals zugeordnet wird. Sofern keine weitere Signalverarbeitung in Schritt b) durchgeführt wird, stellen diese einzelnen Signalpegel die Signalpegel der spektro-temporalen Repräsentation dar. Diese Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht eine Rechenzeit- und Datenreduktion.

[0025] In einer bevorzugten Variante der soeben beschriebenen Ausführungsform werden in Schritt b) die einzelnen Signalpegel der jeweiligen spektralen Zeitsignale für die jeweiligen Zeitfenster derart angepasst, dass der ursprüngliche Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals über eine vorbestimmte Anzahl von mehreren Zeitfenstern konstant gehalten wird und hierdurch aktualisierte ursprüngliche Signalpegel erzeugt werden, solange sich der ursprüngliche Signalpegel in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern nicht erhöht, wobei im Falle, dass sich der ursprüngliche Signalpegel für ein Zeitfenster in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern erhöht, der erhöhte Signalpegel für das Zeitfenster als aktualisierter ursprünglicher Signalpegel weiterverwendet wird, und wobei im Falle, dass sich der ursprüngliche Signalpegel in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern nicht erhöht, der ursprüngliche Signalpegel in den Zeitfenstern, die auf die vorbestimmte Anzahl von mehreren Zeitfenstern folgen, sukzessive erniedrigt wird und hierdurch aktualisierte ursprüngliche Signalpegel erzeugt werden, bis der nächste ursprüngliche Signalpegel für ein Zeitfenster höher wird als der erniedrigte Signalpegel, woraufhin der höhere Signalpegel für das Zeitfenster als aktualisierter ursprünglicher Signalpegel weiterverwendet wird. Ohne weitere Signalverarbeitung in Schritt b) stellen die derart erhaltenen Signalpegel die Signalpegel der spektro-temporalen Repräsentation dar. Mit dieser Variante der Erfindung kann eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit im modifizierten Ausgangssignal erreicht werden.

[0026] In einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, welche mit jeder der beiden zuvor beschriebenen Ausführungsformen kombiniert werden kann, wird in einem jeweiligen Zeitfenster für jeden einzelnen Signalpegel (gegebenenfalls angepasst basierend auf der zuvor beschriebenen Ausführungsform) der spektralen Zeitsignale in einer Kopie aller Signalpegel des jeweiligen Zeitfensters eine vorbestimmte Anzahl von Signalpegeln, welche spektral gemäß der Reihenfolge der Signalfrequenzen zu dem jeweiligen einzelnen Signalpegel benachbart sind, gedämpft. Dabei ist die Dämpfung umso höher, je größer der spektrale Abstand eines Signalpegels aus der vorbestimmten Anzahl von Signalpegeln zu dem jeweiligen einzelnen Signalpegel gemäß der Reihenfolge der Signalfrequenzen ist. Im Falle, dass der Maximalwert der gedämpften Signalpegel der vorbestimmten Anzahl von Signalpegeln größer als der jeweilige einzelne Signalpegel ist, ersetzt der Maximalwert den jeweiligen einzelnen Signalpegel in den ursprünglichen Signalpegeln (d.h. nicht in der Kopie der Signalpegel). Ist dies nicht der Fall, bleibt der jeweilige einzelne Signalpegel unverändert. Mit dieser Variante

kann die Qualität des Ausgangssignals weiter verbessert werden. Insbesondere werden Töne, die von einem Normalhörenden nicht gehört werden, weniger verstärkt.

[0027] Die im erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführte Modulations-Bandpassfilterung in Schritt c) kann neben der spektralen Modulations-Bandpassfilterung auch eine temporale Modulations-Bandpassfilterung umfassen. Diese temporale Modulations-Bandpassfilterung wird auf die spektrale-temporale Repräsentation angewendet, wobei durch die temporale Modulations-Bandpassfilterung die temporale Variation der in einem oder mehreren Zeitmodulationsfrequenzbändern enthaltenen Signalanteile entlang der aufeinander folgenden Zeitfenster extrahiert wird, so dass eines oder mehrere der ersten Modulationssignale auch temporal bandpassgefiltert sind.

[0028] In einer weiteren bevorzugten Variante umfasst die spektrale Modulations-Bandpassfilterung in Schritt c) eine Tiefpassfilterung der spektrale-temporalen Repräsentation mit Tiefpassfiltern mit monoton zunehmender spektraler Breite entlang der Signalfrequenzen und eine Differenzbildung zwischen einer tiefpassgefilterten Repräsentation und der benachbarten tiefpassgefilterten Repräsentation mit der nächsthöheren spektralen Breite.

[0029] Neben dem oben beschriebenen Verfahren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen, wobei die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, das erfindungsgemäße Verfahren bzw. eine oder mehrere bevorzugte Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen. Mit anderen Worten enthält diese Vorrichtung neben einer Einheit zum digitalen Erfassen der Audiosignale ein Rechnermittel, mit dem alle weiteren Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. bevorzugter Varianten dieses Verfahrens durchgeführt werden können.

[0030] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Hörhilfe, wie z.B. ein Hörgerät (d.h. ein Gerät, welches aus dem Ausgangssignal ein Schallsignal generiert) oder ein Cochlea-Implantat. Im Falle eines Hörgeräts ist in der Vorrichtung auch eine Einheit zur Wandlung der modifizierten Ausgangssignale in akustische Signale vorgesehen. Im Falle eines Cochlea-Implantats ist eine Einheit zur Wandlung der modifizierten Ausgangssignale in entsprechende Strompulse der Elektrodenanordnung des Implantats vorgesehen.

[0031] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der beigelegten Figuren detailliert beschrieben.

[0032] Es zeigen:

Fig. 1 ein Flussdiagramm, welches den Ablauf einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wiedergibt;

Fig. 2 ein Diagramm, welches die Übertragungsfunktionen von Bandpassfiltern zeigt, die in einer Ausführungsform der Erfindung zur Erzeugung von spektralen Zeitsignalen verwendet werden können;

Fig. 3 und **Fig. 4** Diagramme, welche eine Kompressionsfunktion zur Dynamikkompression gemäß einer Variante der Erfindung wiedergeben.

[0033] Gemäß der nachfolgend beschriebenen Ausführungsform wird ein Eingangssignal A in der Form eines digital erfassten Audiosignals verarbeitet. Dieses Eingangssignal kann beispielsweise mittels eines Mikrofons mit Analog-Digital-Wandler erfasst worden sein. Die nachfolgend erläuterten Verfahrensschritte werden dabei durch eine geeignete Rechneinheit durchgeführt. In einer bevorzugten Variante der Erfindung ist diese Rechneinheit Bestandteil eines Hörgeräts, das über ein Mikrofon Audiosignale erfasst und nach deren Verarbeitung entsprechend modifizierte Audiosignale über einen Lautsprecher in den menschlichen Gehörgang einspeist. Die Erfindung kann jedoch auch für andere Einsatzzwecke verwendet werden, welche weiter unten noch genannt werden.

[0034] Gemäß dem Ablaufdiagramm der **Fig. 1** wird das Eingangssignal A mittels einer Bandpassfilterung **BF** in spektrale Zeitsignale in einer Vielzahl von Frequenzbändern mit zugeordneten Mittenfrequenzen zerlegt. Im Folgenden werden diese Mittenfrequenzen auch als Signalfrequenzen bezeichnet. Man erhält somit entsprechende spektrale Zeitsignale **S1**, **S2**, ..., **Sn**, wobei n die Anzahl von Frequenzbändern repräsentiert. Das spektrale Zeitsignal **S1** entspricht dabei dem Frequenzband **FB1** mit der niedrigsten Mitten- bzw. Signalfrequenz **SF1**, das spektrale Zeitsignal **S2** dem Frequenzband **FB2** mit der zweithöchsten Signalfrequenz **SF2** und so weiter. Das spektrale Zeitsignal **Sn** gehört somit zu dem Frequenzband **FBn** mit der höchsten Signalfrequenz **SFn**. Die einzelnen spektralen Zeitsignale bestehen aus einer Vielzahl von Signalpegeln zu aufeinander-

ander folgenden Zeitpunkten. In der hier beschriebenen Ausführungsform sind die Signalpegel die Pegel der Absolutwerte der Amplituden des jeweiligen spektralen Zeitsignals in dB SPL. Die Amplituden werden jedoch gespeichert, wobei am Ende des hier beschriebenen Verfahrens die Differenzen auf diese Amplituden der entsprechenden Zeitsignale **S1** bis **S_n** angewendet werden.

[0035] **Fig. 2** zeigt ein Diagramm, welches die Übertragungsfunktionen von Bandpassfiltern verdeutlicht, die bei der Bandpassfilterung **BF** der **Fig. 1** verwendet werden können. Die einzelnen Übertragungsfunktionen sind als Kurven mit durchgezogenen Linien dargestellt und fortlaufend nummeriert, wobei aus Übersichtlichkeitsgründen nur einige Übertragungsfunktionen mit Bezugszeichen **FK1**, **FK3** bzw. **FK77** bezeichnet sind. Die Übertragungsfunktionen geben den Gewinn **G** in dB in Abhängigkeit von der Frequenz **f** in Hz wieder. Es werden insgesamt 78 Übertragungsfunktionen und damit 78 Bandpassfilter verwendet, wobei in **Fig. 2** aus Übersichtlichkeitsgründen nur jede zweite Übertragungsfunktion wiedergegeben ist. Darüber hinaus ist in **Fig. 2** die Summe der Übertragungsfunktionen durch die strichpunktierte Linie **SU** angedeutet. Die Summe der Übertragungsfunktionen weicht im Bereich von 200 Hz bis über 12 kHz weniger als 0,5 dB von der idealen Linie bei 0 dB ab und ist damit auch ggf. für die Verarbeitung von HiFi-Signalen geeignet.

[0036] Anstatt der in **Fig. 2** gezeigten Bandpassfilter können ggf. auch andere Bandpassfilter aus entsprechenden Filterbanken genutzt werden, wie z.B. aus der an sich bekannten Gammaton-Filterbank. Generell sollte die spektrale Zerlegung derart gewählt werden, dass deren zeitliche und spektrale Auflösung in etwa dem menschlichen Gehör entspricht und eine Resynthese des Eingangssignals ohne wahrnehmbare Signalverzerrungen durch Addition der spektralen Zeitsignale möglich ist. Vorzugsweise sollte dabei der Abstand zwischen den Mittenfrequenzen von benachbarten Filtern höchstens 1,0 ERB, bevorzugt jedoch höchstens 0,5 ERB, betragen.

[0037] Die aus der Bandpassfilterung **BF** erhaltenen spektralen Zeitsignale werden in einem nächsten Schritt **CON** in eine spektro-temporale Repräsentation **STR** konvertiert. Dabei werden die einzelnen spektralen Zeitsignale **S1** bis **S_n** zunächst mit einer geeigneten Fensterlänge im Zeitbereich, z.B. 1 ms, gefenstert. Für jedes Zeitfenster wird das Maximum des Signalpegels eines jeweiligen spektralen Zeitsignals innerhalb des Fensters bestimmt. Dieses Maximum wird als einzelner Signalpegel dem entsprechenden Zeitfenster zugeordnet. Mittels der Fensterung kann eine Rechenzeit- und Datenreduktion erreicht werden.

[0038] Auf die gefensterten spektralen Zeitsignale, welche nur noch Signalpegel für entsprechende Zeitfenster enthalten, werden anschließend rudimentäre Maskierungseffekte angewendet, um einige Signaleigenschaften, die Normalhörende nicht wahrnehmen können, zu entfernen. In der hier beschriebenen Ausführungsform wird sowohl eine temporale als auch eine spektrale Maskierung verwendet.

[0039] Im Rahmen der temporalen Maskierung wird der Signalpegel jedes spektralen Zeitsignals über einen Zeitabschnitt aus mehreren Zeitfenstern (z.B. 15 ms) konstant gehalten, solange sich der Signalpegel in diesem Zeitabschnitt nicht erhöht. Im Falle, dass sich der Signalpegel innerhalb des Zeitabschnitts erhöht, wird der erhöhte Signalpegel in einem neu beginnenden Zeitabschnitt weiterverwendet. Sollte sich der Signalpegel nicht erhöhen und damit im gesamten Zeitabschnitt konstant bleiben, wird er danach mit 1 dB pro Zeitfenster erniedrigt, bis der (ursprüngliche) Signalpegel für ein Zeitfenster höher als der erniedrigte Signalpegel wird, woraufhin der höhere Signalpegel für das entsprechende Zeitfenster weiterverwendet wird und ein neuer Zeitabschnitt begonnen wird. Mit dieser temporalen Maskierung bleiben schnelle Anstiege der Signalpegel erhalten, während schnelle Abfälle des Signalpegels nicht mehr dargestellt sind. Mittels der temporalen Maskierung kann eine Verbesserung der Verständlichkeit von Sprachsignalen erreicht werden.

[0040] Nach der temporalen Maskierung wird die spektrale Maskierung durchgeführt, bei der die spektralen Signale in einem jeweiligen Zeitfenster für alle Frequenzbänder betrachtet werden. In dem entsprechenden Zeitfenster wird dabei eine Verarbeitung für jeden Signalpegel des entsprechenden spektralen Signals durchgeführt, wobei hierfür für jeden Signalpegel eine Kopie aller Signalpegel im entsprechenden Zeitfenster erstellt und in einem Zwischenspeicher abgelegt wird. In der jeweiligen Kopie werden Nachbarsignalpegel berücksichtigt, welche spektral (d.h. in Richtung der Signal- bzw. Mittenfrequenzen) zu dem gerade betrachteten Signalpegel benachbart sind. Die Nachbarsignalpegel werden dabei mit entsprechenden Abschwächungsfaktoren abgeschwächt bzw. gedämpft, wobei die Abschwächung umso größer wird, je größer der spektrale Abstand des entsprechenden Nachbarsignalpegels vom gerade betrachteten Signalpegel ist. Ein Beispiel von Abschwächungsfaktoren ist in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben, wobei die Position 0 dem gerade betrachteten Signalpegel entspricht.

Distanz in ERB	-8	-4	-2	-1	0	1	2	4	8
Abschwächung in dB	-80	-60	-30	-10	0	-20	-60	-120	-160

[0041] Wie man aus dieser Tabelle erkennt, wird beispielsweise der Nachbarsignalwert, der eine spektrale Position um 1 ERB höher als der betrachtete Signalwert hat, um 20 dB reduziert. Demgegenüber wird der Nachbarsignalwert, dessen spektrale Position um 1 ERB niedriger als der betrachtete Signalwert ist, um nur 10 dB reduziert.

[0042] Wird nach Durchführung der Dämpfung festgestellt, dass der Maximalwert der gedämpften Nachbarsignalpegel größer als der gerade betrachtete Signalpegel ist, ersetzt dieser Maximalwert den gerade betrachteten Signalpegel. Ist das nicht der Fall, wird der gerade betrachtete Signalpegel unverändert gelassen. Vorzugsweise werden alle Signalpegel, die danach noch unterhalb der Ruheshörschwelle eines Normalhörenden liegen, auf den Wert dieser Ruheshörschwelle gesetzt. Mittels der spektralen Maskierung kann erreicht werden, dass Töne, die Normalhörende nicht hören, weniger stark verstärkt werden.

[0043] Nach Durchführung der Schritte der Fensterung sowie der temporalen und spektralen Maskierung erhält man schließlich die spektro-temporale Repräsentation STR des ursprünglichen Eingangssignals A. Diese spektro-temporale Repräsentation ist in **Fig. 1** durch eine Matrix M veranschaulicht. Die einzelnen Einträge der Matrix sind durch kleine Rechtecke angewendet und stellen jeweils einen Signalpegel dar. Die Erstreckung der jeweiligen Zeilen der Matrix M entspricht der Zeitachse t und die Erstreckung der jeweiligen Spalten der Frequenzachse f. Mit anderen Worten repräsentiert jede Spalte ein Zeitfenster T, wohingegen jede Zeile für eine Signalfrequenz bzw. Mittenfrequenz steht. Ein jeweiliger Eintrag der Matrix ist somit einem Frequenzband und einem Zeitfenster zugeordnet.

[0044] In einem nächsten Schritt wird die spektro-temporale Repräsentation STR einer Modulations-Bandpassfilterung MBF unterzogen, die eine spektrale Modulations-Bandpassfilterung SPF und eine temporale Modulations-Bandpassfilterung TBF enthält. Bei der spektralen Modulations-Bandpassfilterung macht man sich die Erkenntnis zunutze, dass spektrale Strukturen, insbesondere in einer Größenordnung um 2 bis 4 ERB, für die Sprachverständlichkeit besonders wichtig sind, wohingegen temporale Strukturen entgegen weit verbreiteter Meinungen eine untergeordnete Rolle spielen.

[0045] Zur Umsetzung der spektralen und temporalen Modulations-Bandpassfilterung wird die spektro-temporale Repräsentation **STR** zunächst in mehreren Schichten mit sinkenden Abschnittsfrequenzen spektro-temporal (d.h. 2-dimensional) tiefpass-gefiltert (d.h. geglättet). Für die Tiefpassfilterung wurden in der hier beschriebenen Ausführungsform Glättungsfilter mit Hanning-Fenster mit monoton steigenden Breiten verwendet. Mit anderen Worten wird eine Faltung der spektro-temporalen Repräsentation **STR** mit einer 2-dimensionalen Hanning-Fensterfunktion der entsprechenden Breite durchgeführt. Anschließend werden die Differenzen der jeweils benachbarten Schichten gebildet. In der hier beschriebenen Ausführungsform erfolgt die Tiefpassfilterung in sechs Schichten **S1** bis **S6**, welche in der nachfolgenden Tabelle angegeben sind:

Schicht	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Spektrale Breite in ERB	0,5	2	4	4	8	16
Temporale Breite in ms	1	1	1	2	2	2

[0046] Im Folgenden werden Frequenzen der spektralen Modulations-Bandpassfilterung als spektrale Modulationsfrequenzen bzw. einfach auch als Modulationsfrequenzen bezeichnet. Demgegenüber werden Frequenzen der temporalen Modulations-Bandpassfilterung temporale Modulationsfrequenzen genannt.

[0047] Gemäß obiger Tabelle werden in der Schicht **S1** Signale mit einer spektralen Breite von 0,5 ERB extrahiert, was einer Extraktion von Modulationsfrequenzen bis maximal 2/ERB entspricht. In der Schicht **S2** werden entsprechend der spektralen Breite von 2 ERB Modulationsfrequenzen bis maximal 0,5/ERB extrahiert. In der Schicht **S3** werden entsprechend der spektralen Breite von 4 ERB Modulationsfrequenzen von maximal 0,25/ERB gewonnen. In den Schichten **S1** bis **S3** wurde ferner eine temporale Tiefpassfilterung mit einer temporalen Breite von 1 ms (d.h. bis zu einer temporalen Modulationsfrequenz von 1000 Hz) durchgeführt. Die Schicht **S4** entspricht der Schicht **S3**, wobei jedoch eine temporale Tiefpassfilterung mit der temporalen Breite von 2 ms und damit bis zu einer temporalen Modulationsfrequenz von maximal 500 Hz durchgeführt wird. Die Schicht **S5** extrahiert entsprechend der spektralen Breite von 8 ERB Signalanteile bis zu einer maximalen spektralen Modulationsfrequenz von 0,125/ERB bei Beibehaltung der temporalen Tiefpassfilterung mit der temporalen Breite

von 2 ms. Die Schicht **S6** extrahiert entsprechend der spektralen Breite von 16 ERB Signalanteile mit einer spektralen Modulationsfrequenz bis maximal 0,0625/ERB bei Beibehaltung der temporalen Tiefpassfilterung mit der temporalen Breite von 2 ms.

[0048] Um aus den tiefpass-gefilterten Signalen der Schichten **S1** bis **S6** bandpass-gefilterte Signale zu gewinnen, werden die Differenzen zwischen den einzelnen Schichten ermittelt. Mit anderen Worten werden folgende Differenzen bestimmt:

- die Differenz **D1** zwischen der Schicht **S1** und **S2**, d.h. $D1 = S1 - S2$;
- die Differenz **D2** zwischen der Schicht **S2** und der Schicht **S3**, d.h. $D2 = S2 - S3$;
- die Differenz **D3** zwischen der Schicht **S3** und der Schicht **S4**, d.h. $D3 = S3 - S4$;
- die Differenz **D4** zwischen der Schicht **S4** und der Schicht **S5**, d.h. $D4 = S4 - S5$;
- die Differenz **D5** zwischen der Schicht **S5** und der Schicht **S6**, d.h. $D5 = S5 - S6$;
- die Differenz **D6** zwischen der Schicht **S6** und **0**, was der Schicht **S6** entspricht.

[0049] Die obige Wahl der Differenzen führt dazu, dass durch die Summation aller Differenzen **D1** bis **D6** wieder die ursprüngliche spektro-temporale Repräsentation gewonnen werden kann.

[0050] Alle Differenzen **D1** bis **D6** entsprechen spektral bandpass-gefilterten Signalen, wobei das Signal **D3** zusätzlich temporal bandpass-gefiltert ist. Diese Signale stellen erste Modulationssignal-Repräsentationen im Sinne der Patentansprüche dar und sind in **Fig. 1** allgemein mit dem Bezugszeichen **MSR** bezeichnet. Das Format dieser Repräsentationen sowie auch der weiter unten erläuterten Repräsentation **MSR'** entspricht der Matrix **M** aus **Fig. 1**. Das Signal gemäß der Differenz **D1** entspricht einer spektralen Modulations-Bandpassfilterung im spektralen Modulationsfrequenzband **MB1** zwischen 2/ERB und 0,5/ERB (entsprechend den Kehrwerten der in obiger Tabelle genannten spektralen Breiten). Das Signal gemäß der Differenz **D2** entspricht einer spektralen Modulations-Bandpassfilterung im spektralen Modulationsfrequenzband **MB2** zwischen 0,5/ERB und 0,25/ERB. Das Signal gemäß der Differenz **D3** entspricht einer spektralen Modulations-Bandpassfilterung in gleichen Modulationsfrequenzband **MB2** wie das Signal gemäß der Differenz **D2**, jedoch mit einer zusätzlichen temporalen Modulations-Bandpassfilterung. Das Signal gemäß der Differenz **D4** entspricht einer spektralen Modulations-Bandpassfilterung im spektralen Modulationsfrequenzband **MB3** zwischen 0,25/ERB und 0,125/ERB. Das Signal gemäß der Differenz **D5** entspricht einer spektralen Modulations-Bandpassfilterung im spektralen Modulationsfrequenzband **MB4** zwischen 0,125/ERB und 0,0625/ERB. Das Signal gemäß der Differenz **D6** entspricht einer Modulations-Bandpassfilterung im spektralen Modulationsfrequenzband **MB5** zwischen 0,0625/ERB und 0/ERBs.

[0051] Basierend auf den Modulationssignal-Repräsentationen **MSR** wird eine modifizierte spektro-temporale Repräsentation bestimmt, wobei eine Kompression unter Bewahrung der essentiellen Sprachmodulationen durchgeführt wird. Dabei macht man sich die Erkenntnis zunutze, dass schmale (d.h. hochfrequente) spektrale Strukturen von kleiner 4 ERB besonders kritisch für eine gute Spracherkennung sind. Deshalb werden diese Strukturen erhalten. Demgegenüber werden breitbandige Strukturen von größer 4 ERB komprimiert. Nur sehr kurze temporale Strukturen von kleiner 2 ms werden erhalten, während längere spektrale Strukturen von größer als 2 ms komprimiert werden. Im Folgenden wird erläutert, wie die modifizierte spektro-temporale Repräsentation basierend auf den bandpass-gefilterten Differenzsignalen **D1** bis **D6** bestimmt werden kann.

[0052] Die einzelnen Modulationssignal-Repräsentationen **MSR**, die den Differenzsignalen **D1** bis **D6** entsprechen, werden in dem Konvertierungsschritt **CON'** der **Fig. 1** zunächst geeignet manipuliert, so dass manipulierte Modulationssignal-Repräsentationen **MSR'** erhalten werden. Dabei werden die Differenzen **D1** bis **D5** durch die Multiplikation mit entsprechenden Faktoren **F1** bis **F5** verändert, wohingegen auf die Differenz **D6** eine Kompressionsfunktion **k** zur Verminderung des Dynamikbereichs angewendet wird. Die manipulierten Signale werden anschließend gemäß dem Schritt **COM** der **Fig. 1** summiert, wodurch die modifizierte spektro-temporale Repräsentation **STR'** erhalten wird. Mit anderen Worten lautet die modifizierte spektro-temporale Repräsentation wie folgt:

$$F1 \cdot D1 + F2 \cdot D2 + F3 \cdot D3 + F4 \cdot D4 + F5 \cdot D5 + k(D6)$$

[0053] In der hier beschriebenen Ausführungsform wird $F1 = 1$ gewählt, wodurch die schmalsten spektralen Strukturen erhalten bleiben. Des Weiteren wird $F2 \geq 1$ gewählt, um die für die Spracherkennung wichtigen

spektralen Strukturen zu erhalten bzw. ggf. auch zu expandieren, um beispielsweise mögliche überschwellige Hörverluste zu kompensieren. Die weiteren Faktoren **F3** bis **F5** werden vorzugsweise auch auf 1 gesetzt, um die Qualität des Signals so gut wie möglich zu erhalten. Das Signal $k(D6)$ ist ein in der Dynamik komprimiertes Signal, was über die Kompressionsfunktion k erreicht wird, wie weiter unten noch näher erläutert wird.

[0054] Die obige Summe umfasst auf jeden Fall die Signalanteile $F1 \cdot D1$, $F2 \cdot D2$ sowie $k(D6)$. Da jede weitere der Differenzen **D3** bis **D5** mehr Dynamik im Ausgangssignal erzeugt, werden die entsprechenden Terme **F3-D3**, **F4-D4** und **F5-D5** schrittweise in dieser Reihenfolge immer nur dann hinzugefügt, wenn im jeweiligen Zeitfenster eine Verfügbarkeitsbedingung erfüllt ist. Verfügbar bedeutet dabei, dass durch das Hinzufügen eines Terms, der sowohl positiv als auch negativ sein kann, keine Signalanteile außerhalb eines vorgegebenen Zielbereichs der Signalpegel liegen. Sollte demzufolge die Hinzufügung eines Terms dazu führen, dass der Signalpegel für zumindest eine Signalfrequenz im entsprechenden Zeitfenster außerhalb des Zielbereichs liegt, wird dieser Term und auch die weiteren Terme (sofern vorhanden) nicht mehr hinzuaddiert. In der hier beschriebenen Ausführungsform erstreckt sich der Zielbereich gemäß der weiter unten erläuterten **Fig. 3** zwischen einer unteren Zielhörschwelle **ZS**, welche der Ruheshwelle eines Schwerhörenden entspricht, und einer oberen Zielhörschwelle **ZS'**, welche der Unbehaglichkeitsschwelle eines Schwerhörenden entspricht. Die Schwellen **ZS** und **ZS'** sind frequenzabhängig, d.h. sie hängen von den entsprechenden Signalfrequenzen im verarbeiteten Signal ab.

[0055] Im Folgenden wird anhand von **Fig. 3** und **Fig. 4** erläutert, wie die Kompressionsfunktion k in der hier beschriebenen Ausführungsform festgelegt wird. **Fig. 3** zeigt dabei, wie in Abhängigkeit von der Signalfrequenz f eines entsprechenden Signalpegels **SP** der Differenz **D6** bestimmte Hörschwellen aufeinander abgebildet werden. Entlang der Abszisse der **Fig. 3** ist die Frequenz f in Hz und entlang der Ordinate der Signalpegel **SP** in dB **SPL** angegeben. Die strichpunktierte Linie **NH** gibt die Ruheshwelle eines Normalhörenden an. Demgegenüber entspricht die untere durchgezogene Linie **LH** einer geeignet gewählten Hörschwelle eines Normalhörenden für leise Signale, welche durch Verschiebung der Ruheshwelle **NH** um einen vorbestimmten Signalpegel nach oben erhalten wird. Die ebenfalls als durchgezogene Linie gezeigte Hörschwelle **ZS** ist die bereits oben genannte Ruheshwelle eines Schwerhörenden. Demgegenüber bezeichnet die gestrichelte Linie **US** die Unbehaglichkeitsschwelle **US** eines Normalhörenden. Die darunter liegende gestrichelte Linie **ZS'** entspricht der ebenfalls bereits oben erwähnten Unbehaglichkeitsschwelle eines Schwerhörenden. Gemäß der Funktion $k(D6)$ wird nunmehr erreicht, dass die Hörschwelle **LH** auf die Ruheshwelle **ZS** eines Schwerhörenden abgebildet wird, was durch die Pfeile **P** angedeutet ist. In gleicher Weise wird erreicht, dass die Unbehaglichkeitsschwelle **US** eines Normalhörenden auf die Unbehaglichkeitsschwelle **ZS'** eines Schwerhörenden abgebildet wird, wie durch die Pfeile **P'** angedeutet ist. Es wird somit eine Dynamikkompression erreicht, um eine geeignete Wahrnehmung von akustischen Signalen für einen Schwerhörenden zu ermöglichen.

[0056] **Fig. 4** verdeutlicht nochmals für eine Signalfrequenz von 1000 Hz die Wandlung des Eingangspegels **IL** des Differenzsignals **D6** (Abszisse in dem Diagramm der **Fig. 4**) in einen entsprechenden Ausgangspegel **OL** (Ordinate in dem Diagramm der **Fig. 4**). Durch die strichpunktierte Linie **L**, die der Winkelhalbierenden zwischen der Abszisse und Ordinate entspricht, wird der Fall angedeutet, dass keine Signalveränderung erfolgt. Der Verlauf der Funktion k zur Dynamikkompression ist durch die gepunktete Linie **L'**, die durchgezogene Linie **L''** sowie die weitere gepunktete Linie **L'''** angedeutet. Der Wertebereich **WB**, welcher der Differenz zwischen der Schwelle **LH** und der Schwelle **US** bei 1000 Hz gemäß **Fig. 3** entspricht, wird gemäß der Funktion k auf den verkleinerten Wertebereich **WB'** abgebildet, welcher der Differenz zwischen der Schwelle **ZS** und der Schwelle **ZS'** bei 1000 Hz gemäß **Fig. 3** entspricht. Dies wird in **Fig. 4** auch nochmals durch die Pfeile **AR** verdeutlicht.

[0057] Wie man aus **Fig. 4** ferner erkennt, wird der Signalpegelbereich bis zu Beginn des Wertebereichs **WB** (d.h. bis zur Schwelle **LH**) linear abgebildet, was durch die Linie **L'** deutlich wird. Ferner wird der Signalpegelbereich rechts neben dem Wertebereich **WB**, der oberhalb der Unbehaglichkeitsschwelle **US** eines Normalhörenden liegt, immer auf die Unbehaglichkeitsschwelle **ZS'** eines Schwerhörenden abgebildet, was durch die Linie **L'''** ersichtlich wird. Zwischen den Schwellen **LH** und **US** erfolgt die Dynamikkompression gemäß der Linie **L''** der **Fig. 4**.

[0058] Nach der Kombination der Signale gemäß der obigen Summation der Differenzen erhält man die modifizierte spektro-temporale Repräsentation **STR'**, die das gewünschte Ausgangssignal beschreibt. Um das Ausgangssignal zu generieren, wird gemäß dem Schritt **DIF** der **Fig. 1** die Differenz zwischen der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation **STR'** und der ursprünglichen spektro-temporalen Repräsentation **STR** gebildet. Hieraus ergeben sich Verstärkungsfaktoren, die dann auf die spektralen Zeitsignale **S1**, **S2**, ..., **Sn** angewendet werden. Da diese Zeitsignale noch nicht gefenstert sind und demzufolge mehr Zeitpunkte als Zeitfenster enthalten, wird der Signalwert an dem Zeitpunkt in der Mitte eines jeweiligen Zeitfensters auf den

mit dem entsprechenden Verstärkungsfaktor des Zeitfensters verstärkten Signalpegel gesetzt und die Werte für Zeitpunkte zwischen benachbarten Zeitfenstern werden geeignet interpoliert. Nach Anwendung der Differenzen auf die entsprechenden Zeitsignale S_1 bis S_n erhält man schließlich durch deren Summation das modifizierte Ausgangssignal A' , das bei der Verwendung des Verfahrens in einem Hörgerät nach einer Digital-Analog-Wandlung über einen entsprechenden Lautsprecher ausgegeben werden kann.

[0059] Die obige Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens wurde von den Erfindern im Rahmen von Versuchen mit Schwerhörigen getestet. Dabei hat sich ergeben, dass in einer Reihe von Fällen eine deutliche Verbesserung der Verständlichkeit von Sprache sowohl in Ruhe als auch mit Störgeräusch im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Dynamikkompensation erreicht werden kann. Im Besonderen wird eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei einem fluktuierenden Störgeräusch erreicht.

[0060] Das erfindungsgemäße Verfahren kann in einer Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz kommen. Das Verfahren kann in Hörgeräten und Cochlea-Implantaten verwendet werden, um hierdurch die Verständlichkeit von Sprache für einen Schwerhörigen zu verbessern. Ein weiterer Einsatzbereich des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Telekommunikations-, Entertainment- und Infotainment-Systemen, um die Dynamik der Wiedergabe von Sprachsignalen und gegebenenfalls auch von Musik adaptiv an die akustische Situation anzupassen, wie z.B. an eine reduzierte verfügbare Dynamik durch Fahrgeräusche in einer Fahrkabine. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Pegelnormalisierung bei Konferenzschaltungen, bei der jeder Teilnehmer unabhängig von dem Pegel, der Färbung und der Dynamik des Eingangssignals nur eine festgelegte Ausgangsdynamik zugewiesen bekommt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen, bei dem:

- a) als Eingangssignal (A) ein Audiosignal in der Form eines Zeitsignals aus Amplitudenwerten digital erfasst wird und die im Eingangssignal (A) enthaltenen spektralen Zeitsignale ($S_1, S_2, \dots, S_n$) in mehreren Frequenzbändern ($FB_1, FB_2, \dots, FB_n$) mit zugeordneten Signalfrequenzen ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) in der Form Mittenfrequenzen der jeweiligen Frequenzbänder ($FB_1, FB_2, \dots, FB_n$) bestimmt werden, wodurch eine Vielzahl von Signalpegeln für jedes spektrale Zeitsignal ($S_1, S_2, \dots, S_n$) erhalten werden;
- b) aus den spektralen Zeitsignalen ($S_1, S_2, \dots, S_n$) eine spektro-temporale Repräsentation (STR) des Eingangssignals (A) ermittelt wird, die für jeweilige Zeitfenster (T) eine Vielzahl von Signalpegeln enthält, wobei die Signalpegel in einem Zeitfenster (T) jeweils einer anderen Signalfrequenz ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) zugeordnet sind;
- c) die spektro-temporale Repräsentation (STR) einer Modulations-Bandpassfilterung (MBF) umfassend eine spektrale Modulations-Bandpassfilterung (SBF) unterzogen wird, wobei durch die spektrale Modulations-Bandpassfilterung (SBF) aus mehreren nicht überlappenden spektralen Modulationsfrequenzbändern ($MB_1, MB_2, \dots, MB_5$), denen jeweils ein Frequenzwert in der Form der minimalen spektralen Modulationsfrequenz im entsprechenden Modulationsfrequenzband ($MB_1, MB_2, \dots, MB_5$) zugeordnet ist, jeweils die spektrale Variation der im jeweiligen Modulationsfrequenzband ($MB_1, MB_2, \dots, MB_6$) enthaltenen Signalanteile entlang der Signalfrequenzen ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) extrahiert wird, wodurch für jedes Modulationsfrequenzband ($MB_1, MB_2, \dots, MB_5$) eine oder mehrere erste Modulationssignal-Repräsentationen (MSR) erhalten werden, wobei jede erste Modulationssignal-Repräsentation (MSR) für jeweilige Zeitfenster (T) eine Vielzahl von Modulationssignalpegeln enthält, wobei die Modulationssignalpegel in einem Zeitfenster (T) jeweils einer anderen Signalfrequenz ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) zugeordnet sind;
- d) die ersten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR) in zweite Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') gewandelt werden, wobei zumindest ein Teil der zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') gegenüber der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation (MSR) modifiziert ist;
- e) eine modifizierte spektro-temporale Repräsentation (STR') ermittelt wird, indem die zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') derart kombiniert werden, dass für ein jeweiliges Zeitfenster (T) jeder Signalpegel, der in der unmodifizierten spektro-temporalen Repräsentation (STR) oberhalb einer vorgegebenen Hörschwelle liegt, in der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation (STR') auf einen Signalpegel innerhalb eines Zielpegelbereichs abgebildet wird, wobei der Zielpegelbereich von der Signalfrequenz ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) abhängt und durch eine untere Zielhörschwelle (ZS) nach unten begrenzt ist;
- f) aus der modifizierten spektro-temporalen Repräsentation (STR') ein Ausgangssignal (A') erzeugt wird, das gegenüber dem Eingangssignal (A) modifiziert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zielpegelbereich ferner durch eine obere Zielhörschwelle (ZS') nach oben begrenzt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandlung der ersten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR) in zweite Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') in Schritt d) derart durchgeführt wird, dass alle zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR'), deren jeweiliges Modulationsfrequenzband (MB1, MB2, ..., MB5) Modulationsfrequenzen von größer gleich $0,25/ERB$ enthält, gegenüber den entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR) unmodifiziert bleiben oder verstärkt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandlung der ersten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR) in zweite Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') in Schritt d) derart durchgeführt wird, dass für das Modulationsfrequenzband (MB1) mit dem höchsten Frequenzwert jede zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') mit der ersten Modulationssignal-Repräsentation (MSR) identisch ist und eine oder mehrere zweite Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') umfassend zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') für das Modulationsfrequenzband (MB2) mit dem zweithöchsten Frequenzwert und/oder jede zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') für das Modulationsfrequenzband (MB5) mit dem niedrigsten Frequenzwert gegenüber der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation (MSR) modifiziert ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') in Schritt e) derart kombiniert werden, dass zu der oder den zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') für das Modulationsfrequenzband (MB5) mit dem niedrigsten Frequenzwert zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') für das Modulationsfrequenzband (MB2) mit dem zweithöchsten Frequenzwert und alle zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') für das Modulationsfrequenzband (MB1) mit dem höchsten Frequenzwert hinzuaddiert werden und anschließend schrittweise die restlichen zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') in der Reihenfolge hin zu Modulationsfrequenzbändern (MB1, MB2, ..., MB5) mit niedrigen Frequenzwerten hinzuaddiert werden, wobei vor dem Hinzusaddieren einer vorgegebenen Anzahl von Modulationssignalpegeln einer zweiten Modulationssignal-Repräsentation (MSR') aus den restlichen zweiten Modulationssignal-Repräsentationen (MSR') für ein jeweiliges Zeitfenster (T) überprüft wird, ob eine Zulässigkeitsbedingung für die vorgegebene Anzahl von Modulationssignalpegeln verletzt ist, wobei das Hinzusaddieren der vorgegebenen Anzahl für das jeweilige Zeitfenster (T) bei Verletzen der Zulässigkeitsbedingung beendet wird, wobei die Zulässigkeitsbedingung dann verletzt ist, wenn das Hinzusaddieren des Modulationssignalpegels in dem jeweiligen Zeitfenster (T) für zumindest eine Signalfrequenz (SF1, SF2, ..., SFn) in der vorgegebenen Anzahl zu einem Signalpegel außerhalb des Zielpegelbereichs führt, welcher vor dem Hinzufügen noch innerhalb des Zielpegelbereichs lag.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt d) für das Modulationsfrequenzband (MB5) mit dem niedrigsten Frequenzwert die erste Modulationssignal-Repräsentation (MSR) mittels einer Kompressions-Funktion in die zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') derart gewandelt wird, dass für jede Signalfrequenz (SF1, SF2, ..., SFn) in einem jeweiligen Zeitfenster (T) ein vorgegebener Wertebereich (WB) der Modulationssignalpegel der ersten Modulationssignal-Repräsentation (MSR) auf einen verkleinerten Wertebereich (WB') der Modulationssignalpegel der zweiten Modulationssignal-Repräsentation (MSR') abgebildet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der vorgegebene Wertebereich (WB) nach unten durch eine untere Hörschwelle begrenzt ist, welche vorzugsweise die Ruhehörschwelle (NH) eines Normalhörenden oder eine darüber liegende Hörschwelle (LH) ist, und der verkleinerte Wertebereich (WB') nach unten durch eine untere Hörschwelle begrenzt ist, welche vorzugsweise die Ruhehörschwelle (ZS) eines Schwerhörenden ist, wobei der vorgegebene Wertebereich (WB) und der verkleinerte Wertebereich (WB') vorzugsweise auch durch eine obere Hörschwelle nach oben begrenzt sind, wobei die obere Hörschwelle für den vorgegebenen Wertebereich (WB) vorzugsweise eine Unbehaglichkeitsschwelle (US) eines Normalhörenden ist und die obere Hörschwelle für den verkleinerten Wertebereich (WB) vorzugsweise eine Unbehaglichkeitsschwelle (ZS') eines Schwerhörenden ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt d) zumindest eine zweite Modulationssignal-Repräsentation (MSR') durch Multiplikation der entsprechenden ersten Modulationssignal-Repräsentation (MSR) mit einem Faktor größer Null erhalten wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt b) die Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals (S1, S2, ..., Sn) derart verändert werden, dass die Signalpegel innerhalb eines jeweiligen Zeitfensters (T) durch einen Wert zwischen einschließlich dem Maximalwert und einschließlich dem Minimalwert der Signalpegel innerhalb des jeweiligen Zeitfensters (T), vorzugsweise

durch den Maximalwert, ersetzt werden, wodurch einem Zeitfenster (T) ein einzelner Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals ($S_1, S_2, \dots, S_n$) zugeordnet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt b) die einzelnen Signalpegel der jeweiligen spektralen Zeitsignale ($S_1, S_2, \dots, S_n$) für die jeweiligen Zeitfenster (T) derart angepasst werden, dass der ursprüngliche Signalpegel eines jeweiligen spektralen Zeitsignals ($S_1, S_2, \dots, S_n$) über eine vorbestimmte Anzahl von mehreren Zeitfenstern (T) konstant gehalten wird und hierdurch aktualisierte ursprüngliche Signalpegel erzeugt werden, solange sich der ursprüngliche Signalpegel in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern (T) nicht erhöht, wobei im Falle, dass sich der ursprüngliche Signalpegel für ein Zeitfenster (T) in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern (T) erhöht, der erhöhte Signalpegel für das Zeitfenster (T) als aktualisierter ursprünglicher Signalpegel weiterverwendet wird, und wobei im Falle, dass sich der ursprüngliche Signalpegel in der vorbestimmten Anzahl von mehreren Zeitfenstern (T) nicht erhöht, der ursprüngliche Signalpegel in den Zeitfenstern (T), die auf die vorbestimmte Anzahl von mehreren Zeitfenstern (T) folgen, sukzessive erniedrigt wird und hierdurch aktualisierte ursprüngliche Signalpegel erzeugt werden, bis der nächste ursprüngliche Signalpegel für ein Zeitfenster (T) höher wird als der erniedrigte Signalpegel, woraufhin der höhere Signalpegel für das Zeitfenster (T) als aktualisierter ursprünglicher Signalpegel weiterverwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt b) in einem jeweiligen Zeitfenster (T) für jeden einzelnen Signalpegel der spektralen Zeitsignale ($S_1, S_2, \dots, S_n$) in einer Kopie aller Signalpegel des jeweiligen Zeitfensters (T) eine vorbestimmte Anzahl von Signalpegeln, welche spektral gemäß der Reihenfolge der Signalfrequenzen ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) zu dem jeweiligen einzelnen Signalpegel benachbart sind, gedämpft wird, wobei die Dämpfung umso höher ist, je größer der spektrale Abstand eines Signalpegels aus der vorbestimmte Anzahl von Signalpegeln zu dem jeweiligen einzelnen Signalpegel gemäß der Reihenfolge der Signalfrequenzen ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) ist, wobei im Falle, dass der Maximalwert der gedämpften Signalpegel der vorbestimmten Anzahl von Signalpegeln größer als der jeweilige einzelne Signalpegel ist, der Maximalwert den jeweiligen einzelnen Signalpegel ersetzt und ansonsten der jeweilige einzelne Signalpegel unverändert bleibt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Modulations-Bandpassfilterung (MBF) in Schritt c) ferner eine temporale Modulations-Bandpassfilterung (TBF) umfasst, welcher die spektro-temporale Repräsentation (STR) unterzogen wird, wobei durch die temporale Modulations-Bandpassfilterung (TBF) die temporale Variation der in einem oder mehreren Zeitmodulationsfrequenzbändern ($MB_1, MB_2, \dots, MB_6$) enthaltenen Signalanteile entlang der aufeinander folgenden Zeitfenster (T) extrahiert wird, so dass eines oder mehrere der ersten Modulationssignale (MSR') auch temporal bandpass-gefiltert sind.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die spektrale Modulations-Bandpassfilterung (SBF) in Schritt c) eine Tiefpassfilterung der spektro-temporalen Repräsentation (STR) mit Tiefpassfiltern mit monoton zunehmender spektraler Breite entlang der Signalfrequenzen ($SF_1, SF_2, \dots, SF_n$) und eine Differenzbildung zwischen einer tiefpass-gefilterten Repräsentation und der benachbarten tiefpass-gefilterten Repräsentation mit der nächsthöheren spektralen Breite umfasst.

14. Vorrichtung zur rechnergestützten Verarbeitung von Audiosignalen, wobei die Vorrichtung dazu eingerichtet, ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Hörhilfe ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

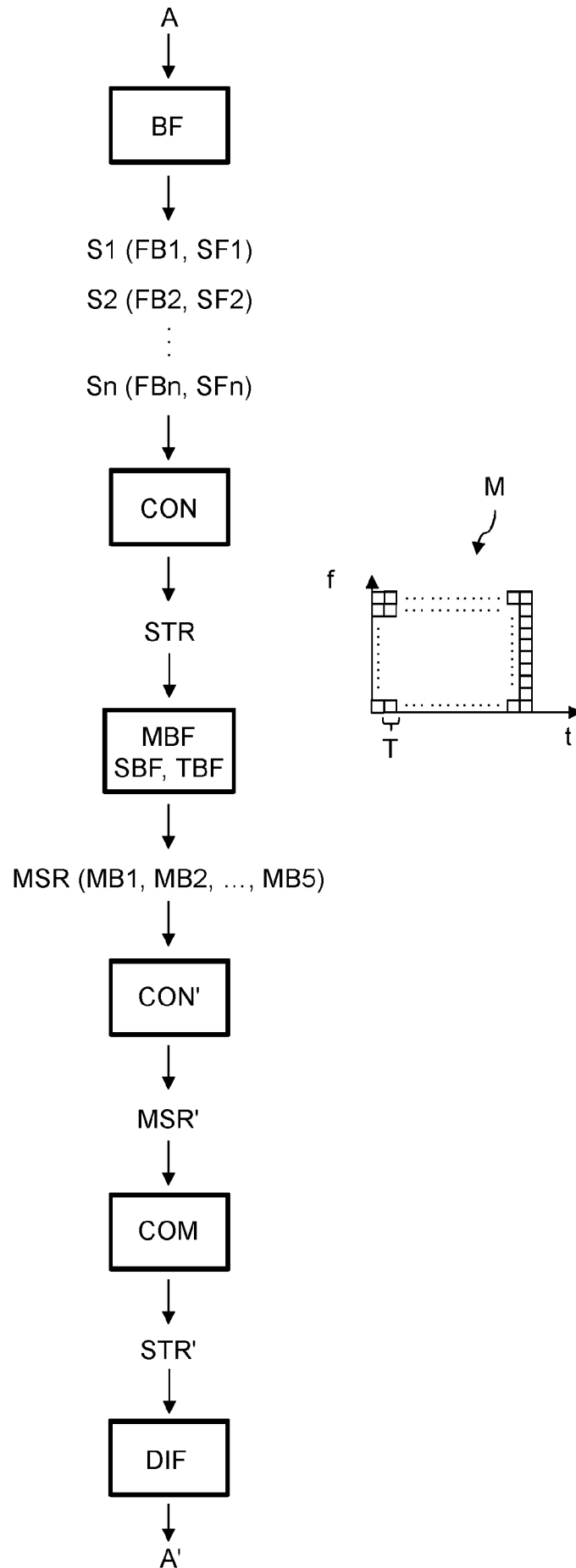


Fig. 1

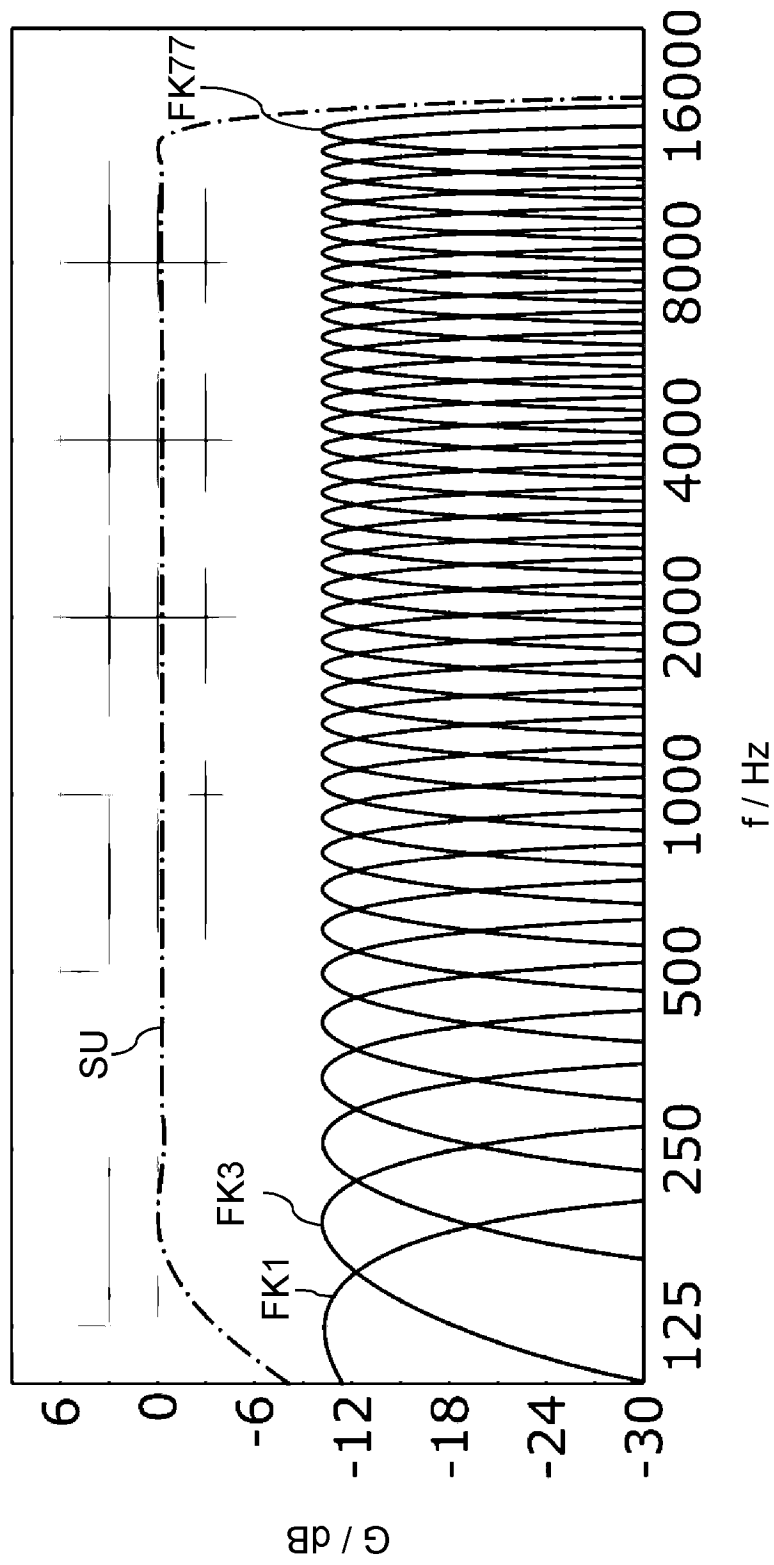


Fig. 2

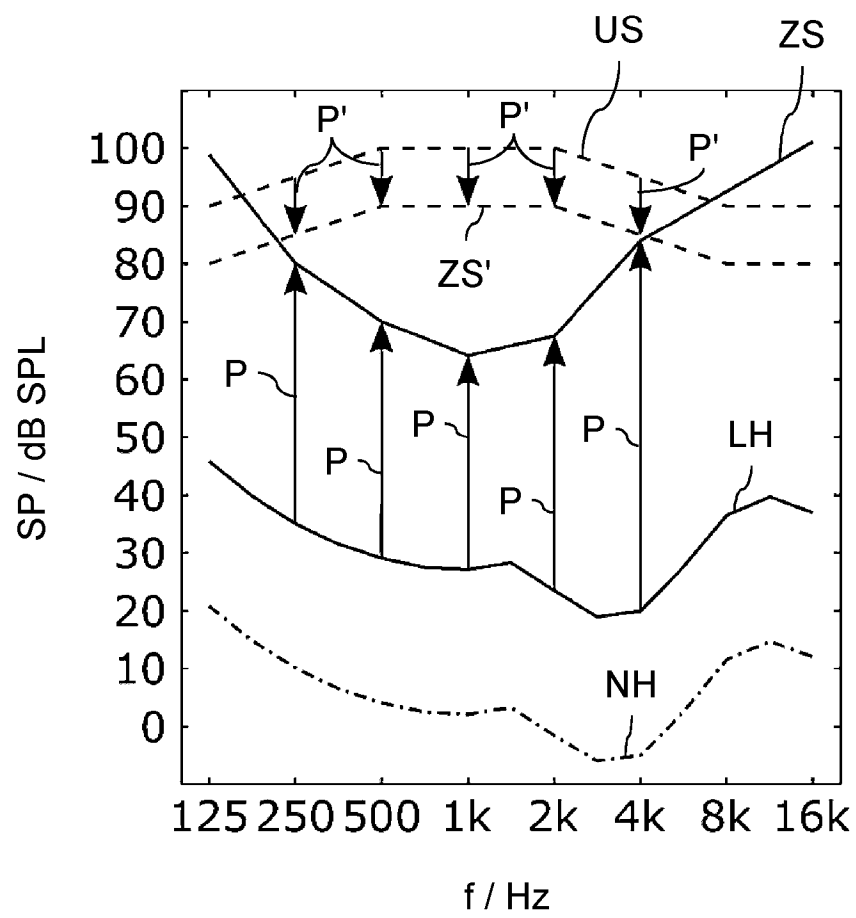


Fig. 3

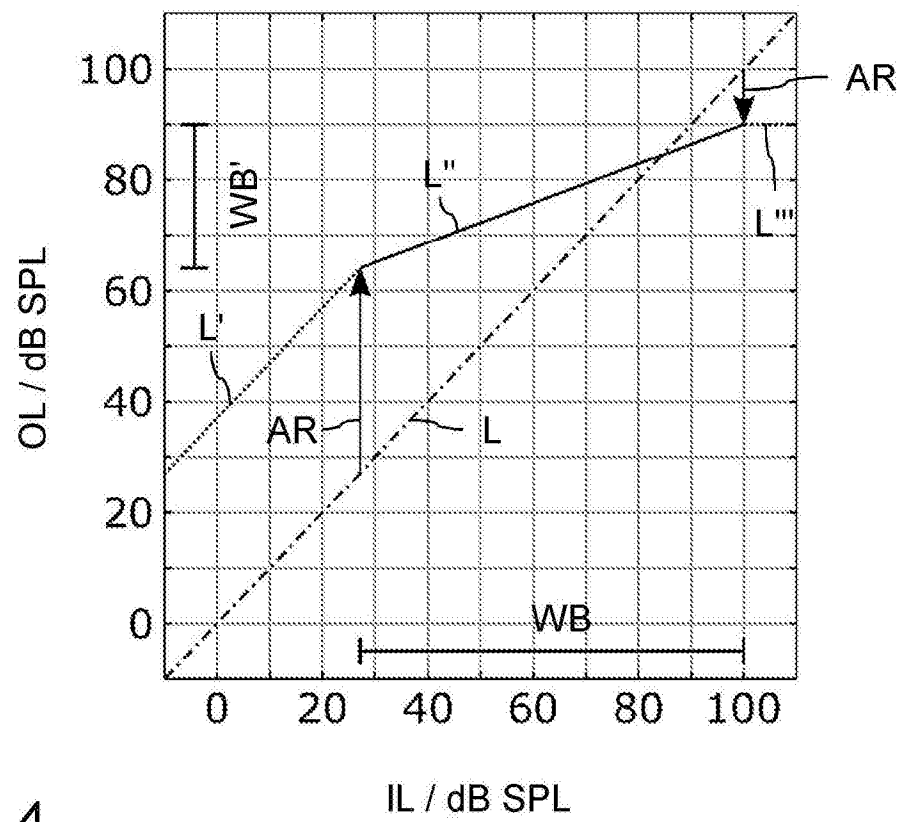


Fig. 4