

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5448446号
(P5448446)

(45) 発行日 平成26年3月19日 (2014. 3. 19)

(24) 登録日 平成26年1月10日 (2014.1.10)

(51) Int. Cl.		F I	
G 1 O K 11/178 (2006.01)		G 1 O K	11/16 H
H O 4 R 3/00 (2006.01)		H O 4 R	3/00 3 1 0
G 1 O L 21/034 (2013.01)		G 1 O L	21/034
G 1 O L 21/0224 (2013.01)		G 1 O L	21/0224

請求項の数 4 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2008-512496 (P2008-512496)	(73) 特許権者	591009509
(86) (22) 出願日	平成18年5月17日 (2006. 5. 17)		ボーズ・コーポレーション
(65) 公表番号	特表2008-546003 (P2008-546003A)		BOSE CORPORATION
(43) 公表日	平成20年12月18日 (2008.12.18)		アメリカ合衆国マサチューセッツ州017
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/019193		01, フラミンガム, ザ・マウンテン (
(87) 国際公開番号	W02006/125061		番地なし)
(87) 国際公開日	平成18年11月23日 (2006.11.23)	(74) 代理人	100106909
審査請求日	平成21年4月17日 (2009. 4. 17)		弁理士 棚井 澄雄
(31) 優先権主張番号	11/131, 913	(74) 代理人	100089037
(32) 優先日	平成17年5月18日 (2005. 5. 18)		弁理士 渡邊 隆
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ゴーガー, ダニエル・エム, ジュニア
前置審査			アメリカ合衆国マサチューセッツ州021
			39, ケンブリッジ, プレザント・ストリ
			ート 139
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスキングモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マスキングモジュールであって、
オーディオ信号を受信する第1の入力と、
前記オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を含むマイクロホン信号を受信する第2の入力と、
前記マイクロホン信号をフィルタリングする第1のバンドパスフィルタと、
変更されたオーディオ信号をフィルタリングする第2のバンドパスフィルタと、
前記第1及び第2のバンドパスフィルタの出力に基づく包絡線値を正規化し、正規化された前記の包絡線値の積の和をオーディオ信号入力の利得の調整に用いる相関器とを備え

10

、
前記オーディオ信号の音響環境の通過において、前記変更されたオーディオ信号の成分を含む音響信号がモニタされるまでに既知の遅延時間を含む、マスキングモジュール。

【請求項2】

前記オーディオ信号のレベルを制御する制御回路をさらに備える、請求項1に記載のマスキングモジュール。

【請求項3】

前記制御回路は、前記相関器の出力がしきい値に概ね等しくなるように、前記オーディオ信号のレベルを制御する、請求項2に記載のマスキングモジュール。

【請求項4】

20

前記制御回路は積分器を含み、該積分器の出力は、前記相関器の出力及び使用者が制御可能な相関目標値の出力に応答する、請求項2に記載のマスクングモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、雑音又は他の妨害する環境信号に基づくオーディオ応答の適応に関する。

【背景技術】

【0002】

ヘッドホンで音楽、声又は他のオーディオ（可聴音）を聞くとき、一人だけで聞くことを望む場合が多い。ヘッドホンを用いることによって、近くにいる他の人に迷惑をかけることなく音が提供され、望ましくは周囲の音（すなわち、会話、航空機又は列車からの背景雑音等）が、自分が楽しんでいる音を妨害するのを避けられる。

10

【0003】

環境（周囲）雑音は、十分に大きな音量で音を聞いていない限り、静かな楽節においては混じる恐れがあるが、音量が大きいと、後続の大きな音の楽節が不快になるか、又は危険になる恐れがある。背面密閉型で、雑音低減機能があるヘッドホン、特にアクティブノイズリダクション（ANR）ヘッドホンは、耳に達する環境雑音のレベルを低減することによって役に立つことがある。そのような雑音低減を用いる場合であっても、聞きたい最大レベルと、ヘッドホンによる低減後の残留環境雑音レベルとの間の利用可能なダイナミックレンジは、入力オーディオの本来のダイナミックレンジよりも小さいことが多い。これは、ダイナミックレンジが広い交響曲の場合に特に当てはまる。1つの頼みの綱は、音楽の全ての楽節を楽しむために、音量調節を繰返し調整することである。同様に、音楽を知的活動に対する背景音として使用したい状況では、入力される音楽又は他の信号が意識の中に過度に入り込まないようにしながら、環境雑音内に存在する、注意力を散逸させる（散漫にする）音をマスクングするように、使用者が音量を調整することができる。

20

【0004】

雑音が存在する中でオーディオ（speech）信号を提供するために適応させるための手法では、圧縮が利用されており、その圧縮はオーディオに対する良好な了解度を達成することを目的としている。いくつかのそのような手法は、単一の圧縮比を用いてオーディオを圧縮し、その勾配は雑音レベルの推定値と所望の最大音レベル（たとえば、ラウドネス不快レベル）から求められる利用可能なダイナミックレンジから計算される。

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0005】

一態様では、概括的には、オーディオ応答を適応させるための方法は、ヘッドホンのイヤピース内の残留環境雑音又は他の妨害のような妨害信号の知覚作用に対処する。入力オーディオ信号は、妨害信号よりもはるかに高いレベルにあるときに、概ね変更されることなく与えられ、妨害信号のレベル以下であるときに圧縮される。

【0006】

別の態様では、概括的には、オーディオ応答を適応させるための方法は、たとえば、ヘッドセットのイヤピース内の音響信号の測定されたレベルを利用し、入力オーディオ信号に関連付けられる成分から、モニタされる音響信号内に存在する妨害信号を分離することを必要とすることなく、入力オーディオ信号のレベルと共に、その測定されたレベルを用いて圧縮特性を求める。

40

【0007】

別の態様では、概括的には、オーディオ応答を適応させるための方法は、たとえば、ヘッドセットイヤピース内で提供するための入力オーディオ信号の提供特性を調整して、背景会話のような妨害信号からの注意力を散漫にする（散逸させる）音を低減させる。

【0008】

別の態様では、概括的には、オーディオ信号を処理するための方法は、オーディオ信号

50

を受信すること、並びに妨害信号及びオーディオ信号の成分を含む音響信号をモニタすることを含む。処理されたオーディオ信号（処理オーディオ信号）が生成される。これは、オーディオ信号がモニタされた音響信号から決定される第1のレベルにあるときに、第1の圧縮比でオーディオ信号を圧縮すること、及びオーディオ信号がモニタされた音響信号から決定される第2のレベルよりも高いときに、第2の圧縮比でオーディオ信号を圧縮することを含む。第1のレベルは第2のレベルよりも低く、第1の圧縮比は第2の圧縮比の少なくとも3倍大きい。

【0009】

複数の態様が、以下の特徴のうちの1つ又は複数を含むことができる。

処理オーディオ信号を生成することは、オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係に従って圧縮比を選択することをさらに含む。

10

【0010】

妨害信号及びオーディオ信号の成分を分離することなく、オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係が決定される。

処理オーディオ信号は、妨害信号に関連付けられるマスキング効果を低減させる。たとえば、妨害信号に関連付けられるマスキング効果を低減させることは、妨害信号の了解度を低減させること、妨害信号による注意力散逸を低減させること、及び妨害信号を部分マスキングすることのうちの少なくとも1つを含む。

【0011】

処理オーディオ信号を生成することは、妨害信号及びオーディオ信号に関連付けられるマスキング効果に従って、オーディオ信号の利得及び圧縮のうちの少なくとも一方を調整することを含む。

20

【0012】

第2の圧縮比は、約1：1を含む値、及び2：1未満の値をとることができる。

第1の圧縮比は、少なくとも3：1である値、及び少なくとも5：1である値を含む値をとることができる。

【0013】

オーディオ信号のレベルが妨害信号のレベルよりも少なくとも10 dBだけ高いときに、第2の圧縮比は適用することができる。

処理オーディオ信号はイヤピースに送信される。

30

【0014】

音響信号は、イヤピース内でモニタされる。

妨害信号の信号源はイヤピースの外部にある。

音響信号は、オーディオ信号の少なくとも或る量の成分を含む。

【0015】

イヤピースの外部で音響信号をモニタすること。

音響信号に従ってアクティブノイズリダクションを適用すること。

オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の時間と共に変化する（時変）関係を求めること。

【0016】

処理オーディオ信号を生成することは、時変関係に従って、時間と共にオーディオ信号の利得を変更することを含む。

40

処理オーディオ信号を生成することは、時変関係に従って、時間と共にオーディオ信号の圧縮度を変更することを含む。

【0017】

オーディオ信号がしきい値レベル未満であるときに、オーディオ信号は伸長される。

別の態様では、概括的には、オーディオ処理のための方法が、オーディオ信号を受信すること、並びにオーディオ信号及び妨害信号の両方に関連付けられる成分を含む音響信号をモニタすることを含む。オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係が決定される。この関係の決定は、オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を分離

50

することなく実行される。オーディオ信号は、その関係に従って、妨害信号の知覚作用を緩和するように処理され、処理オーディオ信号が生成される。

【 0 0 1 8 】

複数の態様が以下の特徴のうちの1つ又は複数を含むことができる。

オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係の決定は、妨害信号を再構成することなく実行される。

【 0 0 1 9 】

処理オーディオ信号はイヤピースにおいて提供される。

音響信号をモニタすることは、イヤピース内の音響信号をモニタすることを含む。

オーディオ信号と音響信号との間の関係を求めることは、オーディオ信号及び音響信号の相対的なレベルを求めることを含む。

10

【 0 0 2 0 】

モニタされる音響信号にアクティブノイズリダクション手法が適用される。

妨害信号の知覚作用は、妨害信号によるマスキング、及び妨害信号による注意力散逸のうちの1つ又は複数を含む。

【 0 0 2 1 】

知覚作用を緩和することは、オーディオ信号を用いて妨害信号をマスキングすること、及び妨害信号の了解度指標を低減させることのうちの1つ又は複数を含む。

オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係の決定は、それらのレベル間の時変関係を求めることを含む。

20

【 0 0 2 2 】

オーディオ信号を処理することは、時変関係に従って、時間と共にオーディオ信号の利得を変更すること、又は時変関係に従って、時間と共にオーディオ信号の圧縮度を変更することを含む。

【 0 0 2 3 】

オーディオ信号を処理することは、オーディオ信号及び音響信号の相対的なレベルに従って、オーディオ信号の部分を増幅することを含む。たとえば、オーディオ信号の高いレベルの部分に対して適用される利得に対して、オーディオ信号の低いレベルの部分により大きな利得が適用される。

【 0 0 2 4 】

オーディオ信号がしきい値レベルよりも高いとき、処理オーディオ信号は、オーディオ信号と概ね同じである。

オーディオ信号を処理することは、オーディオ信号がしきい値レベルよりも低いときに、オーディオ信号を伸長することを含む。

30

【 0 0 2 5 】

別の態様では、概括的には、オーディオ処理のための方法が、オーディオ信号を受信すること、並びに妨害信号及び受信されたオーディオ信号の成分を含む音響信号のレベルをモニタすることを含む。オーディオ信号は処理され、その処理は、音響信号のレベルが第1のレベルよりも低いとき、オーディオ信号を圧縮すること、及び音響信号のレベルが第2のレベルよりも高いとき、オーディオ信号を概ね変更されないままにしておくことを含む。

40

【 0 0 2 6 】

複数の態様が以下のうちの1つ又は複数を含むことができる。

音響信号が第1のレベルよりも低いときにオーディオ信号を圧縮することは、少なくとも3:1である圧縮比を適用することを含む。圧縮比は、少なくとも5:1にすることもできる。

【 0 0 2 7 】

オーディオ信号を概ね変更されないままにしておくことは、オーディオ信号を概ね圧縮することなく送ることを含む。たとえば、オーディオ信号のレベルが妨害信号のレベルよりも少なくとも3 dB高いときに、音響信号のレベルの範囲にわたって概ね1:1である

50

圧縮比を適用することができる。別の例として、オーディオ信号のレベルが妨害信号のレベルよりも少なくとも10 dB高いときに、そのような1:1圧縮動作が適用される。

【0028】

妨害信号のレベルは、音響信号のレベルに基づいて決定される。

別の態様では、概括的には、オーディオ信号を処理するための方法は、オーディオ信号を受信すること、及びオーディオ信号に関連付けられる音響信号のレベルをモニタすることを含む。オーディオ信号は、音響信号が第1のレベルよりも低いときに、少なくとも3:1の圧縮比においてオーディオ信号を圧縮すること、及び音響信号が第2のレベルよりも高いときに、概ね1:1の圧縮比でオーディオ信号を圧縮することによって処理される。第2のレベルは、第1のレベルよりも大きくすることができる。

10

【0029】

別の態様では、概括的には、妨害信号の知覚作用を低減させるための方法は、オーディオ信号を受信すること、並びにオーディオ信号及び妨害信号の成分を含む音響信号をモニタすることを含む。オーディオ信号のレベルが、音響信号のレベルに従って、妨害信号の知覚作用を低減させるように制御され、それにより、処理オーディオ信号が生成される。

【0030】

複数の態様が、以下のうちの1つ又は複数を含むことができる。

オーディオ信号のレベルを制御することは、オーディオ信号に対する妨害信号のマスキング効果に従って、オーディオ信号の利得及び圧縮のうちの少なくとも1つを調整することを含む。

20

【0031】

処理オーディオ信号はイヤピースに送信される。

音響信号をモニタすることは、イヤピース内の音響信号をモニタすることを含む。

妨害信号の信号源はイヤピースの外部にある。

【0032】

音響信号に従って、アクティブノイズリダクションが適用される。

別の態様では、概括的には、オーディオ処理システムが、オーディオ信号を受信するための入力と、音響信号をモニタするためのマイクロホンとを備え、音響信号は、オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を含む。追跡(トラッキング)回路が、オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を分離することなく、オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係を決定する。圧縮器回路が、その関係に従って、妨害信号の知覚作用を緩和するようにオーディオ信号を処理する。

30

【0033】

複数の態様が、以下のうちの1つ又は複数を含むことができる。

圧縮器回路は、音響信号が第1のレベルよりも小さいとき、オーディオ信号を圧縮し、音響信号が第2のレベルよりも大きいときに、オーディオ信号を概ね変更されないままにしておく。第2のレベルは第1のレベルよりも大きくすることができる。

【0034】

圧縮器回路は、音響信号が第1のレベルよりも小さいときに、少なくとも3:1の圧縮比でオーディオ信号を圧縮し、音響信号が第2のレベルよりも大きいときに、概ね1:1の圧縮比でオーディオ信号を圧縮する。

40

【0035】

そのシステムはイヤピースを備え、マイクロホンはイヤピースの外部にある。

マイクロホンによってモニタされる音響信号は、オーディオ信号の最低限の成分を含む。

【0036】

そのシステムは、マイクロホン及びドライバを含むイヤピースを備える。

トラッキング回路及び圧縮器回路のうちの少なくとも一方はイヤピースの中にある。

マスキングモジュールが、オーディオ信号入力及びマイクロホン入力を受信し、マスキングモジュールは、オーディオ信号入力のレベルを制御して、マイクロホン入力内に存在

50

する妨害信号の知覚作用を低減させることを含む、マイクロホン入力のレベルに従ってオーディオ信号入力を処理するための回路を備える。

【0037】

セレクタが、圧縮回路及びマスキングモジュールのうちの少なくとも一方を選択的に動作可能にする。

別の態様では、概括的には、マスキングモジュールが、オーディオ信号を受信するための第1の入力と、オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を含むマイクロホン信号を受信するための第2の入力とを備える。相関器が、マイクロホン信号のレベル及び変更されたオーディオ信号のレベルに従って、オーディオ信号を処理する。変更されたオーディオ信号のレベルを制御して、妨害信号の知覚作用が緩和される。

10

【0038】

複数の態様が以下のうちの1つ又は複数を含むことができる。

制御回路が変更されたオーディオ信号のレベルを制御する。

制御回路は、相関器の出力がしきい値に概ね等しい値に保持されるように、変更されたオーディオ信号のレベルを調整する。

【0039】

制御回路は、積分器のような平滑フィルタを含み、平滑フィルタの出力は、相関器の出力、及び使用者によって制御可能な相関目標値の出力に応答する。

バンドパスフィルタがマイクロホン信号及び変更されたオーディオ信号のそれぞれに接続される。

20

【0040】

一態様では、概括的には、オーディオ処理のための方法が、所望の信号を処理すること、所望の信号及び妨害信号に関連付けられる成分を含む信号をモニタすること、並びに所望の信号及び妨害信号を分離することを必要とすることなく、所望のオーディオ信号と音響信号との間の関係を決定することを含む。所望の信号を処理することは、決定された関係を用いて、妨害信号の知覚作用を緩和することを含む。

【0041】

別の態様では、概括的には、オーディオ処理システムが圧縮モジュールを備え、圧縮モジュールはオーディオ信号入力とマイクロホン入力とを受信する。圧縮モジュールは、マイクロホン入力をモニタするための回路と、オーディオ信号入力をマイクロホン入力から分離することを必要とすることなく、オーディオ信号入力とマイクロホン信号との間の関係を決定するための回路と、決定された関係を用いて、マイクロホン入力内に存在する妨害信号の知覚作用を緩和するようにオーディオ信号入力を処理するための回路とを備える。

30

【0042】

複数の態様が、以下の特徴のうちの1つ又は複数を含むことができる。

イヤピースが、当該イヤピースの中に、マイクロホン入力を与えるマイクロホンと、処理オーディオ入力を提供するために接続されるドライバとを備える。圧縮モジュールはイヤピースの中に収容することができる。

【0043】

マスキングモジュールが、オーディオ信号入力とマイクロホン入力とを受信する。マスキングモジュールは、マイクロホン入力のレベルに従ってオーディオ信号入力を処理するための回路を備え、オーディオ信号入力のレベルを制御して、マイクロホン入力内に存在する妨害信号の知覚作用を低減させることを含む。

40

【0044】

セレクタが圧縮モジュール及びマスキングモジュールのうちの一方を選択的に使用可能にする。

複数の実施の形態が、以下の利点のうちの1つ又は複数をも有することができる。

【0045】

オーディオが存在しない場合の雑音レベルの推定値が必ずしも計算される必要はなく、

50

オーディオレベルの測定、及びイヤピース下でのオーディオ+残留環境雑音のレベルに基づいて、オーディオ信号を適応させることができるようにする。たとえば、ヘッドホンのイヤピース内で測定されるSNR値(信号と雑音+信号との比)に基づいて、適用されるべき利得及びノ又は圧縮比を直に求めることができるようにする。これは、相対的に計算するのにコストがかかる信号処理を避けることができ、それは、可搬式の電池駆動のシステムにおいて望ましい。

【0046】

イヤピース下のマイクロホンにおいて、オーディオ信号入力と全信号(再生されたオーディオ+残留雑音)とを比較することによって、SNRから利得を求めることは、いくつかの利点を提供することができる。SNRとSNRとの間の関係の結果として、SNRの関数として利得を記述する、2つの線分からなる区分的線形関係は結果的に、圧縮されていないオーディオから大幅に圧縮されたオーディオまでの滑らかな遷移をもたらす。

10

【0047】

使用者が、雑音が存在する中で、2つの異なる態様のうちのいずれにおいて音楽を聞きたいかを選択することができる。一方の態様は、「上方圧縮(upward compression)」と呼ばれ、その音楽の本来の動的品質を保持しながら、フルダイナミックレンジの音楽が、雑音が存在する中でも使用者によって聞き取られるようにすることができるという目的を有する。相対的に大きな音の楽節の動的品質に影響を及ぼす可能性がある、オーディオの単純な圧縮を適用するのではなく、雑音によってマスキングされるほど十分に静かであるオーディオは適応されるが、音楽信号が雑音よりもかなり大きな音になるときは、概ね圧縮は適用されなくなり、それにより動的品質を保持する。他方の態様は、「自動マスキング」と呼ばれ、オーディオを用いて、使用者が雑音、主に近くにいる人々の会話の態様によって注意力が散漫になるのを防ぐという目的を有する。

20

【0048】

別の態様では、概括的には、ソフトウェアが、上記の方法のうちのいずれかの方法の全てのステップを実行するために、デジタルプロセッサ上で実行するための命令を含む。そのソフトウェアは、機械読取り可能媒体において具現することができる。

【0049】

別の態様では、概括的には、オーディオ処理するためのシステムが、オーディオ信号を受信するための手段と、オーディオ信号及び妨害信号の両方に関連付けられる成分を含む音響信号をモニタするための手段とを備える。そのシステムは、オーディオ信号のレベルと音響信号のレベルとの間の関係を決定するための手段も備える。この関係の決定は、オーディオ信号及び妨害信号に関連付けられる成分を分離することなく実行される。そのシステムは、その関係に従って、妨害信号の知覚作用を緩和するようにオーディオ信号を処理するための手段を備え、処理オーディオ信号を生成する。

30

【0050】

本発明の他の特徴及び利点は、以下の説明及び特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0051】

1 システム概説(図1)

図1を参照すると、オーディオシステム100が、使用者が着けるヘッドホンユニット110を備える。ヘッドホンユニットは、オーディオ源130からオーディオ信号入力131を受信する。オーディオ源130は、使用者によって調整することができる音量調節132を備える。使用者は、イヤピースの中で生成されるオーディオ信号入力の音響的に実現(表現)された音を聞く。

【0052】

一般的に、機械的雑音、背景内の人々の会話の音源等の雑音源140が、環境(周囲)音響雑音を生成する。環境音響雑音は、ヘッドホンユニット110の物理的な設計によ

50

て(たとえば、イヤピース112及びイヤパッド114の設計によって)、さらに任意選択的に、ヘッドホンユニット内に埋め込まれるアクティブノイズリダクションシステムを用いることによって減衰する。オーディオ信号入力131は、ヘッドホンユニットにおいてシグナルプロセッサ120内で処理され、ドライバ出力信号127がシグナルプロセッサ120からドライバ116に送られ、ドライバ116は、オーディオ信号入力の音響的に実現された音を生成する。使用者は、妨害信号が存在する中で、具体的には減衰した環境雑音が存在する中で、この音響的に表現された音を感知する。代替的に、シグナルプロセッサは、イヤピース112の外部に配置されることができる。

【0053】

シグナルプロセッサ120によって実行されるオーディオ信号入力131の多数の変形は、心理音響学の原理に基づく。これらの原理は、残留環境雑音による所望のオーディオ信号のマスクング、又はヘッドホンを通じて提供されているオーディオ信号による残留環境雑音のマスクングのようなマスクング効果を含む。別の原理は、ヘッドホンを通じて提供されているオーディオ信号のような所望の信号と共に提供される、注意力を散漫にする会話のような音声の了解度の程度に関する。種々の構成及びパラメータ設定において、ヘッドホンユニットは、オーディオレベル及び/又は所望のオーディオ信号の圧縮を調整して、環境雑音によるマスクングの効果を緩和し、且つ/又は所望の信号のレベルを調整して、環境雑音をマスクングするか、若しくは周囲の会話によって注意力が散漫になるのを抑えるようにする。いくつかの変形形態では、使用者は、多数の異なる設定間で選択し、たとえば、ヘッドホンが環境雑音を緩和するモードと、周囲の会話によって注意力が散漫になるのを抑えるようにするモードとの間で選択することができる。

【0054】

シグナルプロセッサ120は、使用者の耳に実際に提供されるイヤピース内の音(たとえば、音圧レベル)をモニタするマイクロホン118からの入力を利用する。それゆえ、このマイクロホン入力は、オーディオ信号入力の音響的に実現された音、及び減衰した(又は残留の)環境雑音の両方の成分を含む。

【0055】

シグナルプロセッサ120は、オーディオ信号入力131に関する一連の変形を実行する。圧縮モジュール122が、雑音レベルに基づいてレベル圧縮を実行し、静かな可聴の楽節が使用者によってさらに良好に感知されるようにする。マスクングモジュール124が、雑音レベルに基づいて、利得制御及び/又はレベル圧縮を実行し、環境雑音によって容易には感知されないようにする。雑音低減モジュールが、イヤピース内のモニタされる音レベルに基づいて、アクティブノイズリダクションを実行する。そのシステムの代替の形態では、これらのモジュールの一部だけが用いられ、且つ/又は使用者によって選択的に使用可能にされるか、若しくは動作停止にされる。

2 上方圧縮(図2A~図2C、図3)

いくつかの動作モード及び/又はパラメータ設定の場合、圧縮モジュール122は、静かな楽節が使用者によってさらに良好に感知されるように、雑音レベルに基づいてレベル圧縮を与える。圧縮モジュール122によって実施される一般的な手法は、環境雑音によって悪影響を及ぼされることになるオーディオ信号入力の静かな部分を高めながら、環境雑音よりも大きい音のオーディオ信号入力の部分を、変更されるにしても、ほとんど変更されないように提供することである。このタイプの手法は、以下で包括的には、「雑音適応上方圧縮(Noise Adapted Upward Compression)(NAUC)」と呼ばれる。その結果は、入力オーディオ信号のダイナミックレンジ全体の圧縮であり、適用される正味の圧縮量は、入力オーディオのダイナミックレンジ、及び使用者に聞こえる環境雑音レベルに比較される、使用者が聞きたい相対レベルの両方の関数である。

【0056】

NAUCは、イヤピース内の残留環境雑音によって引き起こされるマスクングを消すように設計される。この雑音が、オーディオ信号入力に対して十分に大きい場合には、その雑音は、オーディオ信号を聞き取れなくすることがある。この効果は、心理音響学の文献

10

20

30

40

50

において完全マスキングとして知られている。完全マスキングが生じる信号対雑音比 (S/NR) は、信号スペクトル及び雑音スペクトルを含む、種々の要因の関数である。典型的な値は約 -15 dB である (すなわち、オーディオ信号が、残留環境雑音よりも 15 dB だけ静かである)。信号対雑音比が完全マスキングのために必要とされる値よりも大きい場合には、部分マスキングが生じると考えられている。部分マスキングの条件下では、信号の感知されるラウドネスは、マスキング雑音が存在しないときに比べて低減される。完全マスキングとマスキングがないときとの間の範囲では、ラウドネス関数の急勾配が、雑音がない条件に比べて増加する (すなわち、目的の信号レベルの所与の変化に対して信号ラウドネスの変化が大きくなり、その変化が容易に聞き取れる)。残留環境雑音の存在時にオーディオを聞くとき、使用者は、音楽の最も大きな音の楽節を望ましいレベルにするために音量調節を設定することができ、N A U C 処理は、音量設定に相応しいオーディオの圧縮を適用する。N A U C 手法は、雑音が存在する中で、聴感を与え、静かな楽節のダイナミクスを相応に自然に感知できるようにする。

10

【0057】

マスキング効果を定量的に例示するために、イヤピースユニットが、ヘッドホンの外部の環境雑音を 20 dB だけ雑音低減するものと仮定する。たとえば、内部雑音レベルが 80 dB SPL (音圧レベル) である旅客機に乗っているときに、耳において減衰した環境雑音は 80 dB - 20 dB、すなわち 60 dB SPL である。使用者が 60 dB のダイナミックレンジを有する交響曲を聞いており、オーディオ源の音量調節を調整して、95 dB SPL のかなり大きな音のレベルでクレッシェンドが提供されるようにするものと仮定する。その音楽の最も静かな楽節は、95 dB - 60 dB、すなわち 35 dB SPL になるであろう。しかしながら、この例では、減衰した環境雑音は 60 dB SPL にあり、それゆえ、最も静かな楽節は -25 dB の SNR になり、それは完全マスキングのための典型的なしきい値よりも高いので、これらの静かな楽節は完全にマスキングされるであろう。N A U C 手法では、これらの静かな楽節が増幅され (これらを上方圧縮し)、一方、より大きな音の楽節のダイナミクスは概ね変化しない。

20

【0058】

図 2 A を参照すると、イヤピース内に特定のレベルの環境 (周囲) 雑音がある場合の、オーディオ信号入力レベル (X 軸 210) とオーディオ信号の出力の音響的に実現された音のレベル (Y 軸 212) との関係の一例を示す。破線 220 は、イヤピース内の残留環境雑音レベル (60 dB SPL) を表す。この環境雑音レベルは、オーディオ信号入力レベルとは無関係であることに留意されたい。環境雑音がない環境において用いられた場合に、結果として入力信号の関数としてイヤピース内で生じることになった出力オーディオレベルが、一点鎖線 230 によって示される。この入力 - 出力関係は線形であり (入力レベルが 20 dB だけ変化すると、出力レベルが 20 dB だけ変化する)、ヘッドホンそのものの圧縮されない利得が入力 (dB V 単位) から出力 (dB SPL 単位) まで 110 dB であることを反映する。

30

【0059】

図 2 A では、実線 240 は、N A U C を実施するように構成される圧縮モジュール 122 が、オーディオ入力に起因して、耳における、音響的に実現される音のレベルを如何に変更するかを示す。耳における圧縮されないオーディオ出力レベルが十分に残留雑音レベルよりも小さいような入力信号 (図示されるように、-80 dB V 入力未満) の場合、シグナルプロセッサは圧縮モジュール利得 235 を与え、その大きさは 25 dB 程度である。

40

【0060】

ヘッドホンイヤピース下で残留雑音がそれほど高くない場合に、使用者が残留雑音よりも著しく大きな音のオーディオを聞く場合には、そのオーディオは N A U C によって、感知できるほどには変更されない (これは、図 2 A の -45 dB V よりも高い入力信号に対応する)。その音楽の静かな部分が雑音レベルに接近するか、又はそれよりも低くなるように、使用者が後に音量を下げる場合には、それらの楽節を増幅することによって、圧縮

50

モジュールが応答する。残留雑音レベルに対してオーディオ信号入力レベルが低くなると、非常に低いオーディオレベルに達するまで（図に示されるように - 80 dBV 入力未満）、圧縮モジュールによってより高い利得 235 が与えられる。

【0061】

図 2 A に示される NAUC 圧縮モジュールの利得特性は、ただ 1 つの圧縮比によって特徴付けられない。使用者が、残留雑音に対してラウドレベルにおけるダイナミックレンジが限られている音楽を聞く場合には、NAUC 圧縮モジュールは、圧縮することなく音楽を再生する。オーディオの音量設定が下げられるのに応じて、そのダイナミックレンジは益々圧縮される。線 240 の形状を決定するパラメータが適当に選択される場合には、レベルが減少すると共に圧縮が増加して、雑音によるオーディオの部分マスキングの効果を補償する。使用者が得る結果は、残留雑音が存在する中で NAUC システムによって処理される、その音楽の本来の動的特性が、雑音がなく且つ圧縮が用いられない場合に、その音楽を聞くとときとほとんど同じように聞こえることである。

10

【0062】

耳における圧縮されないオーディオ出力レベルが残留雑音レベルよりも十分に低くなるような入力信号の場合、圧縮モジュールは増加する利得を与え続けることができるか、又は図 2 A の - 80 dBV 未満のレベルの場合に示されるように、下方伸長特性を与えることができることが好ましい。そのような範囲では、入力レベルが減少すると共に、利得 238 が減少する。下方伸長は、オーディオ源の自己ノイズフロア (noise floor) が聞こえるようになり、不快になる点まで増幅されないことを確実にするのに有効である。

20

【0063】

図 3 を参照すると、シグナルプロセッサ 120 の圧縮モジュール 122 が信号 / 雑音トラッカー（追跡回路）322 を備えており、信号 / 雑音追跡回路 322 は、オーディオ信号入力 131 及びマイクロホン入力 119 を処理して、オーディオ信号入力レベルとモニタされるオーディオマイクロホンレベルとに関連付けられる推定値を求める。この実施形態では、モニタ用マイクロホンはヘッドホンのイヤピース内に配置される。それゆえ、マイクロホン出力は、使用者の耳におけるオーディオ信号及び残留環境雑音からなる成分を含む。ヘッドホンが、たとえばアクティブノイズリダクション (ANR) 用の雑音低減モジュール 126 を備える場合には、ANR 信号処理及び NAUC 信号処理の両方のために 1 つのマイクロホン 118 を用いることができることに留意されたい。その入力は利得 / 圧縮プロセッサ 324 を通じて処理され、利得 / 圧縮プロセッサ 324 は、信号 / 雑音追跡回路 322 から与えられる制御情報に基づいて、利得及び / 又はレベル圧縮を適用する。

30

【0064】

信号 / 雑音追跡回路 322 は、オーディオ信号入力 131 及びマイクロホン入力 119 を受信する。マイクロホン入力 119 は乗算器 310 に入力され、乗算器 310 はその入力を較正係数と乗算して、ヘッドホンシステムの相対感度を調整し、較正後のマイクロホン入力及びオーディオ信号入力が、環境雑音が概ね存在しない典型的なオーディオ信号の場合のレベルにおいて概ね等しくなるようにする。2 つの信号、オーディオ信号入力 131 及び較正されたマイクロホン入力は、その後、バンドパスフィルタ (BPF) 312 及び 316 にそれぞれ通されて、それぞれのスペクトルが所望の範囲に制限される。この実施形態では、BPF ブロックは、80 Hz ~ 800 Hz の周波数を通過させる。オーディオ入力からイヤピース内の音響出力までの典型的な ANR ヘッドホンの応答は、他の帯域幅に比べて、この周波数範囲内では使用者による変動が小さいので、この帯域幅が選択される。また、この周波数範囲は、典型的なオーディオ信号内のエネルギーの大部分を含む。代替的に、他の BPF 帯域幅を用いることができる。

40

【0065】

BPF ブロック 312 及び 316 からの信号は、制限された帯域幅を有し、デジタル信号処理の実施形態において、より低いサンプリングレートまでデシメート又はリサンプリングすることができる。これにより、ブロック 314 及び 318、並びに乗算器 334 を

50

除く利得/圧縮プロセッサ324内の全ての構成要素(素子)のための処理を、デシメートされたレートで行うことができるようになり、計算量及び消費電力が削減される。この実施形態では、BPFブロックの出力は2.4kHzサンプリングレートまでデシメートされる。最大オーディオ帯域幅を含む他のレートを用いることもできる。

【0066】

BPFブロック312及び316の出力は、包絡線検出器314及び318にそれぞれ入力される。各包絡線検出器の機能は、その入力信号の時変(時間と共に変化する)レベルの指標(measure)を出力することである。各包絡線検出器は、入力信号を二乗し、二乗された信号を時間平均し、その後、対数($10 \times \log_{10}()$)を適用して、平均されたレベルをデシベルに変換する。2つの包絡線検出器は、立ち上がり及び立ち下がり信号レベルに対して異なる平均時定数を有する。この実施形態では、包絡線検出器は、約10ミリ秒の立ち上がり時間と、約5秒の立ち下がり時間(リリース時間)とを有する。代替的に、立ち上がり時間及び立ち下がり時間に対して等しい値を含む、他の立ち上がり時定数及び立ち下がり時定数を用いることができる。立ち上がりが速く、立ち下がりが遅い包絡線検出器が、オーディオダイナミックレンジ圧縮器の共通の特徴であり、時定数の選択は、入力のダイナミクスが変化するのに応答して可聴の出力信号レベルの「ポンピング」を最小限に抑える最小化の重要な態様である。図2Aを参照すると、このシステムでは、立ち上がり時間を速くすることによって、部分的な又は完全なマスキング領域($SNR < 0 \text{ dB}$)からマスキングのない領域($SNR > 0 \text{ dB}$)までオーディオ信号入力レベルが急速に増加するとき、圧縮モジュール利得235が急速に減少し、オーディオが桁外れに大きく聞こえないことを確実にする。

【0067】

包絡線検出器314及び318の出力(dB単位)は減算構成要素(素子)320において減算され、すなわちオーディオ包絡線からマイクホン包絡線が減算され、イヤピース内に存在するオーディオ信号対(雑音+信号)比(SNSR)321の推定値がもたらされる。乗算器310に入力される較正係数が適当に設定され、ヘッドホンが静かな環境(すなわち、残留環境雑音が無視できる)において装着されて動作する場合には、典型的なオーディオ信号の結果として、0dBのSNSRに相当する等しい包絡線検出器出力が生成されるはずである。図2Cを参照すると、 SNR (X軸)の関数としてのSNSR(Y軸)のグラフが、残留環境雑音の存在時に、オーディオレベルが低い($SNR < 0 \text{ dB}$)場合に、SNSRが SNR に接近するのに対して、オーディオレベルが高い($SNR > 0 \text{ dB}$)場合に、SNSRが0dBの最大値に接近することを示す。 $SNR = 0 \text{ dB}$ (残留環境雑音及びオーディオ信号の音響的に実現される音のレベルが等しい)の場合には、 $SNSR = -3 \text{ dB}$ である。図2Cに示されるSNSRと SNR (dB単位)との間の関係は、数学的に以下のように表すことができる(オーディオと雑音との間に相関がないものと仮定する)。

【0068】

【数1】

$$SNSR = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{SNR/10}}{1 + 10^{SNR/10}} \right)$$

【0069】

再び図3を参照すると、SNSR及びオーディオ包絡線検出器314の出力が利得/圧縮プロセッサ324に送られ、オーディオ信号に適用するための利得量が求められる。利得/圧縮プロセッサ324は、時変利得をオーディオに適用し、その利得は、利得計算ブロック330においてSNSRから求められる。図2Bを参照すると、SNSR321の関数としての圧縮器利得235は、図2Aに示されるグラフに対応する。この利得は、4個一組のパラメータ328に基づいて指定される。具体的には、この実施形態では、利得は、4つのパラメータ(BPz、Bpc、Gbp及びSc)に基づいて計算され、以下のように、3つのSNSR範囲において異なる式が適用される。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

SNSR > BPz の範囲の場合、利得は 0 dB である。図 2 B に示される例では、ブレイクポイント（区切り点）BPz = - 0.5 dB である。- 0.5 dB の SNSR は、図 2 C に示されるように、約 10 dB の SNR に相当する（すなわち、信号レベルは雑音マスキングレベルよりも十分に高い）。

【 0 0 7 1 】

SNSR = Bpc（ただし、Bpc < BPz）の場合、適用される利得は Gbp である。範囲 SNSR < Bpc の場合、SNSR の関数としての利得への Sc の圧縮勾配が入力レベルに適用される。すなわち、SNSR が 1 dB 減少する度に、利得が Sc dB だけ増加する。オーディオレベルが残留雑音レベルよりも十分に低い（たとえば、- 10 dB SNR 未満である）場合、図 2 C に示されるように、SNSR は SNR のかなり近くまで接近する。したがって、利得が SNSR に依存する結果として、圧縮比が 1 : (1 - Sc) になる。図 2 B 及び図 2 C の例では、Bpc 区切り点は SNSR = - 3 dB において生じるように選択され、その SNSR は約 0 dB の SNR に相当する。これは、図 2 A の - 50 dBV の入力レベルにおいて生じる。図 2 A 及び図 2 B の例では、入力レベルの範囲にわたって、圧縮勾配 Sc は 0.8 になるように選択されており、その値は、約 1 : 0.2 又は 5 : 1 の圧縮比に相当する。- 60 dBV (- 10 dB SNR に相当する) から - 80 dBV までの入力範囲にわたって、図 2 A は、入力レベルが減少すると、圧縮モジュール利得 235 が概ね線形に増加することを示す。

【 0 0 7 2 】

中間領域 Bpc < SNSR < BPz では、図 2 B に示されるように、利得は、SNSR = BPz における 0 の利得から、SNSR = Bpc における Gbp の利得の間まで線形に（SNSR の関数として）補間される。その例では、Gbp = 3 dB である。Bpc < SNSR < BPz の範囲は、約 10 dB のオーディオ信号入力レベルの範囲に相当し、その結果として、出力レベルの範囲が 10 dB - 3 dB = 7 dB になり、それは低いオーディオ信号入力レベルに適用される 5 : 1 の圧縮よりもかなり低い。

【 0 0 7 3 】

330 において実施され、以上概説した、これらのパラメータを含む利得計算は以下のように簡潔に表すことができる。

【 0 0 7 4 】

【数 2】

$$G(\text{dB}) = \begin{cases} 0 & \text{SNSR} > \text{BPz} \\ Gbp * \left(1 - \frac{(\text{SNSR} - \text{Bpc})}{(\text{BPz} - \text{Bpc})} \right) & \text{Bpc} < \text{SNSR} < \text{BPz} \\ Gbp + (\text{Bpc} - \text{SNSR}) * Sc & \text{SNSR} < \text{Bpc} \end{cases}$$

【 0 0 7 5 】

上記の式は、2つの線分に関して、オーディオ入力がある SNSR < BPz に対応する場合の圧縮モジュール利得 235 を記述しており、各線分は SNSR に関して線形であり、SNSR = Bpc において一緒になり、SNSR > BPz の場合に 0 利得の線分である。図 2 C に示されるように、範囲 - 10 dB < SNR < 10 dB にわたる、SNSR と SNR との関係の特性を考えると、利得と SNSR（図 2 B に示される）との間に区分的に線形な関係がある結果として、図 2 A に示されるように、オーディオ入力に対して、高い圧縮領域（勾配 Sc、SNSR < - 10 dB）から滑らかに遷移して、0 の圧縮器利得（勾配 1、SNSR > 10 dB）に向かって減少する圧縮器利得 235 が適用されるようになる。結果としてこの領域を生成する効果的な圧縮は、SNSR < Bpc のときのように、ただ 1 つの勾配によっては特徴付けられない。

【 0 0 7 6 】

4 つのパラメータ（BPz、Bpc、Gbp 及び Sc）は、部分マスキングに関する心

理音響学的実験に基づいて選択することができるが、雑音の不在及び存在の両方において、音楽を比較して聞いてみることに基づいて設定されることが好ましい。適当に選択されたなら、これらのパラメータは、ヘッドホンによって、静寂の中で聞いた音楽、又は残留環境雑音がある中で聞いた音楽において、音楽の本来の動的特性を確実に同じようにする。上記の例において与えられる値以外の値が望ましいこともある。少なくともいくつかのパラメータ選択によって、雑音が存在する中で音楽的なダイナミクスが概ね元に戻され、詳細には、大きな(0 dB SNRよりもはるかに高い)信号の場合の圧縮されないオーディオから、小さな(0 dB SNR未満の)信号の場合の大幅に圧縮されたオーディオまで滑らかに移行する。聴取試験は、小さな信号の場合の圧縮比が3:1以上であり、大きな信号の場合の圧縮比が2:1よりもかなり小さいこと(好ましくは1:1)が望ましいことを示している。

10

【0077】

利得計算ブロック330の出力は利得制限回路332に入力され、利得制限回路332は、非常に低いオーディオ信号入力レベルの場合に、利得が高すぎないように利得を制限する。この利得制限回路の効果は、オーディオ信号が低いとき、又はおそらく存在しない(たとえば、オーディオ源がオンであるが、再生していないか、又は録音された楽曲間の無音中である)ときに、オーディオ源そのものの自己雑音下限が望ましくないレベルまで増幅されないように、利得を確実に下げることである。図2Aに示される例では、利得制限回路は、最初に、伸長勾配に、オーディオ信号入力レベルとゼロ基準レベルとの間のdB単位の差とを掛けた値に等しい下方伸長利得値を計算することによって決定される。ゼロ基準レベルは、信号を再生していないので、圧縮モジュール利得が適用されるべきでないオーディオ信号入力レベルに相当する。オーディオ信号に適用するためのdB単位の実際の利得は、利得計算330によって求められる利得、及びこの下方伸長利得のうちの最小値である。

20

【0078】

図2Aの例では、下方伸長勾配は2:1であり、ゼロ基準レベルは-95 dBVである。図2Aに示される60 dB SPLの残留雑音レベルと共に、これらの値によって、最大圧縮器モジュール利得を約25 dBにできるようになる(-80 dBVのオーディオ信号入力レベル時)。残留雑音レベルが減少すると、曲線240の高い圧縮部分が下方伸長部分と交差する点が、図の左側に動くことになり、圧縮モジュールによって与えられる最大利得が減少するであろう。ゼロ基準レベル及び伸長勾配が、聴取実験及び実際のハードウェアの自己雑音特性に基づいて適当に選択される場合には、オーディオ源又はシグナルプロセッサ自己雑音が聞こえるのを最小限に抑えられる。NAUCシステムの基本特性を達成しながら、オーディオ信号入力レベルが低い場合の利得を制限する他の手段を用いることもできる。

30

【0079】

さらに、利得制限回路332は、利得スルーレート制限も含む。大抵の場合に、残留環境雑音は概ね一定であるか、又はゆっくり変化するものと考えられる。イヤピースを偶然に軽く叩くこと、又は咳をすることに起因するような、その人の環境内の一時的な雑音に反応して、NAUCシステムが突然にオーディオを増幅することは望ましくない。これを最小限に抑えるために、この実施形態の利得制限回路は、利得が増加することができるレートを20 dB/秒のレートに制限する。オーディオ信号入力レベルの迅速な増加に対して、利得計算330によって求められるのに応じてシステムが反応するように、利得が減少することができるレートに制限は設けられない。

40

【0080】

その後、利得制限回路332の出力は、デシベルから倍率に変換され、アンチジッターノイズフィルタに通されて(離散的な利得ステップの可聴影響が取り除かれ)、その後、増幅器334に入力され、オーディオ信号入力131が増幅され、オーディオ信号出力123が生成され、その出力はマスキングモジュール124に送られる。

【0081】

50

そのシステムの少なくともいつかの実施形態の特徴は、オーディオが存在しない場合に、雑音レベルを推定する必要がないことである。その利得は、SNR（信号対雑音比）ではなく、SNSR（信号対雑音+信号比）から求められる。

2.1 代替形態

代替的に、ヘッドホンのイヤピース（複数可）の外部にあるマイクロホンを用いて、雑音レベルを求めることができる。イヤピースの雑音減衰（パッシブ、そして可能であればANR）及びヘッドホンそのものの感度（イヤピース下でのオーディオ信号入力レベルから音圧レベルまでの利得）のために、信号レベルが調整される。これらの要因における組み合わせられた不確定性は程度が大きくなることもあり、結果として、圧縮器モジュールによる部分マスキングの効果の補償の正確さが落ちることがあることに留意されたい。しかしながら、状況によっては（たとえば、雑音減衰があるにしても、ほとんどない背面開放型ヘッドホンの場合）、イヤピースの外部にマイクロホンを置くことは、そのような潜在的な不確定性を補って余りある。

【0082】

上記のような、SNSRを基にし、且つイヤピース下にあるマイクロホンを基にする圧縮器モジュールは、ヘッドホン感度及びマイクロホン感度が如何に正確にわかるかにも影響されやすいことがある。図3のブロック図に付加的な任意選択のブロックを追加して、システムが自動較正できるようにすることができる。このブロックは、入力として、SNSR 321及びオーディオ信号入力包絡線 315をとり、乗算器 310に加えられる較正係数を出力する。この任意選択のブロックは、ゆっくりと較正係数を調整し、オーディオ信号入力包絡線が大ききときに、SNSRが確実に0dBになるようにする。較正係数は、大きなオーディオ信号入力包絡線レベルを有する間隔中に0dB SNSRを達成するためだけに更新されることが好ましく、その間隔は、オーディオレベルがかなり低く、同時にSNSRが適度である（0dB SNRに近い）間隔後に短時間だけ続く。雑音レベルがゆっくり変化しているものと仮定すると、これにより、オーディオレベルが残留雑音レベルよりも著しく大きくなるときにだけ、較正係数の更新が確実に生じるようになる。

【0083】

BPF 312及び316は、本発明の80Hz～800Hz範囲以外の周波数範囲を通過させるように設計されることもある。代替的に、バンドパス応答以外のフィルタ特性を用いて、オーディオ入力の部分、及びレベルを求めるためにモニタされるマイクロホン信号の部分を選択することができる。

【0084】

包絡線検出器 314及び318の他の実施態様を用いることができる。たとえば、包絡線検出器は、二乗された値ではなく、絶対値（すなわち、信号の大きさ）に関して動作することができる。これにより、計算負荷が軽減され、固定小数点DSP実施態様における計算ダイナミックレンジの問題が緩和される。また、デシベルの代わりに、底10以外の底の対数、対数に適用される10又は20以外の倍率、又は他の非線形関数を用いて、信号レベルを記述することもできる。たとえば、レベル単位間の変換を実施する際に用いられる対数又は冪関数（ 10^x ）の代わりに、打ち切り（truncated）テーラー級数展開を用いることもできる。これらは、予め計算されているルックアップテーブルからの係数を用いて、種々の値範囲にわたって計算することができる。この手法は、固定小数点DSPの実施態様において対数又は冪関数よりも計算を効率的に実施しながら、十分に正確にすることができる。

【0085】

上記以外の包絡線検出時定数を用いることもできる。たとえば、音声包絡線検出器において用いられる時定数（通常10ミリ秒）のような等しい値を用いることもできる。代替的に、さらに遅い時定数を用いて、結果として、残留雑音レベルにตอบสนองして圧縮特性を調整するのではなく、自動的に音量を調整することができる。別の代替形態では、フィードバックの接続形態を有するフィルタによって生成される立ち上がり時定数及び立ち下がり時定数によってではなく、立ち上がり及び立ち下がりにおいて対称、非対称のいずれかの

10

20

30

40

50

スルーレート制限によって、包絡線検出器が平均化する。

【0086】

図3に示される信号処理ブロックは、BPFブロック312及び316の後にデシメーションを用いることなく、最大オーディオ帯域幅のためのサンプリングレートで生じるように、離散的な時間において実施することができる。

【0087】

マイクロホン包絡線検出器318は、イヤピースを軽くたたくことによって引き起こされるような突然の過渡応答を阻止することも望ましい。この目的を果たすために、この実施形態は、利得制限回路332に利得スルーレート制限を組み込む。オーディオ及びマイクロホンの包絡線検出器314及び318のために同じ時定数を用いるのではなく、異なる時定数を用いることによって、一時的な雑音の影響を軽減するの促進することができる。マイクロホンレベル検出器318において用いられる時定数は、オーディオ及びマイクロホンのレベル検出器314及び318の出力の関数として変化するようにすることもできる。たとえば、マイクロホンレベル検出器は、オーディオレベルの急速な変化率が観測されるときを除いて、ゆっくりと変化に応答するように設定することができる。代替的に、移動する窓(ウインドウ)内のレベルの中央値又はモード(最頻値)を用いることのように、利得制限回路機能において、さらに複雑な過渡応答阻止を用いることもできる。そのような代替の手法は、突然に増減する利得の過渡応答に対して異なるように応答する中央値又は最頻値の変形を含むことができる。最も効果的にするならば、そのような利得制限フィルタは因果的ではなく、増幅器334の前に適当な量だけオーディオ信号入力が遅延

10

20

【0088】

dB単位の圧縮器利得を、或る定数に負のSNRSRを掛けた値に等しく設定することによって、さらに簡単な利得計算330を達成することができる。その定数がSc($G = -SNRSR \times Sc$)である場合には、結果として生成される利得は、図2Aに示される利得と概ね同様であり、上記のさらに複雑な4パラメータ利得計算からの最大差は、 $Sc = 0.8$ の場合にわずか0.6dBである。当然、そのような簡略化された利得計算を用いる誤差は、異なるGbp値、Sc値、Bpc値及びBPz値の場合にさらに大きくなるであろう。このさらに簡単な利得計算は、SNRSR 0dBの場合に圧縮勾配を求めるただ1つのパラメータを提供する。しかしながら、聴取試験において圧縮モジュールの動作を微調整できるようにするために、他のパラメータを利用することはできない。

30

【0089】

代替的に、さらに複雑な計算を必要とすることがあるが、SNRSRの関数としての利得計算330は、付加的な区切り点、又は代替的な利得算術計算を用いることができる。包絡線検出及び利得計算において用いられるパラメータは、オーディオレベル又はマイクロホンレベルと共に変化するようにすることもできる。

【0090】

代替的に、種々のレベルにおける部分マスキングの心理音響学的特性をさらに良好に近似するために、又は増幅によりオーディオ源自己雑音下限が聞こえるのを低減するために、上方圧縮を異なる周波数帯において別個に行うことができる。上方圧縮が複数の帯域において行われる場合には、マスキングの上方への広がり心理音響学的効果を概ね補償するために、低い方の周波数帯からの雑音レベルを高い方の周波数における圧縮計算に入れることが望ましいことがある。これは、(a)圧縮器利得を計算するために用いられる高い方の周波数帯内の効果的なSNRSR値を求める際に、低い方の周波数のSNRSR値又はマイクロホンレベル値の一部を計算に入れることによって、又は(b)マイクロホンレベル推定ブロックの前のバンドパスフィルタが、オーディオ包絡線検出器ブロックの前のBPFよりも勾配が緩やかな低周波数勾配を有するようにし、それにより、その周波数帯のためのSNRSRを求める際に、或る量の低い方の周波数の雑音エネルギーを含むようにすることによって果たすことができる。

40

【0091】

50

オーディオ信号が存在しない間隔中に、システムが上方圧縮特性を変更して、オーディオ源又は入力回路自己雑音が増幅されて不快にならないようにすることも望ましいことがある。これを果たすために、この実施形態は、利得制限回路332に入力オーディオレベル依存下方伸長を含む。複数帯域動作もこれを果たすことができる。入力オーディオレベル、マイクロホンレベル又はSNRSの関数として上方圧縮利得計算パラメータ(たとえば、Gbp及びSc)を調整すること等の、非常に低いオーディオ入力レベルの間に利得の低減を果たすための他の手法も用いることができる。

【0092】

SNRSに基づく圧縮判定が好都合である理由がこれまでに述べられてきたが、SNR推定値を入手することができる場合にも、図2Aの線240によって表されるのと同じような入力-出力特性を達成することができる。雑音レベルの推定値は、SNRSが-10dB、又は相当するしきい値未満である間に、マイクロホンレベルから求めることができる。この値は、SNRSがしきい値よりも大きい間隔中に、メモリレジスタ内で一定に保持することができる。その後、格納された雑音レベル推定値を用いて、異なる利得計算への入力としてSNR値を求めることができる。さらに複雑で、計算集約的なパラメータ推定技法又は適応フィルタ技法を適用して、同じように、ヘッドホンオーディオが存在しない場合に、ヘッドホンイヤピース下で雑音レベルを推定することができる。また、マイクロホン入力119そのものの代わりに、雑音低減モジュール内で導出される信号を用いることができる。たとえば、差分構成要素(素子)530(図5を参照)における、マイクロホン入力と所望のオーディオ信号との間の差を用いることができる。代替的に、イヤピースの内部ではなく、外部にあるマイクロホンを用いて、雑音を直に測定し、その後、イヤピース下の残留雑音を推定するために適用される、或る較正值(ヘッドホンの雑音減衰を表す)を求めることができる。上記の方法のうちのいずれかを用いてSNR値が得られるものとする、SNR 0dBの場合の圧縮されない特性及びSNR 0dBの場合の大きく圧縮された特性を含む、所望の利得を、区分的線形関数又は多項式関数から計算することができる。

【0093】

高レベルオーディオ信号に圧縮をかけて、ヘッドホンが過度に大きなオーディオレベル、聴覚に損傷を与えるオーディオレベル、又は歪んだオーディオレベルを生成したりしないようにすることができる。

【0094】

SNRS又はSNRの関数として上方圧縮を求めるパラメータは、SNR 0dBの場合の圧縮されない特性を保持しながら、使用者が調整可能にすることができる。

上記の実施形態は、ヘッドホン内でNAUCを実施する。代替的に、雑音適応上方圧縮は他の状況において、たとえば出力オーディオ信号123から、音響環境を通して、マイクロホン信号119まで伝搬する間の概ね既知の時間遅延によって特徴付けられる状況において適用することができ、そのような音響環境では、反響は概ね存在しない。そのような条件では、SNR 0dBの場合に連続した一定レベルの雑音が、入力オーディオ包絡線(上記の遅延によって調整される)とSNRSとの間に良好な相関を与え、SNRSから、オーディオ入力の大きな圧縮を達成するための適当な利得を求めることができるようになる。MAUCが適用されることが好都合であることがある環境の例には、受話器、自動車、航空機操縦室、補聴器、及び反響が限られている小さな部屋が含まれる。

3 自動マスキング(図4)

マスキングモジュール124は、オーディオレベルを自動的に調整して、イヤピース内の残留環境雑音の信号から、使用者が注意力散漫になること、又は他の使用者に対する妨害を低減又は解消する。そのような注意力の散逸は、最も一般的には近くの人々の会話によって引き起こされるが、たとえば、使用者が知的作業を実施しているときには、他の音が使用者の注意力を散漫にすることもある。

【0095】

注意力の散逸を低減又は解消するための1つの手法は、オーディオレベルを調整して、

10

20

30

40

50

常時、残留環境雑音を完全にマスクキングするほど十分に大きくなるようにすることである。マスクキングモジュール124は、レベルを大きくすることを必要とすることなく、注意力散逸の低減又は解消を達成する。包括的には、マスクキングモジュール124は、オーディオレベルを自動的に判定し、雑音（たとえば、会話）が使用者の注意力を散漫にするのを避けるのに十分である、残留雑音の部分マスクキングを提供する。注意力散逸を避けるためのこの手法は、もともと注意力が散漫なりにくいオーディオ、及び手元の仕事をする上で使用者にとって好みのオーディオを聞くように選択している場合に効果的であることがある。そのような選択されるオーディオの例として、一様な雑音（オープンプランオフィスにおいて会話を不明瞭にするために用いられることがあるマスクキング雑音等）、心地よい自然音（豪雨（rainstorm）を録音した音、又は森の小川の近くで録音した音等）、又は安らぎを与えるインストルメンタル音楽を考えることができる。

10

【0096】

簡単な定量的な例によって、このタイプのマスクキング手法が如何に都合よく用いることができるかを例示することができる。使用者が、オープンプランオフィスにおいて働いており、隣の人の会話から60 dB SPLの背景雑音レベルが生じているものと仮定する。20 dB雑音低減を提供するヘッドホンを着ける場合には、注意力を散漫にする会話から耳において結果として生じる残留雑音レベルは60 dB - 20 dB、すなわち40 dB SPLである。たとえ減衰しても、この残留雑音レベルは、正常な聴覚を有する人であれば容易に言葉を理解し、それゆえ注意力が散漫になる可能性があるほど十分に大きな音である可能性がある。しかしながら、-10 dBのSNR（すなわち、オーディオ入力マスクキング「雑音」レベルに対する減衰していない残留会話「信号」レベルの比）が、周囲の会話を理解できないようにする（又は、少なくとも注意を引かないようにする）だけの十分な部分マスクキングを与えるものと仮定すると、使用者は、50 dB SPLにおいて自分が選択したオーディオを聞くことができ、注意力を散漫にする会話を聞き取れなくすることができる。こうして、そのようなシステムを着けるときの、使用者の注意力を散漫にすることがある60 dB SPL（すなわち、10 dB大きな）背景会話があっても、使用者が仕事をするのに好ましい50 dB SPLのオーディオの中に引き込まれる。

20

【0097】

マスクキングモジュール124は、オーディオ信号入力のレベルを調整して、残留雑音をマスクキングするために必要な程度だけ大きくなるようにする。概括的には、上記の例では、環境雑音レベルが、60 dB SPLではなく、55 dB SPLである場合には、オーディオ信号は、50 dB SPLではなく、45 dB SPLのレベルにおいて使用者に提供されるであろう。

30

【0098】

マスクキングモジュール124は、結果として生成されたマイクロホン入力119に基づいて、フィードバック構成で、信号乗算器410に適用される利得を調整する。一般的に、モジュールによって求められる利得量は、雑音及び反響のような妨害信号がある中で音声信号の了解度を説明することを目的とする心理音響学原理に基づく。そのような了解度の1つの客観的な予測変数は音声明瞭度であり、それは、所望の信号と使用者に提供される信号との間で音声のエネルギーの変調（すなわちエネルギー包絡線）が保持される度合いに基づく了解度の推定値である。そのような指標は、異なる周波数において別個に、又は広い周波数帯にわたって計算することができる。

40

【0099】

図4を参照すると、マスクキングモジュール124は、利得調整（乗算器410による）後のマイクロホン信号119及びオーディオ信号125のそれぞれに関連付けられるエネルギー包絡線を求める。マスクキングモジュール124は、これらのエネルギー包絡線間の関係に基づいて、適用すべき利得量を求める。その利得は、エネルギー包絡線間の所望の関係を保持するように、フィードバック構成で調整される。

【0100】

オーディオ信号125及びマイクロホン信号119は、バンドパスフィルタ412及び

50

4 1 6 にそれぞれ送られる。これらのフィルタの通過帯域は 1 k H z ~ 3 k H z であり、それは、音声エネルギーが了解度に大きく寄与する帯域である。フィルタリングされたオーディオ信号及びマイクロホン入力は、包絡線検出器 4 1 4 及び 4 1 8 にそれぞれ送られる。包絡線検出器は、約 1 0 m s の時定数にわたって、信号エネルギー（すなわち、二乗された振幅）の短時間平均を実行し、その時定数によって、約 1 5 H z までの速度で音声変調が収集される。

【 0 1 0 1 】

2 つの包絡線検出器 4 1 4 及び 4 1 8 の出力は相関器 4 2 0 に入力され、相関器は過去のブロック長に基づいて出力を与え、そのブロック長は、この場合のシステムでは、2 0 0 m s の持続時間を有するように選択される。相関器は、そのブロック長にわたって同じ平均レベルを有するように 2 つの入力を正規化し、その後、それらの最新の正規化された包絡線値の積の和を計算する。一般的に、相関が高い場合には、マイクロホン入力はオーディオ入力から概ね生じており、それは、存在する残留雑音（注意力を散漫にする会話）が相対的に小さいことを意味する。相関が低い場合には、マイクロホン入力は残留雑音から概ね生じており、入力オーディオは、その残留雑音を聞き取れなくするほど十分に大きな音ではない。

【 0 1 0 2 】

相関器 4 2 0 の出力は、加算器 4 2 2 において、相関目標値から減算される。この値は、注意力を散漫にするオーディオを十分にマスキングできるようにするために、実験的に求められた値に基づいて設定される。相関目標値のための典型的な値は 0 . 7 である。任意選択的には、使用者が、使用者の好み、環境雑音の具体的な特性等に基づいて、相関目標値を調整することができる。

【 0 1 0 3 】

加算器 4 2 2 の出力は積分器 4 2 4 に送られる。積分器は、測定された相関値と目標値との間の或る一定の差に、一様に増加する（又は、差の符号によっては一様に減少する）利得コマンドで応答する。積分器 4 2 4 の利得コマンド出力は乗算器 4 1 0 に加えられ、乗算器は、オーディオ信号入力の利得を調整する。積分器時定数は、図 4 に示されるオーディオ利得制御フィードバックループが注意力を散漫にする会話レベルの変化に応答するのに主観的に好ましい速度を確立するように選択される。5 秒 ~ 1 0 秒の応答時間が適当である。積分器 4 1 4 の代わりに、代替的な応答を用いることもできる。たとえば、D C において高い利得を有するローパスフィルタを用いて、目標値に十分に近くなるように相関器 4 2 0 の出力を調節し、所望のマスキングレベルを達成することができる。

3 . 1 代替形態

マスキングオーディオとして用いられる音楽の動的特性が、人の意識の中に過度に入り込むのを防ぐために（その音楽が知的作業にとって心地よい背景にとどまることが望ましいとき）、図 4 のマスキングシステムによって与えられるレベル調整前に、入力オーディオ 1 2 3 を圧縮することが望ましいことがある。2 : 1 ~ 3 : 1 の圧縮比を有する標準的な圧縮器構造が相応しいことがあるが（前に記述された N A U C システムではない）、使用者によっては、他の比、N A U C システム、又はおそらく圧縮がないことを好むこともある。用いられる圧縮タイプの選択は、使用者が選択可能にすることができる。

【 0 1 0 4 】

図 4 に示される手法に対する変形も可能である。左右のイヤピースマイクロホン及びオーディオ信号を別個に、又は組み合わせて動かし、片耳成分を処理して、オーディオに適用すべき利得を求めることができる。複数の B P F 通過帯域を設定し、種々の帯域において包絡線検出及び相関を並列に行い、目標値と比較する前に、結果として生成された相関係数を重み付けして合成することができる。マスキング信号として、音楽ではなく、無作為な音又は自然音が望まれる場合には、これらの音を或る圧縮形式でシステムに格納することができ、オーディオ源への接続を必要とすることなく、自動マスキングを達成できるようになる。

【 0 1 0 5 】

上記の実施形態は、フィルタリングされた信号レベルの二乗を10msの時定数を有するローパスフィルタでフィルタリングすることによって、エネルギー計算からオーディオ及びマイクロホンの包絡線(時変レベル)を求める。代替的に、フィルタ出力の絶対値をローパスフィルタにかけて、包絡線を求めることができる。また、10以外のローパスフィルタ時定数を用いることもできる。

【0106】

200ms以外の相関ブロック長を用いることができる。代替的に、相関は、長方形以外の(重み付けされた)ウィンドウを用いることもできる。

上記の実施形態は、オーディオ入力及びモニタされたマイクロホン信号の帯域制限された信号包絡線間の目標相関値を保持するように、オーディオの音量レベルを調整する。代替的に、自動マスキングシステムは、音量レベルを調整して、目標SNR値又はSNR値を保持するように設計することができる。

10

【0107】

上記の実施形態は、ヘッドホンと共に用いるための自動マスキングシステムを実現する。代替的に、自動マスキングは、他の状況において、たとえば、出力オーディオ信号125が音響環境を通して、マイクロホン信号119まで伝搬する場合に概ね既知の時間遅延によって特徴付けられる状況において、及び概ね反響がない音響環境において実施することができる。そのような条件下で、自動マスキングは、小さな部屋内で都合よく働くようにすることができる。

4 雑音低減(図5)

20

雑音低減モジュール126はオーディオ信号125に適用され、そのオーディオ信号は既に利得制御及び圧縮にかけている。図5を参照すると、ノイズキャンセラは負帰還構成を利用しており、マイクロホン入力119がフィードバックされ、所望のオーディオ信号と比較され、その差がオーディオドライバまで送られる。この構成はBose及びCarterに対して発行された米国特許第4,455,675号に教示される構成に類似であり、その特許は参照により本明細書に援用される。図5では、フィードバックループは制御ルール520を含み、制御ルール520は、電気信号に適用されるべき利得及び周波数依存伝達関数を提供する。制御ルール520の出力127は、イヤピース内のドライバ116に加えられる。ドライバは、その電気的入力127と、イヤピース内で達成される音圧525との間で周波数依存伝達関数Dを有する。マイクロホン118は音圧を感知し、電気的

30

【0108】

この構成に基づくと、ノイズキャンセラに適用されるオーディオ信号は、以下の全伝達関数を有する。

【0109】

【数3】

40

$$\left(\frac{ECD}{1+CMD} \right)$$

【0110】

一方、環境雑音は以下の伝達関数を有する。

【0111】

【数4】

$$\left(\frac{1}{1+CMD} \right)$$

【0112】

それにより、イヤピースの物理的特性によって達成される特性よりも環境雑音が減衰する。

5 実装

上記の手法は、アナログ回路、デジタル回路又はこれらの2つの組み合わせを用いて実施される。デジタル回路は、上記の信号処理ステップのうちの1つ又は複数を実施するデジタルシグナルプロセッサを含むことができる。デジタル信号処理を用いる実施態様の場合、アンチエイリアスフィルタリング、デジタル処理及びデジタル/アナログ変換の付加的なステップが図示されておらず、また上記で説明されていないが、従来の態様で適用される。アナログ回路は、個別部品のような素子、演算増幅器のような集積回路、又は大規模アナログ集積回路を含むことができる。

10

【0113】

シグナルプロセッサは、ヘッドホンユニット内に組み込むことができるか、又は代替的に、上記の処理の全て又は一部が別個のユニット内に收容されるか、又はオーディオ源と共に收容される。雑音マスキングのためのオーディオ源はヘッドホンユニット内に組み込むことができ、それにより、外部オーディオ源を設けることが不要になる。

20

【0114】

デジタルシグナルプロセッサ又は汎用マイクロプロセッサのようなプログラマブルプロセッサを利用する実施態様では、システムは、プロセッサにおいて実行されるときに、システムのモジュールのうちの1つ又は複数を実施する命令を保持する、不揮発性半導体メモリ（たとえば、「フラッシュ」メモリ）のような記憶装置を含む。オーディオ源がヘッドホンユニットと一体に構成される実施態様では、そのような記憶装置は、オーディオ信号入力をデジタル化した信号も保持することがあるか、又はそのようなオーディオ信号を合成するための命令を保持することがある。

6 代替形態

30

これまでの説明は、ただ1つのチャンネルを処理することに焦点を当てている。ステレオ処理（すなわち、それぞれが各耳に関連付けられる2つのチャンネル）の場合、1つの手法は、耳/チャンネル毎にシグナルプロセッサの別個の例を使用することである。代替的に、処理のうちのいくつか又は全てが、2つのチャンネルの場合に共用される。たとえば、オーディオ入力及びマイクロホン入力が2つのチャンネルの場合に合算されることがあり、その後、共通の利得が左右両方のオーディオ入力に適用される。処理ステップによって、チャンネル間で共用されるものもあれば、個別に実施されるものもある。この実施形態では、圧縮ステージ及びマスキングステージは片耳チャンネルにおいて実行され、一方、アクティブノイズリダクションはチャンネル毎に別個に実行される。

【0115】

40

これまで、上方圧縮(MAUC)及び自動マスキングの両方を含む、システムの態様を、ヘッドホンを駆動することとの関連で説明したが、その手法は他の環境において適用することができる。そのような他の環境は、(a)マイクロホンが、使用者の耳に聞こえている音を感知することができる環境、(b)スピーカからマイクロホンまでのオーディオの伝搬の時間遅延が、包絡線検出器時定数に比べて小さい環境、及び(c)反響がほとんどない環境であることが好ましい。ヘッドホンのほかに、その手法を適用することができる他の応用形態の例には、電話(固定又は移動)、自動車又は航空機操縦室、補聴器及び小さな部屋がある。

【0116】

これまでの説明は、本発明を例示することを意図しており、本発明の範囲を限定するも

50

のではなく、本発明の範囲は特許請求の範囲によって規定されることは理解すべきである。他の実施形態も特許請求の範囲に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0117】

【図1】ヘッドホンオーディオシステムの全体ブロック図である。

【図2A】オーディオ信号入力レベル及び出力オーディオレベルの関係を示すグラフである。

【図2B】圧縮モジュール利得対信号対(雑音+信号)比(SNSR)のグラフである。

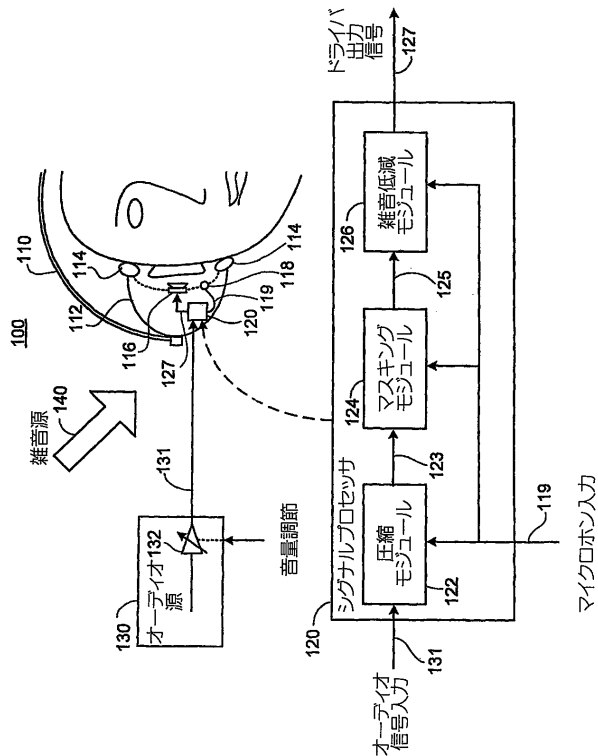
【図2C】信号対雑音比(SNR)とSNSRとの関係を示すグラフである。

【図3】圧縮モジュールのブロック図である。

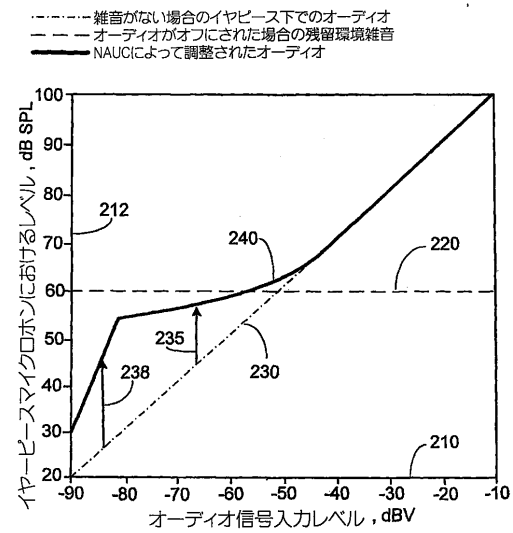
【図4】マスキングモジュールのブロック図である。

【図5】雑音低減モジュールのブロック図である。

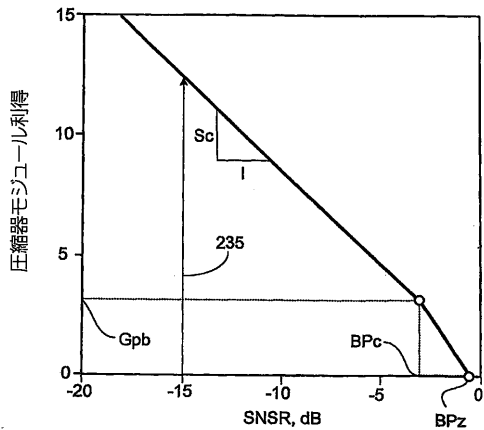
【図1】



【図2A】



【図2B】



【図2C】

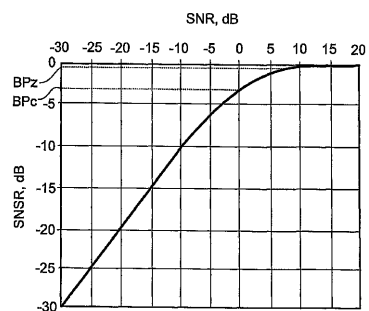
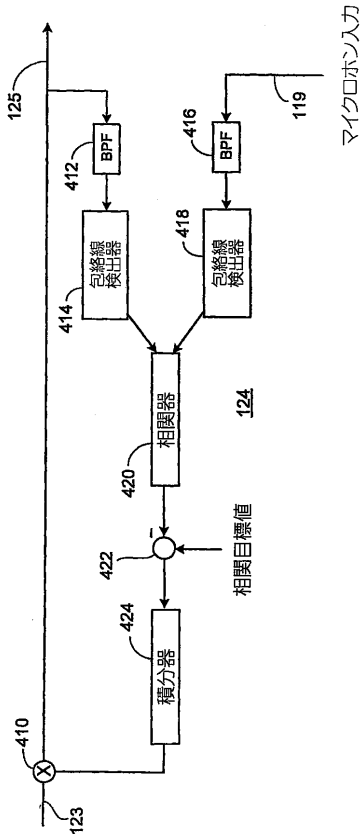
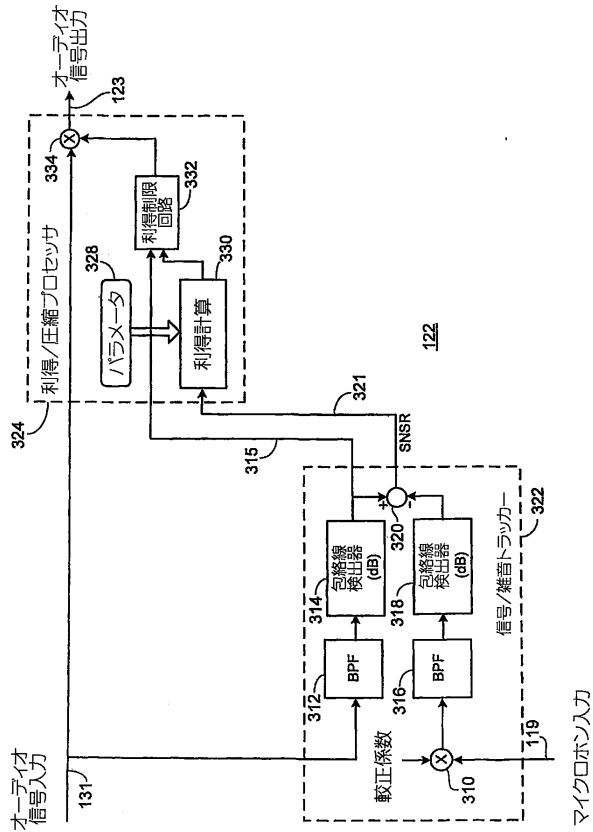


FIG. 2C

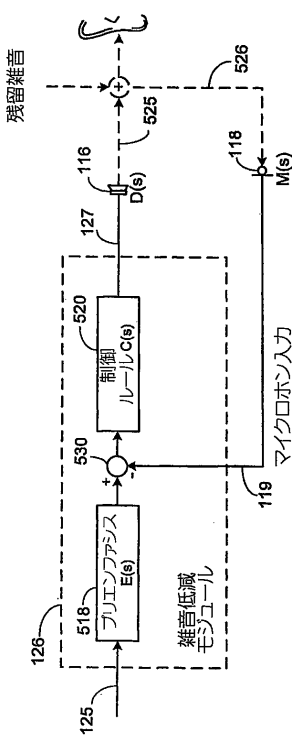
【図4】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

- (72)発明者 アイクラー, クリストファー・ビー
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01776, サドベリー, ブリュースター・ロード 19
- (72)発明者 ハナゲイミ, ネイサン
アメリカ合衆国マサチューセッツ州02141, ケンブリッジ, ハードウィック・ストリート 2
4, アpartment 3
- (72)発明者 ジョンソン, エドウィン・シー, ジュニア
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01721, アッシュランド, アルゴンキン・トレイル 68

審査官 渡邊 正宏

- (56)参考文献 特開平06-310962(JP, A)
特開平07-046069(JP, A)
特表2001-507551(JP, A)
特表平01-500952(JP, A)
特開平04-278796(JP, A)
特開2001-005463(JP, A)
特開2001-218291(JP, A)
特開平10-178695(JP, A)
特開2001-319420(JP, A)
特開2002-330488(JP, A)
特開平09-171387(JP, A)
特開平07-307632(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10K 11/00 - 13/00
G10L 13/00 - 13/10
G10L 19/00 - 19/26
G10L 25/00 - 25/93
H03G 1/00 - 3/34
H04R 1/10
H04R 3/00 - 3/14