

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-4512

(P2010-4512A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.

H04S 5/00 (2006.01)
H04S 7/00 (2006.01)

F 1

H04S 5/00
H04S 7/00

テーマコード(参考)

5D062

C

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2008-227614 (P2008-227614)
 (22) 出願日 平成20年9月4日 (2008.9.4)
 (62) 分割の表示 特願平11-532181の分割
 原出願日 平成10年12月11日 (1998.12.11)
 (31) 優先権主張番号 9726338.8
 (32) 優先日 平成9年12月13日 (1997.12.13)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(71) 出願人 504471034
 クリエイティブ テクノロジー リミティド
 シンガポール国, シンガポール 609921, クリエイティブ リソース, インターナショナル ビジネス パーク 31
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100092624
 弁理士 鶴田 準一
 (74) 代理人 100102819
 弁理士 島田 哲郎
 (74) 代理人 100119987
 弁理士 伊坪 公一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】オーディオ信号処理方法

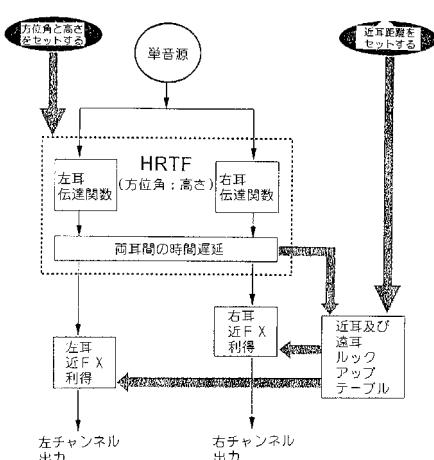
(57) 【要約】

【課題】リスナーに近い音源、典型的にはリスナーの頭から約1.5mより近いと思われる音源の知覚を、簡単な構成で再現する方法の実現。

【解決手段】原音響信号に位置測定キューを提供して、選択された方向およびリスナーの頭から1.5m以下の選択された近領域距離において発すると知覚されるように変形された信号を発生する方法であって、選択された近領域距離より大きな参照距離に対して作られたHRTFの組みに対応したフィルタリングを適用して原音響信号を変形し、参照距離に対するHRTFフィルタリングの関数である利得、遅延およびスペクトル的な整形を2つのチャンネルの提供し、各チャンネルごとに前記近領域源から各耳までの距離により決定されるチャンネル利得の異なる増幅による近領域利得補正を提供することにより原音響信号を変形する。

【選択図】図9

図9



近耳効果を伴う仮想音源を生成するための方法の概略表現

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

使用中のリスナーの好適な位置に対する空間内の所定の方向で音源に対応する左右チャネルを有するオーディオ信号を提供する単一チャネルオーディオ信号の処理方法であって、

チャンネル内情報は前記好適な位置からの前記単一チャネルオーディオ信号の方向を知覚するキューを含み、

当該方法は、

(a) 前記 2 つのチャンネル内の同一の単一チャネル信号を有する 2 つのチャンネル信号を提供するステップと、10

(b) 複数のヘッド応答伝達関数の 1 つを使用してチャンネルのそれぞれを変形することにより、前記 2 つのチャンネル信号を変形して、リスナーの右耳に対する一方のチャンネルにおける右信号と前記リスナーの左耳に対する他方のチャンネルにおける左信号とを提供するステップと、

(c) 前記所定の方向から来る信号に対する両耳間時間差に対応するチャンネル間の時間遅延を導入し、該両耳間時間差は所定の時間における音源の方向を知覚するためのキューを提供する方法において、20

当該方法は、前記左信号と前記右信号を前記所定の時間においてそれぞれの値になるように強度を制御することを含み、前記値は前記所定の時間における前記好適な位置からの前記音源の距離の知覚のためのキューを提供するように選択されることを特徴とするオーディオ信号の処理方法。20

【請求項 2】

請求項 1 に記載の単一チャネルオーディオ信号の処理方法であって、前記左信号の強度と前記右信号の強度は、別々に選択される方法。

【請求項 3】

前のいずれかの請求項に記載の方法であって、前記左信号の強度と前記右信号の強度は、使用中のリスナーの頭の前記好適な位置に対する音源の位置を選択することにより決定され、前記リスナーの各耳に対する前記音源の前記選択された位置からの距離を決定し、及び音の強度の距離に依存する逆 2 乗則を使用して前記対応する左信号の強度と右信号の強度を決定する方法。30

【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法であって、前記所定の時間における、前記リスナーの各耳までの前記選択された音源の位置からの距離は、ルックアップテーブルから決定される方法。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の方法であって、前記所定の時間における、前記リスナーの頭の中心までの前記音源の位置からの距離が選択され、各耳までの距離は、両耳間時間遅延から決定される方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、各耳までの距離は、ルックアップテーブルから決定される方法。40

【請求項 7】

前のいずれかの請求項に記載の方法であって、前記左信号の強度又は前記右信号の強度は、聞こえないほど十分に小さい方法。

【請求項 8】

前のいずれかの請求項に記載の方法であって、前記左信号及び右信号は、スピーカによる再生のために左右のチャネルに供給される時、キャンセル又は両耳間クロストークを低減するように補償される方法。

【請求項 9】

前のいずれかの請求項に記載の方法であって、得られた 2 つのオーディオ信号は、更なる 2 つ以上のチャネルオーディオ信号の組合せである方法。50

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、前記信号は、対応するチャンネルの内容を加算することにより組み合わされ、2つのチャンネルを有する組み合わされた信号を提供する方法。

【請求項 11】

前のいずれかの請求項に記載された方法を組み込んだコンピュータプログラム。

【請求項 12】

前のいずれかの請求項に記載された方法を実行する装置。

【請求項 13】

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の方法で処理されたオーディオ信号。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】**【0001】**

10

本発明は、単一チャンネルオーディオ信号を処理して、使用中のリスナーの好み位置に対する空間内で、所定の方向にある音源に対応する左右チャンネルを有するオーディオ信号を提供する方法に関し、チャンネル内の情報は前記好み位置から前記単一チャンネルオーディオ信号の方向を知覚するための合図(キー)を含み、この方法は、(a) 2つのチャンネル内の同一の単一チャンネル信号を有する2つのチャンネル信号を提供し、(b) 複数のヘッドレスポンス(頭応答)伝達関数の1つを使用して各チャンネルを修正することにより、2つのチャンネル信号を修正して、一方のチャンネルにリスナーの右耳用の右信号を提供し、他方のチャンネルにリスナーの左耳用の左信号を提供し、(c) 所定の方向から来る信号の両耳間の時間差に対応するチャンネル間の時間差を導入し、両耳間の時間差が所定の時間における音源の方向を知覚するキーを提供する。

20

【背景技術】**【0002】**

30

2つの耳を有するリスナーに再演する3次元音場を再生するオーディオ信号の処理は、1930代のAlan Blumleinによるステレオの発明以来、発明者にとっての長年の目標であった。1つのアプローチは、多数の音再生チャンネルを使用してスピーカのような複数の音源でリスナーを囲むことであった。他のアプローチは、人工耳の聴覚導管(auditory canals)内に位置するマイクロフォンを有するダミー頭(ダミーヘッド)を使用して、ヘッドフォン聴取のための音記録を行う。このような音場の双聴覚用(binaural)合成(synthesis)に対する特に約束されたアプローチは、欧州特許EP-B-0689756に説明されており、それは1対のスピーカ及び2つの信号チャンネルだけを使用する音場の合成を説明しており、それにもかかわらず音場は、球体の中心に位置するリスナーの頭を囲む球体上のどこかに音源が現れるようにリスナーが知覚するのを可能にする方向情報を有する。

30

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

40

過去に開発されたこのようなシステムの欠点は、再現された音場が方向情報を有しているにもかかわらず、リスナーに近い音源、典型的にはリスナーの頭から約1.5mより近いと思われる音源の知覚を再現するのが難しいことであった。このような音響効果は、例えばコンピュータゲーム、又はリスナーの頭に近接した空間位置から発散するよう見えるような音が要求されるような、又は時間と共にリスナーに向かって又は離れるように移動すると知覚される音源のような、又はリスナーの耳元にささやく人が知覚されるような他の応用で非常に効果的である。

【課題を解決するための手段】**【0004】**

本発明の第1の態様によれば、請求項1から11に規定されるような方法が提供される。本発明の第2の態様によれば、請求項12に規定されるような装置が提供される。本発明の第3の態様によれば、請求項13に規定されるようなオーディオ信号が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0005】

本発明の実施例は、添付の概略図面を、例としてのみ参照して以下に説明される。

【0006】

本発明は、特に、2個のスピーカステレオシステム又はヘッドフォンからの3D音（サウンド）の再生に関する。この形式の3Dサウンドは、例えば、EP-B-0689756に記載されており、ここではこれを参照する。

【0007】

単一音源は、1組の頭応答伝達関数(HRTFs; ヘッドレスポンストラנסファーファンクション)を介して、処理結果のステレオ・組信号が3Dサウンドキューを含むようにデジタル的に処理できることが知られている。これらのサウンドキューは、我々が実際の生活で音を聞く時に頭と耳によって自然に導入され、それらは両耳間強度差(IAD)、両耳間時間差(ITD)及び外側の耳によるスペクトル整形を含む。このステレオ信号組が例えばヘッドフォンによってリスナーの適当な耳に効果的に導入される時、彼又は彼女は、信号処理で使用されるHRTFの空間配置に従って、元(オリジナル)の音が空間のある位置にあるように知覚する。

10

【0008】

ヘッドフォンの代わりにスピーカから聞く時、信号は耳に効果的に運ばれず、3Dサウンドキューを示す「両耳間(transaural)音声クロストーク」が存在する。これは、左耳は右耳が聞くものの一部を(約0.2msの小さな付加時間遅延の後に)聞くということを意味するなどといったことである。このようなことが起きるのを避けるために、反対側のスピーカからの信号の適当なクロストークキャンセルを生成することが知られている。これらの信号は、クロストーク信号に対して、強度が同じで反転しており(逆位相)、それらを相殺(キャンセル)するように設計される。第2のクロストークに寄与するキャンセル信号自体の第2の(及びより高次の)効果及びその補正を予想するより進んだ機構があり、これらの方法は従来技術で知られている。

20

【0009】

HRTF処理及びクロストークキャンセルが正しく実行される時及び高品質のHRTF音源データを使用する時、効果が非常に顕著である。例えば、リスナーの回りの音源の仮想イメージを、完全な水平円内で、前から始めて、リスナーの右側を回り、リスナーの後ろ、そして左側を回り再び前に戻るように移動させることができある。更に、音源をリスナーの回りの垂直な円で移動させることも可能であり、音が空間の選択されたどこかの位置から来るようと思わせることも可能である。しかしながら、いくつかの特定の位置は、音響心理学的な理由及び実際的な理由により、他の位置より合成するのが難しい。

30

【0010】

例えば、直接上方及び下方に移動する音源の効果は、リスナーの両側(方位角90°)における方が、直前(方位角0°)におけるより大きい。これは、恐らく、脳が左右の差情報に対してより働くためである。同様に、リスナーの直前(方位角0°)の音源とリスナーの直後(方位角180°)の音源の間を異ならせるのは難しい。これは、脳が(ITD = 0)で動作する時間要因情報が存在しないためであり、脳に有効な他の情報、すなわちスペクトルデータだけは、これらの位置の両方で類似している。実際、音源がリスナーの前にある時、より多くのHFエネルギーが知覚される。これは前の音源からの高周波数は外耳の後ろの壁から耳道に反射されるが、後側の音源からのそれは、耳翼の回りで十分に回折できず効果的に耳道の入らないためである。

40

【0011】

実際、3Dサウンド効果が合成できるように、HRTFデータのライブラリを導出するため、人工頭から測定を行うことが知られている。いくつかの理由で、1m又はその付近の距離でこれらの測定を行うことが共通の慣例である。第1に、このような測定に使用される音源は、理想的には、点音源であり、通常はスピーカが使用される。しかし、スピーカのダイアフラムの最小の大きさ(サイズ)には物理的な限界がある。典型的には、数インチの直径が、要求される出力(パワー)能力及び低歪特性を維持できる実際の小さ

50

さである。そのため、点音源を示すこれらのスピーカ信号の効果を有するためには、スピーカを人工頭から約1mの距離に離さなければならない。第2に、通常は数m又はそれ以上の明白な距離を有するPCゲームなどのための音響効果を生成するように要求され、更に1mで測定されたHRTFとより大きな距離で測定されたものとの間にほとんど差がないため、1mでの測定が使用される。

【0012】

中間距離（例えば、1mから5m）又は遠距離（5m以上）にあると思われる音源の効果は、主信号に残響信号を加えることによって容易に生成することができ、周囲の床及び壁からの反射音波の効果をシミュレート（模擬）する。音源の高周波数（HF）成分の低減は、離れた音源の効果の生成を補助することも可能で、空気によるHFの選択的な吸収をシミュレートするが、これは微妙な効果である。要するに、数mを越える距離にある音源の制御の効果は公知である。

10

【0013】

しかし、多くのPCゲームの状況では、リスナーの非常に近くにある音源効果が望ましい。例えば、アドベンチャーゲームでは、リスナーの耳の一方に指示をささやくガイドが必要であり、別のフライトシミュレータでは、リスナーはパイロットであり、ヘッドフォンを介して航空交通情報を聞く効果を生成することが要求される。戦闘ゲームでは、リスナーの頭の近くを弾丸が飛ぶように思わせることが要求される。これらの効果は1mの距離で測定されたHRTFでは不可能である。

20

【0014】

従って、音源がスピーカ距離から移動し、例えばリスナーの頭の近く、更にはリスナーの一方の耳に「ささやく」ようにさえ思わせることが可能な「近領域」距離効果を生成できることが望まれている。原理的には、例えば、1m、0.9m、0.8mなどの異なる距離でのHRTFのフルセット（全組）を作り、近領域効果のこれらのライブラリの間で切り換えることが可能である。しかし、すでに述べたように、測定はこれらの距離では点音源特性から外れた形状のスピーカダイアフラムによって妥協して行われる。更に、HRTFの各セットの測定を行うには莫大な努力が必要であり（典型的には、1000HRTFセット以上を有する1つのHRTFライブラリを得るには、測定に数人・週が必要で、これらを使用可能なフィルタ係数に処理するにも同様の時間が必要である。）、従ってこのためには非常なコストがかかる。更に、PCにおける追加された各HRTFライブラリの記憶には、かなりの付加メモリが必要である。更に、このような解決方法は、量子化された距離効果になり、音源がリスナーの頭に向かってスムーズに移動することができず、異なるHRTFセットの間で切り換えると「ジャンプ」したように思われるという別の問題がある。

30

【0015】

理想的には、要求されているのは、「標準」の1mのHRTFセットを使用して近領域距離効果を生成する手段である。

【0016】

本発明は、「標準」の1mのHRTFセットを使用して3Dサウンド合成用の近領域距離効果を生成する手段を備える。この方法は、(a)必要な近接、及び(b)空間位置の関数として相対的な左右チャンネル強度差を制御するアルゴリズムを使用する。このアルゴリズムは、音源が1mの距離から頭に向かって移動する時HRTFの左耳と右耳の個別の特性はそのスペクトル特性が大きくは変化しないという観察に基づいている。しかし、それらの間の強度及び強度の差は大きく変化し、距離比効果を生じる。発生するスペクトル特性における小さな変化は、頭の影効果に大きく関係しており、これらは必要ならば近領域効果アルゴリズムに加えることができる。

40

【0017】

こここの説明では、「近領域(near-field)」という表現は、頭の中心から約1m - 1.5mの距離までのリスナーの頭の回りの空間の体積を意味すると定義される。実際的な理由のため、「近限界」を定義することも有用であり、これとして0.2mの距離が本発明を

50

説明する目的で選択される。これらの限界は、両方共、典型的な H R T F 測定距離 (1 m) と例えればゲームで生成することが望まれる最接近距離に基づいて、純粹に説明の目的で選択された。しかし、究極の「近接」は、彼又は彼女が单一イヤフォンを付けている場合のような単一の耳で音だけを聞くリスナーによって表されるという点に着目することも重要である。これもシミュレートでき、頭に近い又は「近領域」効果の究極の限界ケースとみなすことができる。この「一方の耳にささやく効果」は、遠耳利得 (ゲイン) をゼロに又は聞こえないほど十分に低い値にセットするだけで実現できる。そして、処理されたオーディオ信号がヘッドフォンに流されている時、又は適当な両耳間クロストークキャンセル処理の後スピーカに流されている時、音は「一方の耳」内にあるように思われる。

【 0 0 1 8 】

最初に、例えれば強度の変化を考察する。音源が 1 m の距離から頭に向かって移動する時、距離比 (左耳から音源までの距離に対する右耳から音源までの距離) は非常に大きくなる。例えれば、水平面内で 45° の方位角にあり、頭の中心から 1 m の距離にある音源に対しては、近い耳 (近耳) は約 0.9 m の距離であり、遠い耳 (遠耳) は約 1.1 m である。従って、比は (1.1 / 0.9) = 1.22 である。音源が 0.5 m の距離に移動した時、比は (0.6 / 0.4) = 1.5 になり、距離が 20 cm の時、比は約 (0.4 / 0.1) = 4 である。伝搬する波のエネルギーが増加する面積に広がるので、音源の強度は距離に従って減少する。波面は膨張する風船に似ており、エネルギー密度は伝搬する波面の表面積に関係し、進む距離 (風船の半径) の 2 乗則に関係する。

【 0 0 1 9 】

これが、よく知られている点音源から進む距離の逆 2 乗則の強度低下を与える。左右のチャンネルの強度比は、距離の 2 乗の逆比に関係する。従って、距離 1 m 、 0.5 m 及び 0.2 m の強度比は、それぞれ約 1.49 、 2.25 及び 1.6 である。dB 単位で表現すると、これらの比はそれぞれ 1.73 dB 、 3.52 dB 及び 12.04 dB である。

【 0 0 2 0 】

次に、頭の影の効果を考察する。例えれば、音源が頭から 1 m で、方位角 45° である時、到着する音波は、頭の影内にある遠耳に到達するのに、頭の 1/4 だけ回りを進む。しかし、音源が例えば 20 cm という具合により近いと、音波が遠耳に到達できるまでに半球全部を回らなければならない。従って、遠耳に到達する HF 要素は比例して減少する。

【 0 0 2 1 】

しかし、強度比の差は距離に依存しているため、上記の例で説明したよりも状況は複雑であることに着目することが重要である。例えれば、上記の状況が頭に近づく前側の (方位角 0°) の音源に対して繰り返されるのであれば、対称性のために左右チャンネルの強度の間には差がない。この例では、強度レベルは逆 2 乗則に従って単純増加する。

【 0 0 2 2 】

L と R のチャンネル利得 (ゲイン) を正しく正確に制御するアルゴリズムで、3 次元空間におけるいかなる特別な近接した位置にどのようにして関係付けることができるのだろうか。キーとなる要因は、両耳間時間遅延であり、これによりアルゴリズムを非常に効果的で効率のよい方法で空間位置に対応させることが可能になる。

【 0 0 2 3 】

本発明は、いくつかのステージで最適に説明されるが、両耳間時間遅延の説明から始め、リスナーの近領域における近耳と遠耳の近似距離の偏差の説明を続けて行う。図 1 は、リスナーの回りの近領域の図を、以下の説明の間参照される参照平面及び軸と一緒に示す。ここでは、P - P' はリスナーの頭の中心を切った水平面の前後の軸を表し、Q - Q' で左右の対応する側方軸を表す。

【 0 0 2 4 】

すでに言及したように、音源が極位置を含む中央平面内になければ (すなわち、直前直後の上下になければ) 、音波が頭に斜めに入射する時、左右の耳の間に到着時間の差がある。これは両耳間時間遅延 (I T D) として知られており、図 2 のように図の形で示すことができる。図 2 は、方位角 (ここでは約 45°) である距離にある音源からの音響信

10

20

30

40

50

号を左右の耳で受ける概念的な頭の平面図を示す。波面（W - W'）が右耳に到達する時、それが左耳（L E）に到達するまでになお（a + b）の経路長があることが分かる。構成の対称性により、b部分は頭の中心から波面W - W'までの距離に等しく、従って $b = r \cdot \sin \theta$ である。弧aは円周部分を表し、 θ に対する円弧である。考察すると、経路長（a + b）は次の式で与えられる。

【0025】

【数1】

$$\text{経路長} = \left(\frac{\theta}{360} \right) 2\pi r + r \cdot \sin \theta \quad (1)$$

10

【0026】

（（cm単位で表された）この経路長は、34.3で除することで、（ms単位の）対応する時間遅延に変換できる。）

特に、 θ がゼロになると、それに従って経路長もゼロになることが分かる。更に、 θ が90°になると、頭の直径が15cmであれば経路長は約19.3cmであり、関係するITDは約563μsである。実際、ITDはこれより少し大きく測定され、典型的には702μs程度である。これは、（耳翼及び鼻の存在を含めた）頭の非球面特性、複雑な回折状況及び表面効果によると思われる。

20

【0027】

このステージで、この導出は水平面における前・右象限（方位角0°と90°の間）に関係するが、4つの象限すべてで有効である。これは、（a）前・右及び右・後象限はQ-Q'軸に対して対称であり、（b）右の2つの象限は左の2つの象限と対称である。（当然この後の場合には、時間ずれよりも、時間遅延が逆で、左耳の信号が右耳の信号になる。）

30

従って、水平面には、例えば30°と150°、40°と140°などのようある特定の（有効な）時間遅延に関係する2つの相補な位置が存在するというのが適切である。実際、測定は時間遅れが完全には対称でないことを示しており、例えば最大の時間遅延は方位角90°で生じるのではなく、85°付近で生じることを示す。これらの小さな非対称性は、説明を明瞭にするために一時的に棚上げにする。しかし、アルゴリズムのインデックスとしての時間遅延の使用は詳細な非対称性のすべてを考慮し、それにより近接した音源をシミュレートするよい手段を提供することができるであろう。

【0028】

これから更に続けて、頭が近似的に球体であるとすると、対称性は3次元まで延長し、上側の半球は下側の半球に対して対称であり、水平面に対しての折り返しである。従って、所定の（有効な）両耳間時間遅延に対して、水平面上の1組の点ではなく、上記の点で水平面と交差する近似的に円である軌跡が存在する。実際、軌跡は側方軸Q-Q'に配置されたリストナーの適当な耳から伸びる仮想の円錐の表面で示すことができる（図3と図4を参照）。

40

【0029】

このステージでは、次のことが重要である。

（1）両耳間時間遅延は、音源と各耳の間の相対的な音響経路長の差の非常に近い近似を表し、及び

（2）両耳間時間遅延は、各HRTFの組の積分された特徴である。

【0030】

従って、いかなる3Dサウンド合成システムもHRTFデータを使用する時には、関係する両耳間時間遅延を相対的な経路長差のすばらしいインデックスとして使用できる。そ

50

れは物理的な測定に基づいているので、上記の実際の生活の非線型性を伴う実際の測定である。

【0031】

次のステージは、「近接した」仮想音源が要求される時に、左耳と右耳のチャンネルに印加しなければならない信号利得の値の決定手段を見出すことである。これは、近耳及び遠耳状況を交互に考察し、そして1mの距離をそこでの音響強度を0dBであるとする最遠の参照データとして使用すれば可能である。

【0032】

図5は、リスナーの頭とそれを囲む近領域を一緒に示す平面図である。最初の例では、前 - 右の象限に特に注目する。水平面における近領域の位置と近耳（この場合は右耳）までの距離の間の関係を規定できるなら、これは右チャンネルの利得を制御するのに使用できる。この状況は、図6に示すように、近接した前側位置への（経路“A”のような）音源から耳への「真の」経路が、（“B”で示すような）直接距離に類似していると仮定することが可能であれば、解くのは簡単である。これにより、図6の左側の図に示すように、リスナーに対して前 - 右側の象限にあり の方位角の音源Sを示す状況が簡単になる。更に、音源の頭の中心からの距離がdで示され、音源の近耳からの距離がpで示される。S - 頭の中心 - Q'のなす角度は、(90° -)である。近耳距離は、S - 頭の中心 - 近耳の三角形から余弦（cosine）法則を使用して導出できる。

10

【0033】

【数2】

20

$$p^2 = d^2 + r^2 - 2dr \cdot \cos(90^\circ - \theta) \Big|_{\theta=0}^{90^\circ} \quad (2)$$

【0034】

もし頭の半径rが7.5cmであると仮定すると、pは次の式で与えられる。

【0035】

【数3】

30

$$p = \sqrt{d^2 + (7.5)^2 - 15d \cdot \sin \theta} \Big|_{\theta=0}^{90^\circ} \quad (3)$$

【0036】

図7は、リスナーの頭の平面図を、それを囲む近領域と一緒に示す。再度我々は前右側の象限に着目する。しかし、音源と遠耳の間の経路は、図7の右側に詳細図に明瞭に示されているように、2つの連続成分を備える。第1にqを付した頭に対して正接な音源Sからの直接経路があり、第2に正接点Tから遠耳までの頭Cの回りの円周経路がある。前述のように、音源から頭の中心までの距離はdであり、頭の半径はrである。正接点と頭の中心が音源でなす角度は、角度Rである。

40

【0037】

正接経路qは、三角形から簡単に計算できる。

【0038】

【数4】

$$q = \sqrt{(d^2 - r^2)} \quad (4)$$

【0 0 3 9】

そして、角度 R は、

【0 0 4 0】

10

【数5】

$$R = \sin^{-1} \left(\frac{r}{d} \right) \quad (5)$$

【0 0 4 1】

である。

20

【0 0 4 2】

S - T - 頭の中心の三角形を考えると、角度 P - 頭の中心 - T は (90 - - R) であり、従って角度 T - 頭の中心 - Q (弧自体のなす角度) は (- + R) でなければならない。円周経路はこの角度から計算でき、それは

【0 0 4 3】

【数6】

$$C = \left\{ \frac{\theta + R}{360} \right\} 2\pi r \quad (6)$$

30

【0 0 4 4】

である。

【0 0 4 5】

従って、式 (5) を式 (6) に代入し、式 (4) と合わせることにより、音源から 7.5 cm の半径の頭の遠耳までの全距離の表現が計算できる。

【0 0 4 6】

【数7】

40

$$\text{遠耳全経路} = \sqrt{(d^2 - 75^2)} + 2\pi r \left\{ \frac{\theta + \sin^{-1} \left(\frac{75}{d} \right)}{360} \right\} \quad (7)$$

【0 0 4 7】

50

近耳利得ファクタを、リスナーの頭からのいくつかの距離における方位角の関数として近耳利得ファクタを論じることは有益である。これを行い、その結果が図10にグラフで示される。利得は0dBで規定される1mの参照距離に対するdB単位で表現される。dBで表した利得は、経路長d(cm)から逆2乗則に従って計算され、次のようになる。

【0048】

【数8】

$$\text{利得 (dB)} = 10 \log \left(\frac{10^4}{d^2} \right) \quad (8)$$

10

【0049】

グラフから分かるように、100cmの線は、予想通りに方位角0°で0dBに等しく、音源が近耳の線である90°の位置に回転移動すると、音源は実際には少し近づくので、レベルは+0.68dBに増加する。20cmの線は、より近づくので当然に方位角0°で13.4dBの利得を示し、音源が90°の位置に回転移動すると、レベルは18.1dBに増加する。この時の増加は更に大きい。他の距離の線は、これらの2つの両極端の中間の特性を示す。

20

【0050】

次に、遠耳利得ファクタを考察する。これは、図11にグラフで示される。グラフから分かるように、100cmの線は、(予想通りに)方位角0°で0dBに等しいが、ここでは音源が遠耳から離れる90°の位置に回転移動すると、レベルは-0.99dBに減少する。20cmの線は、方位角0°で13.8dBの利得を示し、等距離の近耳と同様に、音源が90°の位置に回転移動すると、レベルが9.58に減少し、100cmデータよりはるかに大きな減少になる。同様に、他の距離の線は、これらの2つの両極端の中間の特性を示す。

20

【0051】

仮想音源に対する近領域効果を生成するのに適したHRTF利得ファクタのセットが特定の方位角及び必要な距離に基づいて計算できることが示された。しかし、実際には、位置データは、通常球面座標で規定される。すなわち、方位角と仰角(本発明では更に距離d)である。従って、適当なLとRの利得ファクタを計算するために、式(3)と(7)を使用して、このデータを等価な水平面の方位角(及び0°から90°)に計算及び変換することが求められる。これは、非常な計算資源を必要とし、CPU又は供用されるDSPは、ほぼフル容量で動作することに気付くことが必要であり、できれば避けるのが最良である。

30

【0052】

他の方法は、いくつかの特定の距離におけるすべての可能な方位角と仰角に対する(典型的には1つのHRTFライブラリで約1,111)LとRの利得ファクタを記載した汎用の「ルックアップ」テーブルを作成することである。従って、このテーブルは、4つの特定の距離に対して、 $1,111 \times 4 \times 2$ (8,888)要素を必要とし、従ってそれに割り当たられるコンピュータメモリの非常に大きな量を必要とする。しかし、発明者は、各HRTFで行われる時間遅延は適当なLとRの利得ファクタを選択するためのインデックスとして利用できることが分かった。各両耳間時間遅延は、特定の方位角に交互に関係する等価水平面と関係する。これは、はるかに小さいルックアップテーブルが使用できることを意味する。上記の解決方法のHRTFライブラリは、3°ずつ水平面を増加させると、0°から90°の範囲で31個のHRTFがある。従って、時間遅延インデックスルックアップテーブルの大きさは、 $31 \times 4 \times 2$ 要素(248要素)であり、上記の「汎用」テーブルの大きさの2.8%にすぎない。

40

50

【 0 0 5 3 】

本発明の説明の最終ステージでは、その方位角に対して 0° から 90° の範囲で測定された水平面のH R T F時間遅延を、前のセクションで導出した近耳と遠耳利得ファクタと一緒に表にする。これは、時間遅延と利得ファクタを関連させ、実際のシステムで使用されるルックアップテーブルを表す。このデータが、表1（近耳データ）と表2（遠耳データ）の形で以下に示される。

【 0 0 5 4 】

【表1】

時間遅延 (サンプル)	方位角 (度)	d = 20 (cm)	d = 40 (cm)	d = 60 (cm)	d = 80 (cm)	d = 100 (cm)
0	0	13.41	7.81	4.37	1.90	-0.02
1	3	13.56	7.89	4.43	1.94	0.01
2	6	13.72	7.98	4.48	1.99	0.04
4	9	13.88	8.06	4.54	2.03	0.08
5	12	14.05	8.15	4.60	2.07	0.11
6	15	14.22	8.24	4.66	2.11	0.15
7	18	14.39	8.32	4.71	2.16	0.18
8	21	14.57	8.41	4.77	2.20	0.21
9	24	14.76	8.50	4.83	2.24	0.25
10	27	14.95	8.59	4.88	2.28	0.28
11	30	15.14	8.68	4.94	2.32	0.31
12	33	15.33	8.76	4.99	2.36	0.34
13	36	15.53	8.85	5.05	2.40	0.37
14	39	15.73	8.93	5.10	2.44	0.40
15	42	15.93	9.01	5.15	2.48	0.43
16	45	16.12	9.09	5.20	2.51	0.46
18	48	16.32	9.17	5.25	2.55	0.49
19	51	16.51	9.24	5.29	2.58	0.51
20	54	16.71	9.32	5.33	2.61	0.53
21	57	16.89	9.38	5.37	2.64	0.56
23	60	17.07	9.44	5.41	2.66	0.58
24	63	17.24	9.50	5.44	2.69	0.59
25	66	17.39	9.55	5.48	2.71	0.61
26	69	17.54	9.60	5.50	2.73	0.63
27	72	17.67	9.64	5.53	2.74	0.64
27	75	17.79	9.68	5.55	2.76	0.65
28	78	17.88	9.71	5.57	2.77	0.66
28	81	17.96	9.73	5.58	2.78	0.67
29	84	18.02	9.75	5.59	2.79	0.67
29	87	18.05	9.76	5.59	2.79	0.68
29	90	18.06	9.76	5.60	2.79	0.68

表1

仮想音源と頭の中心の間の距離の関数である近耳利得ファクタを決定するためのルックアップテーブルに基づく時間遅延。

【表2】

時間遅延 (サンプル)	方位角 (度)	d = 20 (cm)	d = 40 (cm)	d = 60 (cm)	d = 80 (cm)	d = 100 (cm)
0	0	13.38	7.81	4.37	1.90	-0.02
1	3	13.22	7.72	4.31	1.86	-0.06
2	6	13.07	7.64	4.26	1.82	-0.09
4	9	12.92	7.56	4.20	1.77	-0.13
5	12	12.77	7.48	4.15	1.73	-0.16
6	15	12.62	7.40	4.09	1.69	-0.19
7	18	12.48	7.32	4.04	1.65	-0.23
8	21	12.33	7.24	3.98	1.61	-0.26
9	24	12.19	7.16	3.93	1.57	-0.29
10	27	12.06	7.08	3.88	1.53	-0.33
11	30	11.92	7.01	3.82	1.49	-0.36
12	33	11.79	6.93	3.77	1.45	-0.39
13	36	11.66	6.86	3.72	1.41	-0.42
14	39	11.53	6.78	3.67	1.37	-0.46
15	42	11.40	6.71	3.61	1.33	-0.49
16	45	11.27	6.63	3.56	1.29	-0.52
18	48	11.15	6.56	3.51	1.25	-0.55
19	51	11.03	6.49	3.46	1.21	-0.58
20	54	10.91	6.42	3.41	1.17	-0.62
21	57	10.79	6.35	3.36	1.13	-0.65
23	60	10.67	6.27	3.31	1.09	-0.68
24	63	10.55	6.20	3.26	1.05	-0.71
25	66	10.44	6.14	3.21	1.01	-0.74
26	69	10.33	6.07	3.16	0.97	-0.77
27	72	10.22	6.00	3.11	0.94	-0.80
27	75	10.11	5.93	3.06	0.90	-0.84
28	78	10.00	5.86	3.01	0.86	-0.87
28	81	9.89	5.80	2.97	0.82	-0.90
29	84	9.78	5.73	2.92	0.79	-0.93
29	87	9.68	5.66	2.87	0.75	-0.96
29	90	9.58	5.60	2.82	0.71	-0.99

表2

仮想音源と頭の中心の間の距離の関数である遠耳利得ファクタを決定するためのルックアップテーブルに基づく時間遅延。

【0056】

上記の表における時間遅延は、44.1 kHzのサンプリングレートに関するサンプル周期の単位で示されており、それゆえ各サンプル単位は22.676 μmである。

【0057】

10

20

30

40

50

仮想音源が、水平面内に、方位角 60°で、0.4 m の距離に位置していることが要求される場合を考察してみる。表 1 を使用して、HRTF に適用されなければならない近耳利得は 9.44 dB として示され、遠耳利得は（表 2 から）6.27 dB である。

【0058】

第 2 の例として、仮想音源が、水平面内以外の、方位角 42°で、仰角 -60°で、0.2 m の距離に位置していることが要求される場合を考察してみる。この特別な空間位置に対する HRTF は、（44.1 kHz で）7 サンプル周期の時間遅延を有する。従って、表 1 を使用して、HRTF に適用されなければならない近耳利得は 14.39 dB として示され、遠耳利得は（表 2 から）12.48 dB である。（この HRTF 時間遅延は、18° の方位角の水平面 HRTF のそれと同じである。）

本発明の適用は直接的であり、図 9 に概略的に示される。図 8 は、以下のように、仮想音源を生成する従来の手段を示す。第 1 に、仮想音源の空間位置は特定され、その位置に対する適当な HRTF が選択される。この HRTF は、左耳関数と、右耳関数と、両耳間時間遅延値とを備える。仮想音源を生成するコンピュータシステムでは、HRTF データは、一般的には（各チャネルに対して 1 つの）FIR フィルタの組を制御するのに適した FIR フィルタ係数の形式であり、時間遅延は数字で表現される。モノラル音源は、信号処理機構に送られ、図示のように左側と右側チャネル出力を生成する。（これらの出力信号はリスナーのヘッドフォン、又はスピーカ再生のためのクロストークキャンセル処理、又は他の手段に送るのに適する。）

図 9 に示すように、本発明は、この方法を追加するが、余分な計算はほとんど必要としない。この時、信号はあらかじめ処理されるが、近耳距離も特定され、選択された HRTF からの時間遅延データと一緒に、ルックアップテーブルからの左右の各チャネルに対する利得を選択するのに使用される。次に、このデータは、前述のように次のステージに出力される前に信号の利得を制御するのに使用される。

【0059】

図 9 に示した左チャネル出力と右チャネル出力は、例えば、対応するチャネルにおける信号を単に加えるだけで、ヘッドフォンに送られる通常のステレオ又は両耳信号と直接合わせることができる。図 9 に示す出力が、（例えば EP-B-0689756 に記載された Sensaura（商標名）の方法を使用するような）両耳合成により発生される 3D 音場を生成するために作られた信号と合わされる。そして、2 つの出力信号は、両耳間クロストーク補正を実行した後、両耳信号の対応するチャネルに加えられる。

【0060】

上記の例では、左右信号の強度の設定はヘッド応答伝達関数を使用する変形の後に実行されるが、強度は望むならこのような信号処理の前に設定でき、記載の方法でのステップの順番は、本発明の基本的な部分ではない。

【0061】

上記の例では、使用中のリスナーの好適な位置に対する仮想音源の位置は一定であり時間と共に変化しないが、仮想音源に対する連続した異なる位置の適当な選択により、望むなら使用中のリスナーの頭に対して移動するようになる。この明白な移動は、好適な位置からの仮想音源の方向を変えるか、又は好適な位置からの距離を変えるか、又はその両方を変えることで提供される。

【0062】

最後に、添付の要約書の内容は、参考としてこの記載に加えられる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図 1】図 1 は、リスナーの頭と座標システムを示す。

【図 2】図 2 は、頭の平面図と到着する音波を示す。

【図 3】図 3 は、等しい両耳間又は両耳間遅延を有する点の軌跡を示す。

【図 4】図 4 は、図 3 の軌跡の等距離図法による図を示す。

【図 5】図 5 は、リスナーの頭を囲む空間の平面図を示す。

10

20

30

40

50

【図 6】図 6 は、近耳に対する距離の計算で使用される経路を示すリスナーの頭の別の平面図を示す。

【図 7】図 7 は、遠耳に対する距離の計算で使用される経路を示すリスナーの頭の別の平面図を示す。

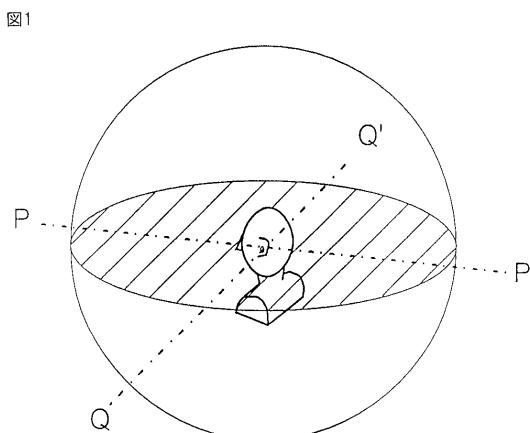
【図 8】図 8 は、従来技術の方法のブロック図を示す。

【図 9】図 9 は、本発明による方法のブロック図を示す。

【図 10】図 10 は、方位角と距離の関数である近耳利得のプロットを示す。

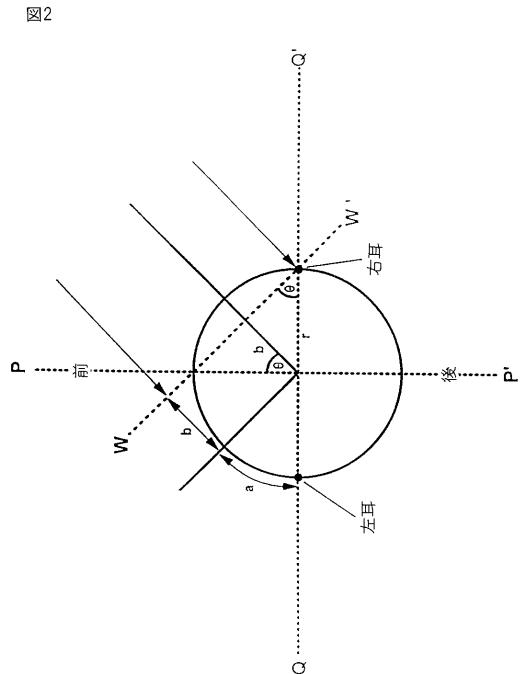
【図 11】図 11 は、方位角と距離の関数である遠耳利得のプロットを示す。

【図 1】



参考球体及び座標システム

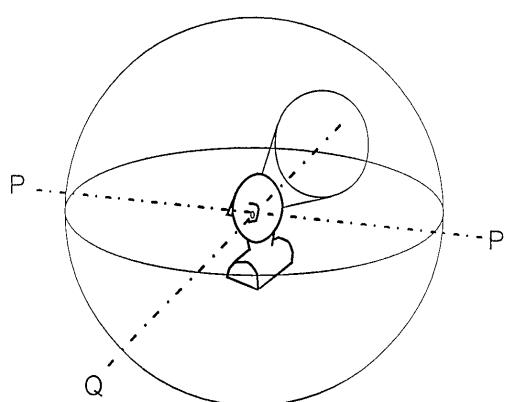
【図 2】



頭を横切る両耳間の時間遅延 (TDD) を示す平面図

【図3】

図3



両耳間の時間遅延 (TDOA) の軌跡

【図4】

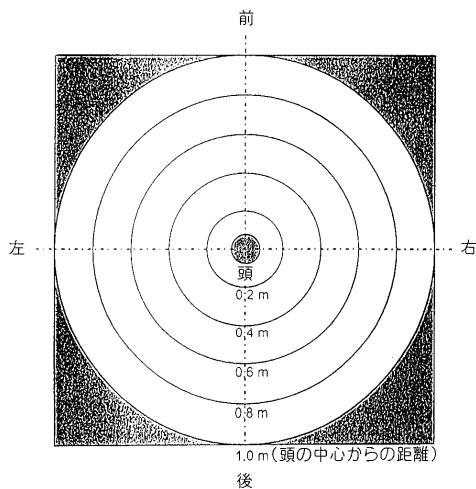
図4



特定の時間遅延値用の等しい両耳間等時間遅延の円錐軌跡

【図5】

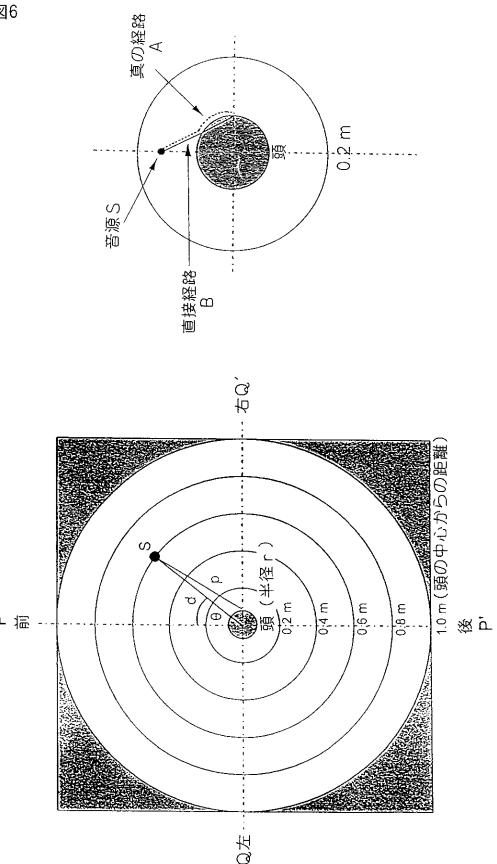
図5



水平面内におけるリスナーの頭の付近の(直径2m)近空間領域の平面図(頭の直径は0.15m)

【図6】

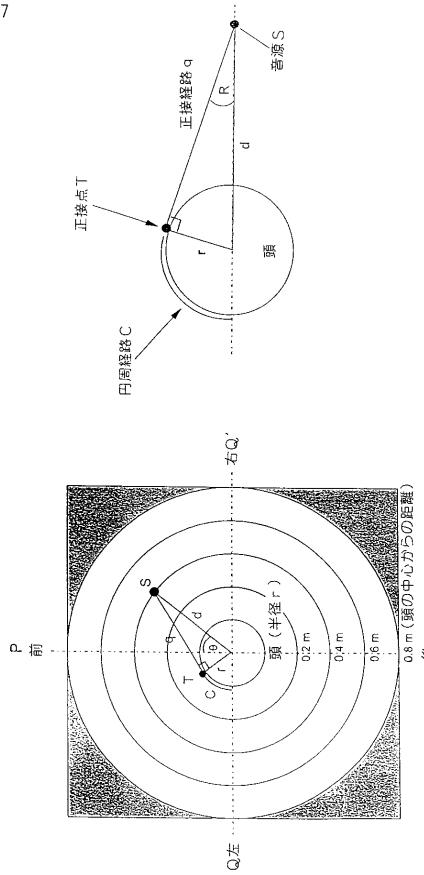
図6



(左) 水平面内におけるリスナーの頭の回りの(直径2mの)近耳空間領域内の音源と
近耳の間の距離の計算。(右) 近接した前方音源に対する直達経路の近似を示す。

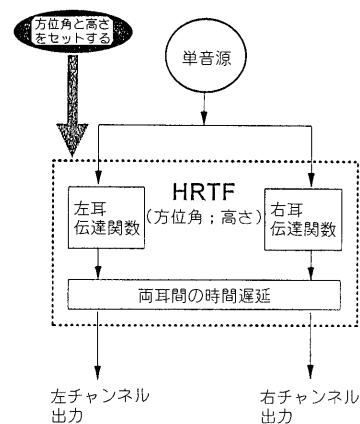
【図7】

図7



【図8】

図8

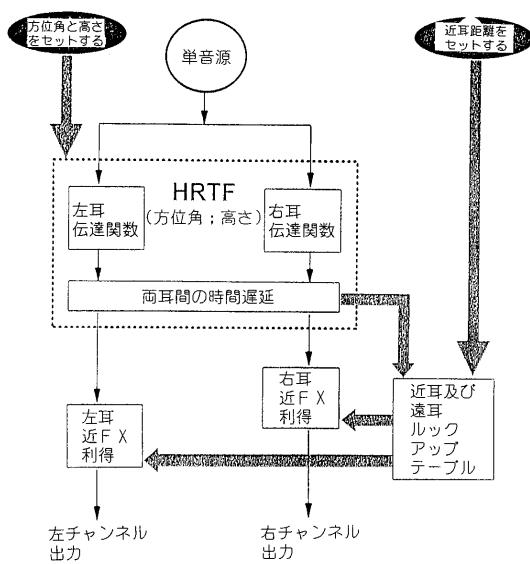


(左) 水平面内におけるリスナーの頭の回りの（直径2mの）近耳空間領域内の音源と遠耳との間の距離の計算。
(右) 正接及び円周経路の詳細を示す。

仮想音源を生成するための従来の方法の概略表現

【図9】

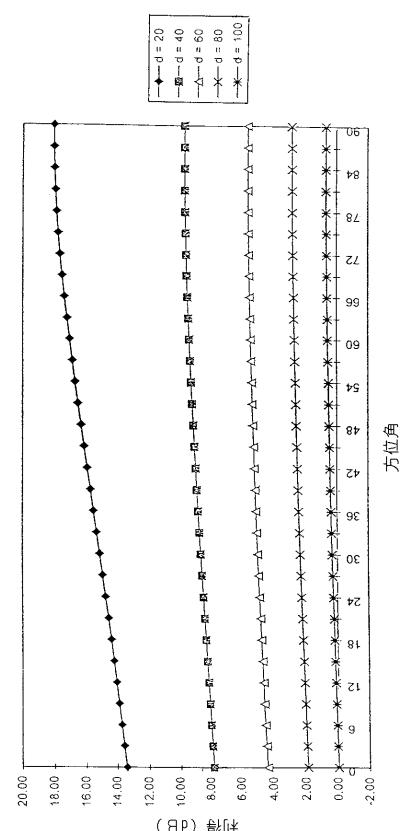
図9



近耳効果を伴う仮想音源を生成するための方法の概略表現

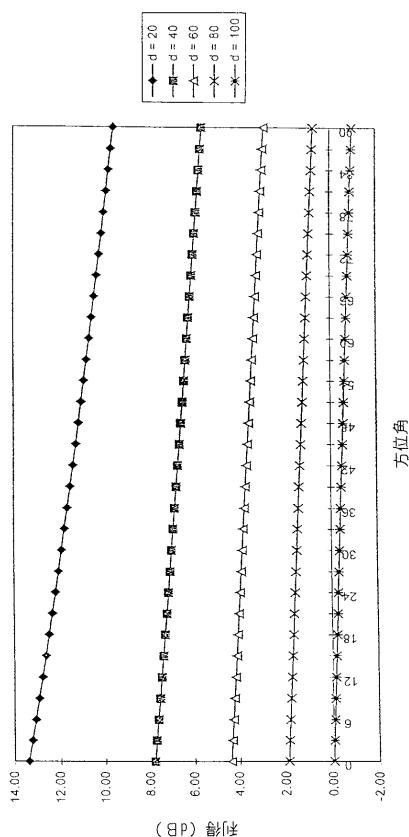
【図10】

図10



【図 11】

図11



【手続補正書】

【提出日】平成20年9月11日(2008.9.11)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

原音響信号に位置測定キューを提供して、選択された方向およびリスナーの頭から1.5m以下の選択された近領域距離において発すると知覚されるように変形された信号を発生する方法であって、

前記選択された近領域距離より大きな参照距離に対して作られた前記リスナーからの所定の方向に対する測定されたHRTFの組みに対応したフィルタリングを適用することにより、前記HRTFの組みからのフィルタリングされた出力は、前記参照距離に対するHRTFフィルタリングの関数である利得、遅延およびスペクトル的な整形を2つのチャンネルに提供するように前記原音響信号を変形し、

それぞれのチャンネル利得を異ならせるように増幅する近領域利得補正を提供することにより前記原音響信号を変形し、

前記近領域利得補正における各チャンネルに対する異なる増幅は、各チャンネルごとに前記近領域源から各耳までの距離により決定される方法。

【請求項2】

前記近領域距離は、0.2mより大きいかまたは等しく、1.5mより小さいかまたは等しく、前記参照距離は1.0mと1.5mの間である請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記近領域距離に対して、それぞれの出力チャンネルごとの前記近領域利得補正は、前記近領域音源から各耳までの距離比に従った、および前記リスナーの頭から前記選択された近領域距離に位置する前記音源に対する音源から耳までのそれぞれの距離に基づいた、増幅である請求項1に記載の方法。

フロントページの続き

(74)代理人 100141254
弁理士 榎原 正巳

(74)代理人 100114177
弁理士 小林 龍

(72)発明者 シバルド, アラステア
イギリス国, バークシャー エスエル6 1エックスエル, メイデンヘッド, ホースガーズ ドラ
イブ 18

(72)発明者 ナックビ, ファワッド
イギリス国, ミドルセックス ユービー2 5ピーアール, サウトホール, レジーナ ロード 1
50

(72)発明者 クレモー, リチャード デビット
イギリス国, バッキンガムシャー エスエル9 0エヌエフ, ジェラーズ クロス, コッパー リ
ッジ 5

F ターム(参考) 5D062 BB13 BB20 CC01 CC10