

(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2012-149906

(P2012-149906A)

(43) 公開日 平成24年8月9日(2012.8.9)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 GO1S 5/28 (2006.01) GO1S 5/28 5J083
 GO1S 3/808 (2006.01) GO1S 3/808

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-6866 (P2011-6866)
 (22) 出願日 平成23年1月17日 (2011.1.17)

(71) 出願人 00006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100123434
 弁理士 田澤 英昭
 (74) 代理人 100101133
 弁理士 濱田 初音
 (72) 発明者 太刀岡 勇氣
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
 菱電機株式会社内
 Fターム(参考) 5J083 AA05 AC07 AC29 AC32 AD02
 AD04 AD18 AE08 BE45 BE60
 CA07 CA10 CA11

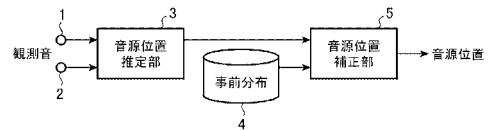
(54) 【発明の名称】 音源位置推定装置、音源位置推定方法および音源位置推定プログラム

(57) 【要約】

【課題】マイク数および演算量を増やすことなく、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させる。

【解決手段】音源位置推定部3は、受音点1, 2から入力した各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を算出する。音源位置補正部5は、予め与えられた事前分布4、または音源位置推定部3が過去に算出した尤度から推定した事前分布4を用いて、音源位置推定部3が算出した現在の音源位置の尤度を補正して、音源位置を定位する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定部と、

予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、前記音源位置推定部が算出した尤度を補正する音源位置補正部とを備える音源位置推定装置。

【請求項 2】

今回より以前に前記音源位置推定部が算出した尤度を用いて、音源位置の事前分布を推定する事前分布推定部を備え、

前記音源位置補正部は、前記事前分布推定部が推定した事前分布を用いて、前記音源位置推定部が算出した今回の尤度を補正することを特徴とする請求項 1 記載の音源位置推定装置。

【請求項 3】

前記事前分布推定部は、今回より以前に前記音源位置推定部が算出し前記音源位置補正部が補正した尤度を用いて、音源位置の事前分布を推定することを特徴とする請求項 2 記載の音源位置推定装置。

【請求項 4】

前記事前分布推定部は、今回より以前に前記音源位置推定部が算出した複数の尤度、または前記音源位置補正部が補正した当該複数の尤度を加算して、音源位置の事前分布を推定することを特徴とする請求項 2 または請求項 3 記載の音源位置推定装置。

【請求項 5】

今回より以前に前記音源位置推定部が算出した複数の尤度、または前記音源位置補正部が補正した当該複数の尤度に基づいて今回の音源位置を予測して、前記事前分布推定部が推定した当該音源位置の事前分布を当該予測に基づいて補正する第 1 の事前分布補正部を備えることを特徴とする請求項 4 記載の音源位置推定装置。

【請求項 6】

観測音から音声区間を検出する音声区間検出部を備え、

前記事前分布推定部は、前記音声区間検出部が検出した音声区間において前記音源位置推定部が算出した尤度または前記音源位置補正部が補正した当該尤度を用いて、事前分布を推定することを特徴とする請求項 2 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項記載の音源位置推定装置。

【請求項 7】

前記音声区間検出部が検出した音声区間以外の区間において、騒音の音源位置がある地点に存在する尤度を学習する騒音位置学習部と、

前記騒音位置学習部が学習した騒音源位置の尤度を用いて、前記事前分布推定部が推定した事前分布から当該騒音源位置の成分を抑制する第 2 の事前分布補正部とを備えることを特徴とする請求項 2 から請求項 6 のうちのいずれか 1 項記載の音源位置推定装置。

【請求項 8】

前記音源位置推定部は、尤度として C S P (C r o s s - p o w e r S p e c t r u m P h a s e) 係数を算出することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のうちのいずれか 1 項記載の音源位置推定装置。

【請求項 9】

前記音源位置推定部は、尤度として M U S I C (M U l t i p l e S i g n a l C l a s s i f i c a t i o n) スペクトルを算出することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のうちのいずれか 1 項記載の音源位置推定装置。

【請求項 10】

前記受音点を基準にして周囲を撮像した撮像画像より所定の物体を検出し、当該物体がある地点に存在する尤度を算出する音源位置推定画像処理部を備え、

前記事前分布推定部は、前記音源位置推定部が算出した尤度に代えて、前記音源位置推

10

20

30

40

50

定画像処理部が算出した尤度を用いて事前分布を推定することを特徴とする請求項 2 から請求項 7 のうちのいずれか 1 項記載の音源位置推定装置。

【請求項 1 1】

複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定ステップと、

予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、前記音源位置推定ステップで算出した尤度を補正する音源位置補正ステップとを備える音源位置推定方法。

【請求項 1 2】

コンピュータを、

複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定手段と、

予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、前記音源位置推定手段が算出した尤度を補正する音源位置補正手段として機能させるための音源位置推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、観測音から音源位置を推定する音源位置推定装置、ならびにその方法およびプログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

複数のマイクを用いて集音した音の到来方向（即ち、音源位置）を推定する場合、騒音下で推定精度が低下するという問題があった。

そこで、従来はマイクの数多くして入力信号を同期加算することで、雑音の影響を低減する手法（以下、手法 1）が一般的であった（例えば、特許文献 1、2 参照）。

他方、マイクの数増やさずに到来方向の推定精度を向上させる方法としては、例えば CSP（Cross-power Spectrum Phase analysis）法を用いる場合であれば、入力信号のスペクトルのうちの音声が表れやすいスペクトルを重みづけする手法（以下、手法 2）、SS（Spectral Subtraction）法のように雑音の CSP 係数を騒音下における入力信号の CSP 係数から引き去る手法（以下、手法 3）が用いられていた（例えば、非特許文献 1 参照）。

なお、CSP 法に限らず、MUSIC（Multiple Signal Classification）法および周辺画像に対する画像処理を併用して音源位置を推定する方法であっても、騒音下で推定精度が低下するという同様の問題が起こり得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2006 - 194700 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 246827 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】Y. Denda, T. Nishiura, and Y. Yamashita, "Robust Talker Direction Estimation Based on Weighted CSP Analysis and Maximum Likelihood Estimation" I EICE Transactions Information & Systems, Vol. E89-D(3), pp. 1050-1057, Mar. 2006

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記手法 1 は、複数のマイクを用いることに起因して装置の規模が大きくなったり、演算量が増加したりする課題があった。

10

20

30

40

50

他方の上記手法 2 は、音声の特徴を利用するので、到来方向の推定対象が音声でない場合、または騒音と音声のスペクトルが重なっている場合に有効でないという課題があり、上記手法 3 は、騒音が非定常な場合に有効でないという課題があった。

【 0 0 0 6 】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、マイク数および演算量を増やすことなく、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

この発明に係る音源位置推定装置は、複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定部と、予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、音源位置推定部が算出した尤度を補正する音源位置補正部とを備えるものである。

10

【 0 0 0 8 】

この発明に係る音源位置推定方法は、複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定ステップと、予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、音源位置推定ステップで算出した尤度を補正する音源位置補正ステップとを備えるものである。

20

【 0 0 0 9 】

この発明に係る音源位置推定プログラムは、複数の受音点における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度を当該受音点を基準にした角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して算出する音源位置推定手段と、予め与えられた音源位置の事前分布を用いて、音源位置推定手段が算出した尤度を補正する音源位置補正手段として、コンピュータを機能させるためのものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

この発明によれば、音源位置の存在尤度を事前分布を用いて補正するようにしたので、マイク数および演算量を増やすことなく、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】この発明の実施の形態 1 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】C S P 法による音源位置の推定方法を説明する図である。

【図 3】実施の形態 1 において事前分布に基づく補正前後の C S P 係数を比較したグラフである。

【図 4】この発明の実施の形態 2 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

40

【図 5】実施の形態 2 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

【図 6】実施の形態 2 において音源位置推定部が推定した C S P 係数を示すグラフである。

【図 7】実施の形態 2 において事前分布推定部が推定した事前分布を示すグラフである。

【図 8】実施の形態 2 において音源位置補正部が補正した補正 C S P 係数を示すグラフである。

【図 9】この発明の実施の形態 3 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図 10】この発明の実施の形態 4 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

50

【図 1 1】実施の形態 4 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

【図 1 2】この発明の実施の形態 5 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 3】実施の形態 5 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

【図 1 4】この発明の実施の形態 6 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 5】実施の形態 6 において音源位置推定部が推定した C S P 係数を示すグラフである。

【図 1 6】実施の形態 6 において第 2 の事前分布補正部が補正した後の事前分布を示すグラフである。

10

【図 1 7】実施の形態 6 において音源位置補正部が補正した補正 C S P 係数を示すグラフである。

【図 1 8】実施の形態 6 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

【図 1 9】この発明の実施の形態 7 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態 1 .

図 1 に示す音源位置推定装置は、音源の発する音を取得して観測音として出力する受音点 1 , 2 と、受音点 1 , 2 における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する尤度（以下、存在尤度）を算出する音源位置推定部 3 と、予め与えられた音源位置の事前分布 4 の情報を用いて存在尤度を補正する音源位置補正部 5 とを備える。

20

【0013】

次に、音源位置推定部 3 による音源位置の推定方法を説明する。なお、音源の存在尤度としては、C S P 係数、M U S I C スペクトル、画像による物体検出結果などを用いることができるが、ここでは C S P 係数を用いる場合を例に説明する。なお、M U S I C スペクトルを用いる場合は C S P 係数を用いる場合と略同様のアルゴリズムであるため説明を省略することとし、画像による物体検出結果を用いる場合の例は下記実施の形態 7 にて説明する。

【0014】

30

図 2 は、C S P 法による音源位置の推定方法を説明する図である。

受音点 1 , 2 はそれぞれマイクの位置を示し、距離 d だけ離れている。これら受音点 1 , 2 に対して到来角度 θ の方向に音源（不図示）が存在する場合、同時点に音源の発した音が先ず受音点 1 に到来し、続いて到来時間差 τ だけ遅れて受音点 2 に到来することになる。

【0015】

音源位置推定部 3 は、受音点 1 , 2 で集音した各観測音を入力とし、C S P 法により、距離 d だけ離れた 2 c h の入力信号のクロススペクトルから C S P 係数を算出し、それから信号間の到来時間差 τ を求めることで、音源の方向（即ち、到来角度 θ ）を推定する。

C S P 係数は、遅れ時間 k の関数として下式（1）によって計算できる。この遅れ時間 k は到来角度 θ と一対一に対応するため、C S P 係数は角度に関する存在尤度を表していると考えることができる。

40

$$CSP(k) = DFT^{-1} \left(\frac{DFT(x_1(t)) DFT(x_2(t))^*}{|DFT(x_1(t))| |DFT(x_2(t))|} \right) \quad (1)$$

$$0 \leq k \leq k_{max} = \text{INT}(L_m f_s / c) + 1$$

ここで、 x_1 , x_2 は受音点 1 , 2 の入力信号、 t は入力信号のフレーム番号、D F T は離散フーリエ変換、 $*$ は共役、 L_m はマイク間隔 [m]、I N T は小数点以下を切り捨てる関数、 c は音速、 f_s はサンプリング周波数である。

50

【 0 0 1 6 】

なお、音源位置推定部 3 は、騒音対策として、算出した C S P 係数を平滑化処理してもよい。例えば、入力信号の現フレーム t より得た C S P 係数を前後 d フレームの C S P 係数で平均化し、現フレーム t の周りで平滑化された C S P 係数を出力する。この詳細は下記実施の形態 2 にて述べる。

【 0 0 1 7 】

続いて、音源位置補正部 5 が、音源位置推定部 3 の算出した C S P 係数（存在尤度）を、事前分布 4 を用いて補正する。

本実施の形態 1 では事前分布 4 は既知であるものとする。また、音源はあまり動かないものと仮定する。例えば、受音点 1, 2 の斜め方向に騒音源があり、おおむね正面方向から音源（人、スピーカなど）の発話があることが多い場合には、正面方向に大きな尤度をもつ事前分布 4 を予め与えておく。この事前分布 4 を用いて音源位置の存在尤度を補正することで、騒音源以外の方向から騒音源と同じ程度の存在尤度を持つ目的音（発話）が到来した場合にも正しく音源を定位できる。

【 0 0 1 8 】

正面方向に音源がある確率が高い場合に、遅れ時間 k について平均 0、分散 σ^2 の正規分布を事前分布 4 として仮定すれば、音源位置補正部 5 により補正された C S P 係数（以下、補正 C S P 係数）は、下式（2）のように表される。なお、従来の C S P 法は事前分布を一様分布としたものと解釈できる。

$$CSP'(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp(-k^2/2\sigma^2) CSP(k) \quad (2)$$

【 0 0 1 9 】

到来時間差 τ は C S P 係数のピークとして表れるので、音源位置補正部 5 は、下式（3）により補正 C S P 係数が最大となる遅れ時間 k を求め、到来時間差 τ とする。そして、下式（4）より、求めた到来時間差 τ に基づいて音源の方向（即ち、到来角度 θ ）を計算する。

$$\tau = \arg \max_k (CSP'(k)) \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\tau c}{df_s} \right) \quad (4)$$

【 0 0 2 0 】

図 3 に、補正前および補正後の C S P 係数を比較したグラフを示し、事前分布 4 を用いた C S P 係数の補正の効果を説明する。

図 3 のグラフにおいて、縦軸は C S P 係数、横軸は遅れ時間 k である。破線は、受音点 1, 2 の正面方向（図 3 の白丸 の位置に相当する）に音源がある確率が高い場合の事前分布 4 である。また、細い実線は、音源位置推定部 3 が推定した C S P 係数（入力信号の現フレーム t を含む前後の複数フレームで平均化した値）、太い実線は、この C S P 係数を音源位置補正部 5 が事前分布 4 を用いて補正した補正 C S P 係数である。

図 3 の例の場合、本来は白丸 の成分が定位したい音源方向に対応しているが、騒音源などの外乱により黒丸 の成分がピークになっている。この場合、従来の C S P 法では現フレーム t のピークより音源の方向を定位するため、騒音源の方向（黒丸）を誤って音源の方向に定位してしまうことになる。これに対し、本実施の形態 1 では事前分布 4 に基づいて C S P 係数を補正するので、白丸 の成分がピークとなるよう補正でき、音源の方向を正しく定位できる。

【0021】

以上より、実施の形態1によれば、音源位置推定装置は、複数の受音点1, 2における各観測音を用いて、音源位置がある地点に存在する存在尤度(CSP係数)を受音点1, 2を基準にした角度に関して算出する音源位置推定部3と、予め与えられた音源位置の事前分布4を用いて、音源位置推定部3が算出した存在尤度(CSP係数)を補正して補正存在尤度(補正CSP係数)を求める音源位置補正部5とを備えるように構成した。このため、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させることができる。また、音声の特徴を利用していないため、どのような音源にも応用できる。さらに、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

10

【0022】

なお、上記実施の形態1では、受音点1, 2のペアより入力される2chの観測音を用いて、当該受音点1, 2に対する音源位置の方向(角度)を推定する構成を説明したが、これに限定されるものではなく、3ch以上の観測音を用いる構成にしてもよい。例えば、3つの受音点を具備して3chの観測音を用いる場合には1ch目と2ch目の観測音、2ch目と3ch目の観測音、1ch目と3ch目の観測音からそれぞれ存在尤度を求め、それらを加算することで音源位置の方向を示す存在尤度を得る構成にすればよい。同様の手順で4ch以上の観測音を用いる構成にすることもできる。

【0023】

また、上記実施の形態1では音源位置の方向(角度)を推定する構成にしたが、これに加えて、またはこれに代えて、音源位置までの距離を推定する構成にしてもよい。距離推定の方法としては、例えば三角測量法を利用することが考えられる。この場合、受音点を3つ以上具備し、そのうちの2つの受音点をペアとした複数ペアについてそれぞれ音源位置の方向を推定し、三角測量法を利用して音源位置までの距離を求めればよい。

20

【0024】

実施の形態2

図4は、本実施の形態2に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。この音源位置推定装置は事前分布4が未知の場合に対応する構成であり、新たに、音源位置推定部3が推定した存在尤度を記憶する存在尤度記憶部6と、存在尤度記憶部6が記憶している過去の存在尤度に基づき事前分布4を推定する事前分布推定部7とを備える。

30

【0025】

次に、事前分布推定部7による事前分布4の推定方法を説明する。事前分布4の推定方法は様々あるが、例えば、過去の音源位置の存在尤度の情報を、角度および距離のいずれか一方、またはその両方に関して、それぞれ加算した値を総和で除したものを現在の音源位置の事前分布4とする方法が最も単純である。

以下では、上記実施の形態1と同様に存在尤度としてCSP係数を用いる場合を例に説明する。

【0026】

発話者などの音源が移動しないと仮定した場合、CSP係数における音源の方向を示すピークは、他の外乱によるピークよりも持続時間が長いはずである。そこで、事前分布推定部7は、存在尤度記憶部6に記憶されている過去のCSP係数の履歴を用いて、音源位置推定部3から入力される現在のCSP係数から外乱成分を取り除く。

40

【0027】

上記実施の形態1と同様に、音源位置推定部3は、音源位置の角度別の存在尤度(CSP係数)を算出する。なお、騒音対策としてCSP係数を平滑化処理してもよい。ここでは、下式(5)により、現フレームtのCSP係数を前後dフレームのCSP係数を用いて平均化し、平滑化されたCSP係数を得る。得られたCSP係数は、音源位置補正部5および存在尤度記憶部6に出力される。存在尤度記憶部6は、音源位置推定部3から出力されたCSP係数を、事前分布4の推定用に記憶しておく。

50

$$\overline{CSP}(t,k) = \sum_{s=t-d}^{t+d} \frac{CSP(s,k)}{2d+1} \quad (5)$$

【0028】

本実施の形態2では、音源位置推定部3の求めたCSP係数を下式(6)のように全体の和で除したものを、遅れ時間kに対応する方向に音源が存在する尤度L(t,k)であると考える。

$$L(t,k) = \frac{\overline{CSP}(t,k)}{\sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}(\overline{CSP}(t,\kappa), 0)} \quad (6)$$

10

ここで、MAXは引数の最大を返す関数である。

【0029】

事前分布推定部7は、音源があまり動かないことを仮定して、時間方向に過去のフレームのCSP係数を加えた尤度L'(t,k)を、下式(7)に従い求める。続いて、この尤度L'(t,k)を、下式(8)のように最大値で除して基準化した尤度関数P(t,k)を求めるか、または、下式(9)のように総和で除して基準化した尤度関数P(t,k)を求める。事前分布推定部7は求めた尤度関数P(t,k)を事前分布4として音源位置補正部5に出力する。

20

$$L'(t,k) = \frac{\sum_{s=0}^t \overline{CSP}(s,k)}{\sum_{s=0}^t \sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}(\overline{CSP}(s,\kappa), 0)} \quad (7)$$

$$P(t,k) = \text{MAX}\left(\frac{L'(t,k)}{\text{MAX}(L'(t,0), L'(t,1), \dots)}, 0\right) \quad (8)$$

30

$$P(t,k) = \text{MAX}\left(\frac{L'(t,k)}{\sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}(L'(t,\kappa), 0)}, 0\right) \quad (9)$$

【0030】

40

音源位置補正部5は、事前分布推定部7が求めた尤度関数P(t,k)を用いて、音源位置推定部3が出力する現フレームtのCSP係数を補正する。本実施の形態2では、下式(10)に示すように、事前分布4であるP(t,k)をCSP係数と混合する割合rを定め、補正CSP係数を求める。

$$\overline{CSP}'(t,k) = (r + (1-r)P(t,k)) \cdot \overline{CSP}(t,k) \quad (10)$$

【0031】

図5は、本実施の形態2に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

50

また、図6は音源位置推定部3が推定したCSP係数、図7は事前分布推定部7が推定した事前分布4、図8はこの事前分布4を用いて音源位置補正部5が補正した補正CSP係数を示すグラフであり、これらのグラフを用いて事前分布4を用いた補正の効果を説明する。

【0032】

図6において、細い実線は、音源位置推定部3が推定した時系列のCSP係数であり、時間方向の各フレーム t について、遅れ時間 k に対するCSP係数を示す。この例では、1～3フレーム目のCSP係数が存在尤度記憶部6に記憶されているものとし、1～3フレームの履歴より事前分布4を推定して、4フレーム目のCSP係数を補正する。

本来は白丸の成分が定位したい音源方向に対応しているが、騒音源などの外乱により4フレーム目では突発的にピーク(黒丸)が表れている。この場合、従来のCSP法では、1～3フレームは正しく音源の方向(白丸)を定位するが、4フレーム目では誤って外乱の方向(黒丸)を音源の方向に定位してしまうことになる。

【0033】

ここで、音源が動かないと仮定すれば、4フレーム目において中央のピークと突発的に表れた黒丸のピークとの差はわずかであり、中央のピークのほうが音源である確率が高いと思われる。そこで、本実施の形態2では4フレーム目の音源方向の推定のために、事前分布推定部7が、存在尤度記憶部6に記憶されている過去3フレーム分のCSP係数を用いて事前分布4を推定する(ステップST1)。

図7において、破線は、事前分布推定部7が推定した尤度関数 $P(t, k)$ であり、過去にピークのあった白丸の成分(図6に示す)が他の部分の成分よりも大きくなる。

【0034】

音源位置推定部3が4フレーム目のCSP係数を算出すると(ステップST2)、続いて音源位置補正部5が尤度関数 $P(t, k)$ を事前分布4に用いて、上式(10)に従いCSP係数を補正する(ステップST3)。これにより、図8に太い実線で示すように、突発的な外乱が含まれる4フレーム目において補正CSP係数中の白丸の成分がピークとなり、音源の方向を正しく定位できる。

【0035】

以上より、実施の形態2によれば、音源位置推定装置は、今回より以前に音源位置推定部3が算出し存在尤度記憶部6に記憶した存在尤度(CSP係数)を複数加算して、音源位置の事前分布4を推定する事前分布推定部7を備え、音源位置補正部5は、事前分布推定部7が推定した事前分布4を用いて、音源位置推定部3が算出した今回の存在尤度(CSP係数)を補正して補正存在尤度(補正CSP係数)を求めるように構成した。このため、事前分布4が未知の場合にもこれを推定して、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させることができる。また、上記実施の形態1と同様に、音声の特徴を利用していないため、どのような音源にも応用でき、さらに、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

【0036】

実施の形態3

図9は、本実施の形態3に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図1および図4と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。上記実施の形態2に係る音源位置推定装置は事前分布4の推定の際に過去の音源位置の存在尤度をそのまま使っていたが、本実施の形態3に係る音源位置推定装置は、新たに、音源位置補正部5が補正した存在尤度(補正存在尤度)を記憶する補正存在尤度記憶部8を備えて、事前分布推定部7は、補正存在尤度記憶部8が記憶している過去の補正存在尤度に基づき事前分布4を推定する。

【0037】

次に、事前分布推定部7による事前分布4の推定方法を説明する。以下では、上記実施の形態1, 2と同様に存在尤度としてCSP係数を用いる場合を例に説明する。

事前分布推定部 7 は尤度 $L'(t, k)$ を求める際に、上記実施の形態 2 では式 (7) に従って現フレーム t の尤度 $L(t, k)$ に対して時間方向に過去のフレームの CSP 係数を加えて尤度 $L'(t, k)$ を求めたが、本実施の形態 3 では補正存在尤度記憶部 8 が記憶している過去のフレームの補正 CSP 係数を加えて尤度 $L'(t, k)$ を求める。これは、図 5 に示すステップ ST 1 に相当する処理である。

【0038】

具体的には、上記実施の形態 2 と同様に最も単純に尤度を加算する方法を用いる際に、上式 (7) に代えて下式 (11) より $(t-1)$ フレームまでの補正 CSP 係数を用いて尤度 $L'(t, k)$ を算出する。そして、下式 (11) より求めた尤度 $L'(t, k)$ を上式 (8) または式 (9) により基準化し、 $P(t, k)$ を事前分布 4 として音源位置補正部 5 に出力する。

10

$$L'(t, k) = \frac{\sum_{s=0}^{t-1} \overline{CSP}'(s, k)}{\sum_{s=0}^{t-1} \sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}\left(\overline{CSP}'(s, \kappa), 0\right)} \quad (11)$$

【0039】

なお、補正 CSP 係数は、現フレーム t の尤度を計算する段階では求まっていないので、補正存在尤度記憶部 8 に存在しない。その場合、事前分布推定部 7 は、線形予測分析などを使って予測した値を補正 CSP 係数として代用すればよい。また、予測と推定を再帰的に繰り返すことによって推定精度を向上させることもできる。

20

【0040】

過去フレームの補正 CSP 係数より事前分布 4 を推定した後の処理は図 5 に示すステップ ST 2, ST 3 と同様であり、音源位置推定部 3 が現フレームより算出した CSP 係数を、音源位置補正部 5 が事前分布 4 に基づいて補正し、音源位置の方向を得る。

【0041】

以上より、実施の形態 3 によれば、事前分布推定部 7 は、今回より以前に音源位置推定部 3 が算出し音源位置補正部 5 が補正した補正存在尤度 (補正 CSP 係数) を複数加算して、音源位置の事前分布 4 を推定するように構成した。このため、事前分布 4 の推定精度を向上させることができ、よって、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度をさらに向上させることができる。また、音声の特徴を利用していないため、どのような音源にも応用でき、さらに、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさなため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

30

【0042】

なお、上記実施の形態 2, 3 において、存在尤度記憶部 6 または補正存在尤度記憶部 8 に過去の CSP 係数または補正 CSP 係数が蓄積されるまでの間は、上記実施の形態 1 のように予め与えられた事前分布 4 を用い、蓄積された後はその履歴を用いて推定した事前分布 4 を用いる構成にしてもよいことは言うまでもない。

40

【0043】

実施の形態 4 .

図 10 は、本実施の形態 4 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図 1、図 4 および図 9 と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。上記実施の形態 2, 3 では音源位置があまり動かないことを仮定していたが、本実施の形態 4 に係る音源位置推定装置は音源の動きに対応するために、新たに、存在尤度記憶部 6 が記憶している過去の音源位置の存在尤度から現フレームの音源位置を外挿などにより予測して事前分布 4 を補正する第 1 の事前分布補正部 9 を備える。

【0044】

次に、第 1 の事前分布補正部 9 による事前分布 4 の補正方法を説明する。以下では、上

50

記実施の形態 1 ~ 3 と同様に存在尤度として CSP 係数を用いる場合を例に説明する。

最も単純には、過去の CSP 係数のピークのずれを求めて、線形補間および 2 次関数などを用いて存在尤度に外挿を行い、外挿した分だけ事前分布 4 をシフトすることが考えられる。例えば線形補間を用いる場合には、第 1 の事前分布補正部 9 が下式 (12) により、存在尤度記憶部 6 に記憶された過去のフレーム ($t - 1$, $t - 2$) の CSP 係数のピークのずれを求め、現フレーム t では音源位置が だけ動いた位置にあると仮定する。そして尤度 $L'(t, k)$ を、下式 (13) のようにずれ だけシフトさせることにより、事前分布 4 を補正する。

$$\Delta\tau = \arg \max_k (CSP(t-1, k)) - \arg \max_k (CSP(t-2, k)) \quad (12)$$

10

$$L'(t, k + \Delta\tau) = L'(t, k) \quad (13)$$

【0045】

図 11 は、本実施の形態 4 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

事前分布推定部 7 が、存在尤度記憶部 6 に記憶されている過去の CSP 係数から事前分布 4 を推定し (ステップ ST 11)、第 1 の事前分布補正部 9 が上式 (12) により現在の音源位置を推定して上式 (13) により事前分布 4 を補正する (ステップ ST 12)。事前分布 4 を補正した後の処理は図 5 に示すステップ ST 2, ST 3 と同様であり、音源位置推定部 3 が現フレームの CSP 係数を算出し (ステップ ST 13)、音源位置補正部 5 が事前分布 4 に基づいてこの CSP 係数を補正し (ステップ ST 14)、音源位置の方向を得る。

20

【0046】

以上より、実施の形態 4 によれば、今回より以前に音源位置推定部 3 が算出した複数の存在尤度 (CSP 係数) に基づいて今回の音源位置を予測して、事前分布推定部 7 が推定した音源位置の事前分布 4 を当該予測に基づいて補正する第 1 の事前分布補正部 9 を備えるように構成した。このため、動きのある音源に対しても音源位置を精度よく推定することができる。また、音声の特徴を利用していないため、どのような音源にも応用でき、さらに、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

30

【0047】

なお、上記実施の形態 4 では、第 1 の事前分布補正部 9 を上記実施の形態 2 に係る音源位置推定装置に適用した構成を示したが、これに限定されるものではなく、第 1 の事前分布補正部 9 を上記実施の形態 3 に係る音源位置推定装置に適用することもできる。この構成の場合には、第 1 の事前分布補正部 9 が、図 9 に示す補正存在尤度記憶部 8 の記憶している過去の音源位置の補正存在尤度を用いて、事前分布推定部 7 の推定した事前分布 4 を補正する等すればよい。

40

【0048】

実施の形態 5 .

図 12 は、本実施の形態 5 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図 1、図 4、図 9 および図 10 と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。この音源位置推定装置は、音源の発する音を音声と仮定した構成であり、新たに、受信点 1, 2 のうちのいずれか一方 (または両方) の観測音から音声区間を検出する音声区間検出部 10 を備える。

【0049】

次に、音声区間検出部 10 による音声区間の検出方法を説明する。以下では、上記実施の形態 1 ~ 4 と同様に存在尤度として CSP 係数を用いる場合を例に説明する。

50

音声区間の検出方法はどのような方法であってもよいが、ここでは一例としてGMM (Gaussian Mixture Model) 尤度に基づく検出方法を利用し、高騒音下でも音声区間を検出できるようにする。この場合、音声区間検出部 10 は、受信点 1, 2 のいずれか一方の観測音からフレーム t 毎に GMM 尤度を求め、この GMM 尤度に基づいて音声区間か非音声区間かを判定する。そして、フレーム t を音声区間と判定した場合には「1」、非音声区間と判定した場合には「0」を示す関数 $\delta(t)$ を事前分布推定部 7 へ出力する。

【0050】

事前分布推定部 7 は、尤度 $L'(t, k)$ を求める際に、上記実施の形態 2 では式 (7) に従って補正対象となる現フレーム t の尤度 $L(t, k)$ に対して時間方向に過去のフレームの CSP 係数を加えて尤度 $L'(t, k)$ を求めたが、本実施の形態 5 では、式 (7) に代えて下式 (14) より、関数 $\delta(t)$ が「1」となる音声区間の CSP 係数のみを加算することで尤度 $L'(t, k)$ を算出する。音声区間の音源位置の存在尤度のみから事前分布 4 を推定することで、騒音の影響を少なくでき、音源の方向の推定精度を向上させることができる。

$$L'(t, k) = \frac{\sum_{s=0}^t \delta(s) \overline{CSP}(s, k)}{\sum_{s=0}^t \sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}(\delta(s) \overline{CSP}(s, \kappa), 0)} \quad (14)$$

【0051】

なお、音声区間の検出は、フレーム毎、即ち、短時間フーリエ変換の時間窓シフトの間隔 (例えば、10ms) 毎に行う。一方、受信点 1, 2 に入力される音声のずれは、マイク間隔が 30cm の場合に 0.88ms 程度であり、フレーム間隔に比べて十分小さい。よって、複数の受信点がある場合でも受信点間の遅れ時間は無視でき、いずれか 1 点 (図示例では受信点 2) の観測音を代表に用いて音声区間の検出を行えばよい。もちろんそれぞれの受信点で音声区間の検出を行って、論理積または論理和をとってもよい。

【0052】

図 13 は、本実施の形態 5 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

まず音声区間検出部 10 が受信点 2 の入力信号から音声区間を検出し (ステップ ST 21)、事前分布推定部 7 が存在尤度記憶部 6 に記憶されている過去の CSP 係数のうち、音声区間検出部 10 により音声区間と判定された CSP 係数のみを用いて事前分布 4 を推定する (ステップ ST 22)。事前分布 4 を推定した後の処理は図 5 に示すステップ ST 2, ST 3 と同様であり、音源位置推定部 3 が現フレームの CSP 係数を算出し (ステップ ST 23)、音源位置補正部 5 が事前分布 4 に基づいてこの CSP 係数を補正し (ステップ ST 24)、音源位置の方向を得る。

【0053】

以上より、実施の形態 5 によれば、音源位置推定装置は、観測音から音声区間を検出する音声区間検出部 10 を備え、事前分布推定部 7 は、音声区間検出部 10 が検出した音声区間において音源位置推定部 3 が算出した存在尤度 (CSP 係数) を用いて、事前分布 4 を推定するように構成した。このため、音源位置の推定精度をさらに向上させることができる。また、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

【0054】

なお、上記実施の形態 5 では、音声区間検出部 10 を上記実施の形態 2 に係る音源位置推定装置に適用した構成を示したが、これに限定されるものではなく、音声区間検出部 10 を上記実施の形態 3, 4 に係る音源推定装置に適用することもできる。例えば実施の形

態 3 に係る音源推定装置に適用した場合には、事前分布推定部 7 が、図 9 に示す補正存在尤度記憶部 8 の記憶している過去の音源位置の補正存在尤度のうち、音声区間検出部 10 が音声区間と判定した補正存在尤度のみを用いて、事前分布 4 を推定する等すればよい。

【 0 0 5 5 】

実施の形態 6 .

図 1 4 は、本実施の形態 6 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図 1、図 4、図 9、図 10 および図 12 と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。音声区間が既知の場合、非音声区間（即ち、騒音区間）に表れるピークは外乱によるものである。上記実施の形態 5 では音声区間検出部 10 が検出した騒音区間を単純に無視したが、本実施の形態 6 に係る音源位置推定装置では騒音区間を積極的に利用することを考え、新たに、騒音区間において騒音源の位置がある地点に存在する尤度の情報を学習する騒音位置学習部 11 と、騒音位置学習部 11 が学習した騒音源位置に相当する尤度が小さくなるよう事前分布 4 を補正する第 2 の事前分布補正部 12 とを備える。

10

【 0 0 5 6 】

次に、騒音位置学習部 11 の騒音源位置の学習方法を説明する。以下では、上記実施の形態 1 ~ 5 と同様に存在尤度として C S P 係数を用いる場合を例に説明する。

騒音位置学習部 11 は、騒音区間の入力信号から方向性の強い騒音または周期性を持つ騒音源の位置を学習する。具体的には、音声区間検出部 10 から関数 (t) の「0」（即ち、騒音区間を示す）が入力されると、騒音位置学習部 11 が第 2 の事前分布補正部 12 へ、C S P 係数を補正するための重み（例えば「-1」）を出力する。これにより、C S P 係数の符号が反転し、ピーク（即ち、騒音源位置）の成分が抑制されることになる。

20

【 0 0 5 7 】

続いて、第 2 の事前分布補正部 12 は、事前分布推定部 7 が推定した事前分布 4 のうち、関数 (t) が「0」となる騒音区間の C S P 係数に重みを掛け、騒音区間の事前分布 4 中の C S P 係数の符号を反転する。

即ち、重み「-1」を用いて補正した尤度 $L'(t, k)$ は、下式 (15) により求められる。これにより、騒音区間においてピークを示していた外乱を音声区間では抑制しつつ音声のピークを強調することができる。

30

$$L'(t, k) = \frac{\sum_{s=0}^t 2(\delta(s) - 0.5) \overline{CSP}(s, k)}{\sum_{s=0}^t \sum_{\kappa=0}^{k_{\max}} \text{MAX}(\delta(s) \overline{CSP}(s, \kappa), 0)} \quad (15)$$

【 0 0 5 8 】

図 1 5 は音源位置推定部 3 が推定した C S P 係数、図 1 6 は第 2 の事前分布補正部 12 が補正した補正後の事前分布 4、図 1 7 はこの事前分布 4 を用いて音源位置補正部 5 が補正した補正 C S P 係数を示すグラフであり、これらのグラフを用いて騒音位置学習部 11 および第 2 の事前分布補正部 12 の効果を説明する。また、図 1 8 は、実施の形態 6 に係る音源位置推定装置の動作を示すフローチャートである。

40

【 0 0 5 9 】

図 1 5 において、細い実線は、音源位置推定部 3 が推定した時系列の C S P 係数であり、時間方向の各フレーム t について、遅れ時間 k に対する C S P 係数を示す。この例では、音声区間検出部 10 の判定により、1 ~ 3 フレーム目が騒音区間、4 フレーム目が音声区間と判明しており、この騒音区間および音声区間ともにピーク（黒丸）が持続している。これは、方向性雑音または周期性雑音が生じている場合に起こる現象である。即ち、図 1 5 の場合、1 ~ 4 フレーム目ともに騒音の方向（黒丸）にピークが表れており、4 フレーム目ではこの騒音の成分に音源の成分が埋もれている。このような場合には、音声

50

区間検出部 10 が騒音区間を検出すると（ステップ S T 3 1）、検出結果に基づいて騒音位置学習部 11 が騒音区間の C S P 係数に重みを掛ける指示を出して騒音源位置の C S P 係数に重みを掛けて符号を反転させる（ステップ S T 3 2）。そして、第 2 の事前分布補正部 12 がステップ S T 3 2 において符号を反転した騒音区間の C S P 係数を、事前分布推定部 7 の推定した事前分布 4 に加える補正を行う（ステップ S T 3 3）。

【 0 0 6 0 】

図 16 において、破線は、第 2 の事前分布補正部 12 が補正した尤度関数 $P(t, k)$ であり、1 ~ 3 フレーム目の符号を反転させた C S P 係数から求めた事前分布 4 である。音源位置補正部 5 は、この事前分布 4 を用いて 4 フレーム目（音声区間）の C S P 係数を補正することで（ステップ S T 3 4, S T 3 5）、図 17 に太い実線で示すような、白丸の成分がピークとなるように補正された C S P 係数を得ることができ、騒音区間において支配的であった黒丸の成分の出現確率を低くすることができる。

10

【 0 0 6 1 】

以上より、実施の形態 6 によれば、音源位置推定装置は、音声区間検出部 10 が検出した音声区間以外の区間において、騒音の音源位置がある地点に存在する尤度（即ち、符号を反転させた C S P 係数）を学習する騒音位置学習部 11 と、騒音位置学習部 11 が学習した騒音源位置の尤度を用いて、事前分布推定部 7 が推定した事前分布 4 から騒音源位置の成分を抑制する第 2 の事前分布補正部 12 とを備えるように構成した。このため、外乱を抑制しつつ音声を強調できるようになり、よって、音源位置の推定精度をさらに向上させることができる。また、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

20

【 0 0 6 2 】

なお、上記実施の形態 6 では、事前分布推定部 7 が、存在尤度記憶部 6 の記憶している過去の音源位置の存在尤度を用いて事前分布 4 を推定する構成を示したが、これに限定されるものではなく、事前分布推定部 7 が、図 9 に示す補正存在尤度記憶部 8 の記憶している過去の音源位置の補正存在尤度を用いて事前分布 4 を推定する等してもよい。

また、上記実施の形態 6 の構成を上記実施の形態 4 の構成に適用した場合には、第 1 の事前分布補正部 9 と第 2 の事前分布補正部 12 を一つの事前分布補正部が兼ねるように構成してもよい。

30

【 0 0 6 3 】

実施の形態 7 .

図 19 は、実施の形態 7 に係る音源位置推定装置の構成を示すブロック図であり、図 1、図 4、図 9、図 10、図 12、図 14 と同一または相当の部分については同一の符号を付し説明を省略する。上記実施の形態 1 ~ 6 では音源位置推定部 3 が推定した C S P 係数または M U S I C スペクトルを音源位置の存在尤度に用いたが、本実施の形態 7 に係る音源位置推定装置は、新たに、撮像画像より音源物体を検出して存在尤度を求める音源位置推定画像処理部 13 を備えて、物体検出結果を存在尤度に用いる。

【 0 0 6 4 】

次に、音源位置推定画像処理部 13 による画像処理方法を説明する。音源位置推定画像処理部 13 は、受音点 1, 2 付近に設置されたカメラ等が撮像した撮像画像を取得し、音源であると思われる所定の物体（人、スピーカなど）がある位置を画像処理により検出し、検出結果を存在尤度記憶部 6 へ出力する。

40

事前分布推定部 7 は、存在尤度記憶部 6 に記憶されている物体検出結果より、音源位置推定画像処理部 13 が検出した物体の存在する地点が大きな値になるような事前分布 4 を推定する。続いて、第 2 の事前分布補正部 12 が上記実施の形態 6 と同様に騒音位置学習部 11 の指示に従って事前分布 4 を補正する。

そして、音源位置補正部 5 がこの事前分布 4 を用いて音源位置推定部 3 の推定する存在尤度を補正する。このため、対象外の物体から発生している音（即ち、騒音）に影響を受けることによる音源位置の誤推定を抑制することができる。

【 0 0 6 5 】

50

以上より、実施の形態 7 によれば、音源位置推定装置は、受音点 1, 2 を基準にして周囲を撮像した撮像画像より所定の物体を検出し、当該物体がある地点に存在する存在尤度を算出する音源位置推定画像処理部 13 を備え、事前分布推定部 7 は、音源位置推定画像処理部 13 が算出した尤度を用いて事前分布 4 を推定するように構成した。このため、上記実施の形態 1 と同様に、騒音環境において音源の発する音の到来方向を推定する精度を向上させることができる。また、音声の特徴を利用していないため、どのような音源にも応用できる。さらに、演算量の少ない手法で、かつ、マイクの数を増やさないため、組み込みなどリソースの制約がある装置にも適用できる。

【0066】

なお、上記実施の形態 7 では、音源位置推定画像処理部 12 を上記実施の形態 6 に係る音源位置推定装置に適用した構成を示したが、これに限定されるものではなく、音源位置推定画像処理部 12 を上記実施の形態 2 ~ 5 に係る音源位置推定装置に適用可能であり、その構成の場合にも上記実施の形態 2 ~ 5 と同様の効果を奏する。

10

【0067】

また、上記実施の形態 1 ~ 6 に係る音源位置推定装置において、存在尤度として C S P 係数を用いる代わりに、M U S I C スペクトルを用いるように構成しても、上記実施の形態 1 ~ 6 と同様の効果を奏することは言うまでもない。ただし、3 c h 以上の観測音を用いる構成の場合には上記実施の形態 1 で説明したような方法を用いずとも、3 c h 以上の信号から M U S I C スペクトルにより音源位置を推定できる。

【0068】

20

また、上記実施の形態 1 ~ 7 に係る音源位置推定装置をコンピュータで構成する場合、音源位置推定部 3、音源位置補正部 5、事前分布推定部 7、第 1 の事前分布補正部 9、音声区間検出部 10、騒音位置学習部 11、第 2 の事前分布補正部 12、音源位置推定画像処理部 13 の処理内容を記述している音源位置推定プログラムをメモリに格納し、コンピュータの C P U がメモリに格納されている音源位置推定プログラムを実行するようにしてもよい。

【0069】

上記以外にも、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

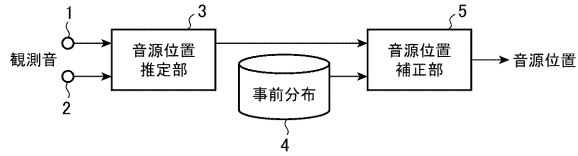
30

【符号の説明】

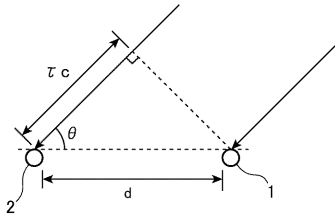
【0070】

1, 2 受音点、3 音源位置推定部、4 事前分布、5 音源位置補正部、6 存在尤度記憶部、7 事前分布推定部、8 補正存在尤度記憶部、9 第 1 の事前分布補正部、10 音声区間検出部、11 騒音位置学習部、12 第 2 の事前分布補正部、13 音源位置推定画像処理部。

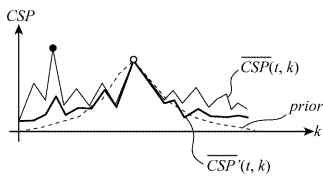
【図1】



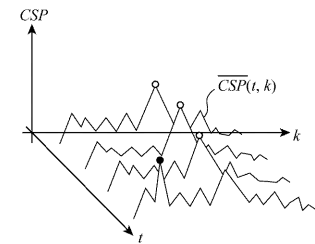
【図2】



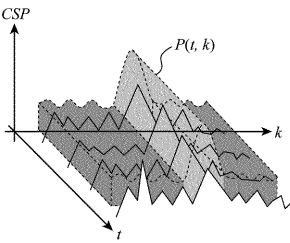
【図3】



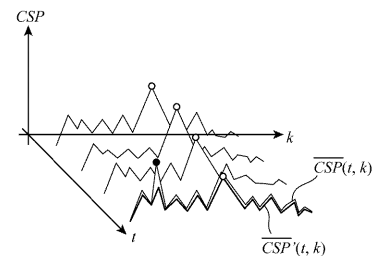
【図6】



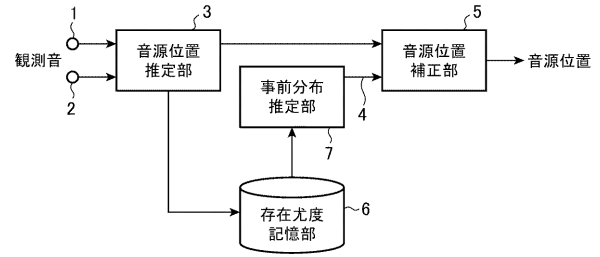
【図7】



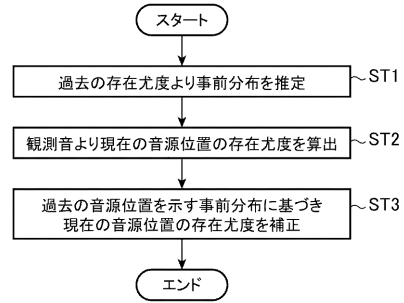
【図8】



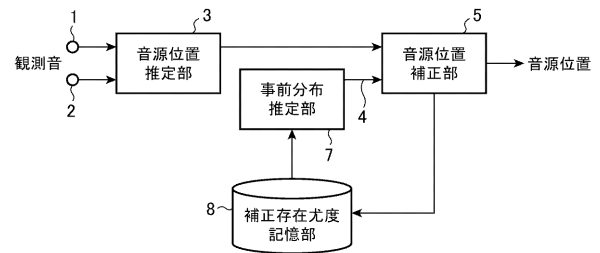
【図4】



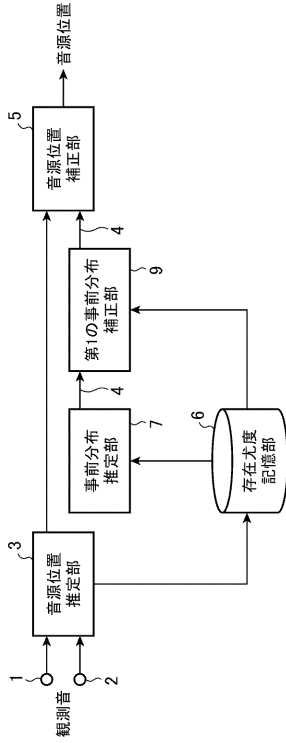
【図5】



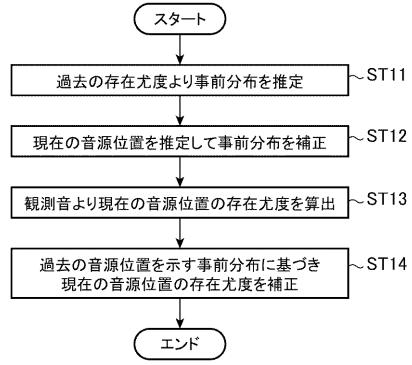
【図9】



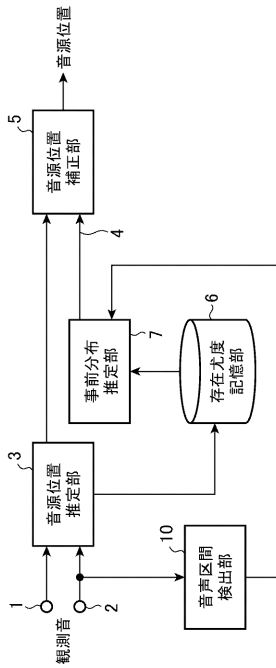
【図 10】



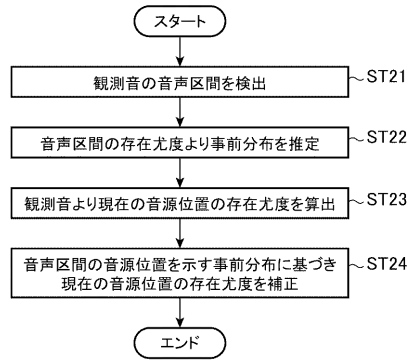
【図 11】



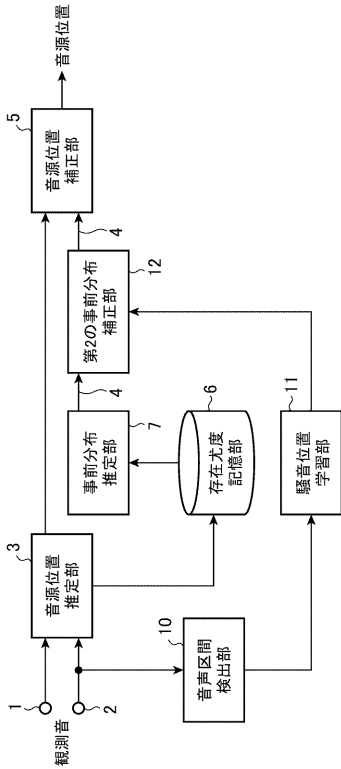
【図 12】



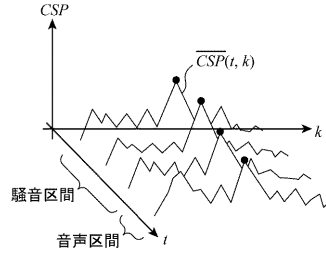
【図 13】



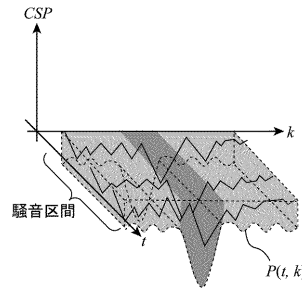
【図14】



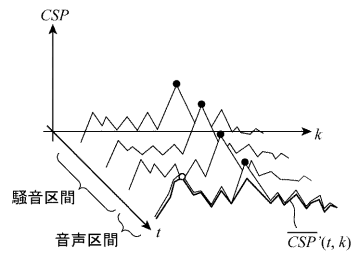
【図15】



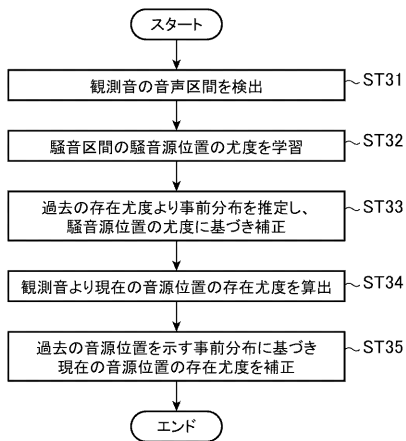
【図16】



【図17】



【図18】



【図19】

