

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年3月23日 (23.03.2006)

PCT

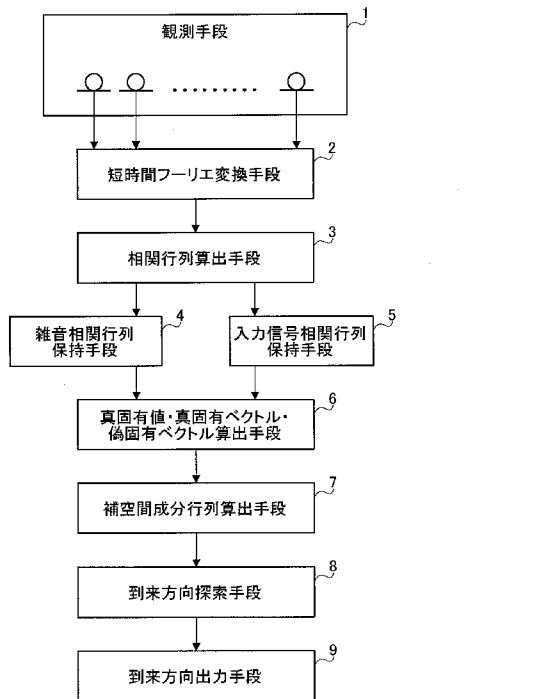
(10) 国際公開番号
WO 2006/030834 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 3/46 (2006.01) G01S 3/808 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/016956
- (22) 国際出願日: 2005年9月14日 (14.09.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-267380 2004年9月14日 (14.09.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 北海道大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒0600808 北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地 Hokkaido (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中章 (TANAKA, Akira).
- (74) 代理人: 鷺田 公一 (WASHIDA, Kimihito); 〒2060034 東京都多摩市鶴牧1丁目24-1 新都市センタービル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,

[続葉有]

(54) Title: SIGNAL ARRIVAL DIRECTION DEDUCING DEVICE, SIGNAL ARRIVAL DIRECTION DEDUCING METHOD, AND SIGNAL ARRIVAL DIRECTION DEDUCING PROGRAM

(54) 発明の名称: 信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、および信号到来方向推定用プログラム



- 1... OBSERVING MEANS
- 2... SHORT TIME FOURIER TRANSFORM MEANS
- 3... CORRELATION MATRIX COMPUTING MEANS
- 4... NOISE CORRELATION MATRIX HOLDING MEANS
- 5... INPUT SIGNAL CORRELATION MATRIX HOLDING MEANS
- 6... TRUE EIGENVALUE/TRUE EIGENVECTOR/FALSE EIGENVECTOR COMPUTING MEANS
- 7... COMPLEMENTARY SPACE COMPONENT MATRIX COMPUTING MEANS
- 8... ARRIVAL DIRECTION SEARCHING MEANS
- 9... ARRIVAL DIRECTION OUTPUTTING MEANS

(57) Abstract: A signal arrival direction deducing device capable of deducing the signal arrival direction even when a correlation matrix between input signals and noise correlation matrix are specific. In the device, observing means (1) observes a state in which only noise is present and a state in which a sound whose arrival direction is to be deduced is inputted, short time Fourier transform means (2) performs short time Fourier transform, and correlation matrix computing means (3) computes a noise correlation matrix and an input signal correlation matrix. The correlation matrices obtained are held in noise correlation matrix holding means (4) and input signal correlation matrix holding means (5) respectively. Using these correlation matrices, true eigenvalue/true eigenvector/false eigenvector computing means (6) computes the true eigenvalue, the true eigenvector and the false eigenvector of the noise correlation matrix with respect to the input signal correlation matrix. Complementary space component matrix computing means (7) computes a matrix for determining the complementary space component of the signal partial space from the obtained true eigenvalue, the true eigenvector, and the false eigenvector. Arrival direction searching means (8) searches for the sound arrival direction using the matrix for determining the complementary space component of the signal partial space.

(57) 要約: 入力信号間の相関行列や雑音相関行列が特異である場合でも、信号到来方向を推定することができる信号到来方向推定装置。本装置では、まず、観測手段(1)で、雑音のみが存在する状況と到来方向推定対象の音が入力されている状態とのそれぞれを観測し、短時間フーリエ変換手段(2)で、短時間フーリエ変換を行った後、相関行列算出手段(3)で、雑音相関行列および入力信号相関行列を算出する。得られた相関行列は、雑音相関行列保持手段(4)および入力信号相関行列保持手段(5)にそれぞれ保持される。次に、真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル

[続葉有]

WO 2006/030834 A1



SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

ル算出手段(6)で、これらの相関行列を用いて、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルを算出し、補空間成分行列算出手段(7)で、得られた真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとに基づいて、信号部分空間の補空間成分を求める行列を算出した後、到来方向探索手段(8)で、その信号部分空間の補空間成分を求める行列を用いて、音の到来方向を探索する。

明 細 書

信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、および信号到来方向推定用プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、電波や音等の信号の到来方向を推定する信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、および信号到来方向推定用プログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来の信号到来方向推定方式として、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法やESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 法等がよく知られている。

[0003] MUSIC法は、アレーアンテナ等に同時に到来する複数の電波等の信号の方向を測定するアルゴリズムであり、到来信号とは関係ない雑音の成分を用いて到来信号のパラメータを推定する方法である。MUSIC法による電波到来方向測定では、例えば、受信信号から得られる相関行列の固有値を求め、得られた固有値が到来波数によって信号固有値と雑音固有値とに分けられるため、雑音固有値に対応する雑音固有ベクトルを求め、得られた雑音固有ベクトルから角度スペクトルを求め、それらを角度(つまり、周波数)で平均してMUSICスペクトルを求めることにより、到来信号の到来方向を推定する。また、ESPRIT法は、基本原理はMUSIC法と同様であるが、平行なアレー面を有する複数のアレー対を配置することにより、MUSIC法において要請されるアレーの幾何学的な情報や計算量を緩和する手法である。

[0004] また、その改良手法として、例えば、特許文献1、特許文献2、および特許文献3に記載の技術が提案されている。

[0005] 特許文献1記載の技術は、固有値展開を用いる代わりに、入力信号相関行列の逆行列を利用することにより、少ない計算量での到来方向推定を実現している。また、特許文献2記載の技術は、一つ目の受信器とその他の受信器の相関ベクトルのみからテブリッツ(Toeplitz)行列を構成し、これを入力信号相関行列の代わりに用いることにより、計算量の削減を実現している。また、特許文献3記載の技術は、アレーを物

理的に回転させることにより、アレー間隔決定時に想定していなかった周波数の信号源が存在する場合でも到来方向推定を実現している。これらの技術は、いずれも、入力信号相関行列が正則(逆行列を持つこと)であることを前提として、計算量の削減や性能の向上を実現するものである。

特許文献1:特開2002-148324号公報

特許文献2:特開平11-133130号公報

特許文献3:特開2001-108734号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1～3に記載された信号到来方向推定方式にあつては、入力信号相関行列が正則であることを前提としているため、例えば、測定空間内にマイク数よりも少ない数の雑音源が存在する場合など、入力信号相関行列や雑音相関行列が特異である場合には、適用することができない、という問題がある。雑音に関する情報を利用せずに、単に入力信号相関行列の固有値展開を用いた場合は、求めた固有値が雑音に由来するものか、信号に由来するものかを判別できない可能性があり、また、入力信号相関行列と雑音相関行列を用いようとした場合は、原理的に雑音相関行列の逆行列が必要となるため、雑音相関行列が特異であった場合には、そもそも当該逆行列が存在しない、つまり、計算すらできないからである。

[0007] 本発明の目的は、入力信号相関行列や雑音相関行列が特異である場合でも、信号到来方向を推定することができる信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、および信号到来方向推定用プログラムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、到来方向推定対象の信号が存在しない雑音のみが存在する状況下における雑音相関行列と、到来方向推定対象の信号および雑音が存在する状況下における入力信号相関行列とを算出し、前記雑音相関行列および前記入力信号相関行列を用いて、前記入力信号相関行列に対する前記雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを算出し、前記真固有値と前記真固有ベクトルと前記偽固有ベクトルとに基づいて、前記信号の到来方向を推定する、構成を採る。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを求め、この真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとに基づき信号の到来方向を推定するようにしたので、入力信号相関行列や雑音相関行列が特異な場合でも、信号到来方向を推定することができる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明の一実施の形態に係る信号到来方向推定装置の構成を示すブロック図
発明を実施するための最良の形態

- [0011] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、本実施の形態では、信号到来推定方式として、MUSIC法を基礎として、その改良手法という形で説明する。

- [0012] ここで、MUSIC法とは、上記のように、アレーアンテナ等に同時に到来する複数の電波等の信号の方向を測定するアルゴリズムであり、到来信号とは関係ない雑音の成分を用いて、到来信号のパラメータを推定する方法である。MUSIC法による電波到来方向測定では、上記のように、例えば、受信信号から得られる相関行列の固有値を求め、得られた固有値が到来波数によって信号固有値と雑音固有値とに分けられるため、雑音固有値に対応する雑音固有ベクトルを求め、得られた雑音固有ベクトルから角度スペクトルを求め、それらを角度(つまり、周波数)で平均してMUSICスペクトルを求めることにより、到来信号の到来方向を推定する。

- [0013] 本実施の形態では、このようなMUSIC法において、雑音相関行列と入力信号相関行列とを求め、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを算出して、信号部分空間の補空間成分を求める行列を算出し、得られた行列に基づいて信号の到来方向を推定する。

- [0014] まず、本発明の原理を説明する。

- [0015] ここで、 i 番目の信号源から j 番目の受信器までの伝達関数を並べた行列を A としたときに、この行列 A の列ベクトルが張る空間を「信号部分空間」と呼ぶ。信号部分空間は、信号が存在する部分空間である。これは、雑音がない場合は、入力信号相関行列の列ベクトルが張る空間と同じものであり、入力信号相関行列の固有ベクトルのう

ち、0よりも大きい固有値に対応するものが張る部分空間と一致する。直感的には、受信器アレーの指向性を信号源の方向に向けたときの受信器アレーのウェイトベクトルが作る線形部分空間と一致する。一方、既存の手法で「雑音部分空間」と呼んでいるのは、信号部分空間の補空間である。雑音部分空間は、雑音のみが存在する部分空間である。例えば、対象とする空間が2次元空間で信号部分空間がy軸の場合、x軸が補空間のひとつの選び方になる。

[0016] 今、説明を簡単にするために、雑音が無相関であるとする、この二つの部分空間、つまり、信号部分空間と雑音部分空間は直交する(まさにy軸とx軸のように)。

[0017] 到来方向の推定を行うに当たり、ある方向に指向性を持つウェイトベクトルを作ったとする。このとき、そのベクトルがたまたま信号源の方向を向いていたとすると、そのベクトルは信号部分空間上のベクトルになる。これは、上記の例ではベクトルがy軸上の上のっていることを意味する。したがって、そのベクトルを補空間(つまり、x軸)に正射影すると、そのベクトルはゼロベクトルに近いものになる。MUSICスペクトルは、このベクトルの長さの2乗の逆数であるため、結果として、ウェイトベクトルが信号の方向を向いているとき、MUSICスペクトルは、非常に大きな値をとることになる。よって、MUSICスペクトルが大きくなる角度をもって信号の到来方向にするのが、MUSIC法の基本的な考え方である。

[0018] 一方、雑音が無相関でない場合は、一般に補空間は信号部分空間と直交しない。例えば、 $y = -x$ という直線が補空間になる。しかし、この場合でも、雑音相関行列の情報を用いて、正しい信号部分空間(y軸)を特定し、y軸に沿って $y = -x$ という直線に斜めに射影すれば、直交している場合と同じ議論を行うことができる。これを数学的に実現しているのが、入力信号相関行列の雑音相関行列に対する一般化固有値展開である。これは、具体的には、y軸と $y = -x$ とが直交するように空間自体を特定方向につぶしてから、直交している場合と同様の操作を行うことに対応する。このとき、既存の手法で非常に重要な点は、この補空間が雑音相関行列で特定できると仮定していることである。すなわち、雑音相関行列が補空間に関するすべての情報を持っていると仮定している。これは、雑音相関行列が正則である場合に相当する。逆に、雑音相関行列が正則でない場合は、入力信号相関行列の雑音相関行列に対す

る一般化固有値展開というものを計算することすらできない。なぜなら、この操作には、雑音相関行列の逆行列が必要となるからである。

[0019] 本発明で問題としているのは、雑音相関行列によって補空間(上記の例では $y = -x$)が特定できない場合である。具体的には、アレーを構成する受信器数よりも少ない雑音源が存在する場合などに、このような現象が生じる。この場合は、上記のように、入力信号相関行列の雑音相関行列に対する一般化固有値展開を計算することすらできない。これに対しては、無理やり補空間が直交していると仮定して x 軸に正射影してしまうという方法も考えられる。この方法では、勝手に x 軸に射影したベクトルが、本来の補空間に射影したベクトルの長さと同じになるとは限らず、そもそも、信号部分空間を特定する段階で、大きい固有値に対応する固有ベクトルが信号部分空間となるかどうか保証されない、つまり、信号部分空間すら正しく求められない可能性がある。

[0020] このような問題が生じる原因は、ウェイトベクトルが信号でも雑音でもない方向を向いている場合を全く考慮していないためである。本来、ウェイトベクトルがそのような方向を向いている場合には、その方向も補空間であると考えなくては、MUSIC法の原理が機能しなくなる。ここで、信号でも雑音でもない方向の規定の仕方については、入力信号相関行列で張られる部分空間でもなくかつ雑音相関行列で張られる部分空間でもない部分空間ということになる。これを数学的に記述したのが、雑音相関行列の入力信号相関行列に対する「偽固有ベクトル」である。したがって、補空間として、入力信号相関行列が張る部分空間のうち、雑音に起因する部分(既存の手法で「雑音部分空間」と呼んでいる空間)と偽固有ベクトルによって張られる部分空間とを用いることにより、正しい「信号部分空間の補空間」が得られ、ウェイトベクトルを当該補空間へ射影することによって、正しいMUSICスペクトルを得ることができる。

[0021] なお、数学的な定義を与えると、例えば、 A をエルミート行列、 B を非負定値エルミート行列とし、スカラー λ およびベクトル w が、 $Aw = \lambda Bw$ 、 $Bw \neq 0$ を満たすとき、 λ および w を、 A の B に対する真固有値および真固有ベクトルという。また、 $Aw = Bw = 0$ となるときの w を、偽固有ベクトルという。

[0022] 要するに、MUSIC法の本質は、「信号部分空間以外の空間」を適切に推定するこ

とであり、最も単純なケースの場合、つまり、雑音同士が無相関である場合には、信号部分空間と雑音部分空間が直交することが理論的にわかっているため、信号相関行列の固有値展開によってそれぞれを特定することができる。そして、信号部分空間と雑音部分空間が直交しない場合には、雑音の相関を打ち消すような操作を加えて、直交する場合と同様の問題に帰着させている。これを数学的に実現するのが、信号相関行列の雑音相関行列に対する一般化固有値展開である。そして、既存の手法では、どちらのケースであれ、そもそも信号部分空間でない空間はすべて雑音部分空間であると仮定している(これが、雑音相関行列が正則という条件に対応する)ため、「信号部分空間以外の空間」を雑音部分空間と呼んでいる。ところが、一般的には、「信号部分空間以外の空間」には「雑音部分空間」と「信号でも雑音でもない部分空間」が存在しうる(これが、雑音相関行列が特異な場合に対応する。正則な場合は非常に限定された条件である)。既存の手法では、この二つを正しく特定することができない。これに対して、本発明の枠組みでは、偽固有ベクトルによって「信号でも雑音でもない部分空間」を表現できるため、雑音相関行列が正則である場合を含むすべての問題を包含する一般的な枠組みを与えることができる。なお、雑音相関行列が正則である場合、本発明の枠組みでは、偽固有ベクトルは無くなってしまったため、結果として信号相関行列の雑音相関行列に対する一般化固有値展開と同じものになる。

[0023] 図1は、本発明の実施の形態に係る信号到来方向推定装置の構成を示すブロック図である。

[0024] 図1に示す信号到来方向推定装置は、観測手段1、短時間フーリエ変換手段2、相関行列算出手段3、雑音相関行列保持手段4、入力信号相関行列保持手段5、真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段6、補空間成分行列算出手段7、到来方向探索手段8、および到来方向出力手段9を有する。

[0025] 観測手段1は、到来方向推定対象である音等の入力信号を複数のマイク等により観測する。

[0026] 短時間フーリエ変換手段2は、観測手段1で観測した音等の入力信号を短時間フーリエ変換する。

- [0027] 相関行列算出手段3は、短時間フーリエ変換手段2で得られた短時間フーリエ変換された系列から相関行列を算出する。
- [0028] 雑音相関行列保持手段4は、雑音のみの環境で相関行列算出手段3により算出された相関行列(雑音相関行列)を保持する。
- [0029] 入力信号相関行列保持手段5は、到来方向推定対象音が存在する状況下で相関行列算出手段3により算出された相関行列(入力信号相関行列)を保持する。
- [0030] 真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段6は、雑音相関行列保持手段4および入力信号相関行列保持手段5にそれぞれ保持されている相関行列(雑音相関行列、入力信号相関行列)を用いて、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と、真固有ベクトルと、偽固有ベクトルとを算出する。なお、具体的な算出手順の一例については、後で詳述する。
- [0031] 補空間成分行列算出手段7は、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と、真固有ベクトルと、偽固有ベクトルとを用いて、信号部分空間の補空間成分を求めるために使用する行列を算出する。なお、具体的な算出手順の一例については、後で詳述する。
- [0032] 到来方向探索手段8は、補空間成分行列算出手段7で算出された補空間成分行列を用いて音の到来方向を探索する。
- [0033] 到来方向出力手段9は、到来方向探索手段8により探索された結果得られる音の到来方向を出力する。
- [0034] なお、この例では、観測手段1として、音等の観測手段を用いているが、電波等をアレーアンテナにより観測する観測手段等、その他の信号の観測手段であってももちろん良い。
- [0035] 次に、上記構成を有する本実施の形態に係る音の到来方向推定装置について、その動作を説明する。
- [0036] まず、前段階として、到来方向推定対象の音が存在しない状況、つまり、雑音のみが存在する状況で観測手段1を用いて観測を行い、短時間フーリエ変換手段2によってその短時間フーリエ変換を行い、相関行列算出手段3によって雑音相関行列を算出し、雑音相関行列保持手段4に保持する。

[0037] 具体的には、周波数インデックスを ω 、時間フレームインデックスを t 、観測数を n として、短時間フーリエ変換された各観測を n 次元ベクトル表記したものを $x(\omega, t)$ とすると、 E を時間フレームに関する期待値、「 $*$ 」を共役転置を表す記号として、雑音相関行列 $Q(\omega)$ は、次の(式1)、つまり、

[数1]

$$Q(\omega) = E[x(\omega, t)x(\omega, t)^*] \dots \text{(式1)}$$

で表される。この雑音相関行列 $Q(\omega)$ の行列群が、雑音相関行列保持手段4に保持されることになる。

[0038] 続いて、実運用状態、つまり、到来方向推定対象の音と雑音が入力されている状態で、上記と同様の操作により、相関行列算出手段3が、入力信号相関行列を算出し、入力信号相関行列保持手段5に保持させる。

[0039] この時、雑音と到来方向推定対象音とに由来する成分が無相関であれば、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ は、次の(式2)、つまり、

[数2]

$$R_x(\omega) = E[x(\omega, t)x(\omega, t)^*] = R(\omega) + Q(\omega) \dots \text{(式2)}$$

と書くことができる。

[0040] ここで、 $R(\omega)$ は、到来方向推定対象音のみ、つまり、入力信号のみに由来する成分の相関行列である。すなわち、雑音と到来方向推定対象音とに由来する成分が無相関であれば、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ は、雑音相関行列 $Q(\omega)$ と、到来方向推定対象音のみに由来する相関行列 $R(\omega)$ との和になる。なお、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ と、雑音相関行列 $Q(\omega)$ とは、実際に観測したデータから算出可能であるため、例えば、その差によって、到来方向推定対象音のみに由来する成分の相関行列 $R(\omega)$ を求めることができる。また、 $R(\omega)$ の階数は、 $r(\omega)$ であるとしておく。

[0041] 次に、真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段6が、雑音相関行列保持手段4および入力信号相関行列保持手段5に保持されたこれらの雑音相関行列 $Q(\omega)$ 、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ を用いて、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ に対する雑音相関行列 $Q(\omega)$ の真固有ベクトル・偽固有ベクトルを算出する。以下、この固有ベクトル

ル算出処理について説明する。なお、以下の動作は、全ての ω に対して同様に適用するので、以下、 ω は省略して記述することとする。

- [0042] 具体的には、真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段6は、雑音相関行列 Q と、入力信号のみに由来する相関行列 R とを共傾変換で同時対角化する正則行列 T を算出する。この結果、雑音相関行列 Q と、到来方向推定対象音のみ、つまり、入力信号のみに由来する相関行列 R とは、次の(式3)、つまり、

[数3]

$$Q = (T^*)^{-1} I_{n,r} T^{-1}, \quad R = (T^*)^{-1} \Lambda T^{-1} \dots \quad (\text{式3})$$

と書くことができる。

- [0043] ここで、 $I_{n,r}$ は、対角成分のうち最初の r 個のみが1であり、その他はすべて0である行列を表し、 Λ は対角行列となる。なお、 T を求めるアルゴリズムは、例えば、ラオとミトラによる書籍「一般逆行列とその応用」(東京図書株式会社)の第6章に記載されている。

- [0044] この T を用いることにより、雑音も含めた入力信号の相関行列 R_x は、雑音と到来方向推定対象音とに由来する成分が無相関であれば、上記(式2)で説明したように、入力信号相関行列 R_x は、雑音相関行列 Q と、到来方向推定対象音のみに由来する入力信号相関行列 R との和になるため、次の(式4)、つまり、

[数4]

$$R_x = (T^*)^{-1} (\Lambda + I_{n,r}) T^{-1} \dots \quad (\text{式4})$$

であることがわかる。

- [0045] なお、雑音相関行列 Q と入力信号相関行列 R_x を共傾変換で同時対角化した場合も、同じ T が得られるため、入力信号のみに由来する相関行列 R を求めなくても、(式4)を得ることもできる。

- [0046] これらの結果から、雑音相関行列 Q と、雑音も含めた入力信号の相関行列 R_x は、次の(式5)、つまり、

[数5]

$$QT = R_x T (\Lambda + I_{n,r})^{-1} I_{n,r} \dots \quad (\text{式5})$$

を満たすことがわかる。

- [0047] なお、「 $^+$ 」は行列のムーア・ペンローズ型一般逆行列を表す記号とする。
- [0048] そして、 $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の行列の対角成分のうち、0の値がある個所を k_1 番目とすると、 T の行列の k_1 列目の縦ベクトルが偽固有ベクトルである。この $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の行列は、偽固有ベクトルを特定するために使用するものである。なお、偽固有ベクトルは、複数次ある可能性がある。
- [0049] 一方、真固有値、つまり、 $(\Lambda + I_{n,r})^+ I_{n,r}$ の行列の対角成分に並んでいる値のうち、前記 k_1 番目以外の対角成分で、その値が1である個所を k_2 番目であるとする。この $(\Lambda + I_{n,r})^+ I_{n,r}$ の行列は、真固有ベクトルを特定するために使用するものである。なお、 $(\Lambda + I_{n,r})^+ I_{n,r}$ の行列の対角成分が1である箇所は、複数次ある可能性がある。
- [0050] すなわち、 T の行列の k_2 列目の縦ベクトルが雑音部分空間の基底をなす真固有ベクトルに対応し、それ以外の真固有ベクトルが信号部分空間の基底をなし、雑音部分空間の基底も、信号部分空間の基底も、複数次ある可能性がある。
- [0051] 例えば、 Λ の行列の対角成分が、例えば、 $[1, 0, 4, 0]$ であり、 $I_{n,r}$ の行列の対角成分が、例えば、 $[1, 1, 0, 0]$ であったとする。
- [0052] この場合、 $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の行列の非対角成分は、理論的に0になる一方、 $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の対角成分は、 $[0.5, 1, 0.25, 0]$ となり、 $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の行列の対角成分のうち0の値がある個所は4番目であり、 $k_1 = 4$ となる。すなわち、 T の行列の4列目の縦ベクトルが偽固有ベクトルに対応することになる。
- [0053] これに対し、 $(\Lambda + I_{n,r})^+ \times I_{n,r}$ の行列の対角成分は、 $[0.5, 1, 0, 0]$ となるため、前記 k_1 番目以外の対角成分で、その値が1である個所を k_2 番目であるとする、 $k_2 = 2$ となる。すなわち、 T の行列の2列目の縦ベクトルが、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルに対応することになる。
- [0054] そして、 T の行列の残りの1列目と、3列目の縦ベクトルは、信号部分空間に対応する真固有ベクトルに対応することになる。
- [0055] ここで、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルを求めるのに、一見、偽固有ベクトルを求めるために使用する前者の $(\Lambda + I_{n,r})^+$ の行列を使っても良いように見えるが、 Λ の中の4が1だった場合は、雑音に由来する1なのか、信号に由来する1なのかが

判別できなくなる。そのため、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルを求める場合に、 $(\Lambda + I)_{n,r}^+$ の行列を使用するのは不適當である。

[0056] このようにして、真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段6は、雑音相関行列 $Q(\omega)$ および入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ を用いて、入力信号相関行列 $R_x(\omega)$ に対する雑音相関行列 $Q(\omega)$ の真固有値と、真固有ベクトルと、偽固有ベクトルとを求めると共に、その真固有値に基づき真固有ベクトルを切り分けて、雑音のみに依存する部分空間である雑音部分空間に対応する真固有ベクトルと、入力信号に依存する部分空間である信号部分空間に対応する真固有ベクトルとを算出する。

[0057] 次に、補空間成分行列算出手段7は、信号部分空間に対応する真固有ベクトルを、次の(式6)、つまり、

[数6]

$$u_i^S, (i=1, \dots, n_S) \dots \text{(式6)}$$

とおき、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルを、次の(式7)、つまり、

[数7]

$$u_i^N, (i=1, \dots, n_N) \dots \text{(式7)}$$

とおき、偽固有ベクトルを、次の(式8)、つまり、

[数8]

$$u_i^I, (i=1, \dots, n_I) \dots \text{(式8)}$$

とおき、次の(式9)、つまり、

[数9]

$$W = [u_1^S, \dots, u_{n_S}^S, u_1^N, \dots, u_{n_N}^N, u_1^I, \dots, u_{n_I}^I] \dots \text{(式9)}$$

を構成し、保持する。

[0058] なお、 $n = n_S + n_N + n_I$ である。

[0059] 続いて、補空間成分行列算出手段7は、上記Wの随伴行列を算出し、それを、次の(式10)、つまり、

[数10]

$$W^* = [v_1^S, \dots, v_{n_S}^S, v_1^N, \dots, v_{n_N}^N, v_1^I, \dots, v_{n_I}^I]^* \dots \text{(式10)}$$

とおいたものから、次の(式11)、つまり、

[数11]

$$X = [v_1^N, \dots, v_{n_N}^N, v_1^I, \dots, v_{n_I}^I]^* \dots \quad (\text{式 1 1})$$

のみを抽出した行列を、信号部分空間の補空間成分を求める行列として算出する。

- [0060] そして、到来方向探索手段8が、音の到来方向を探索する。具体的には、長さ1であり、信号の到来方向 θ で決まるマイクロホンアレーに対するウェイトベクトルを $a(\theta)$ とし、次の(式12)、つまり、

[数12]

$$PM(\theta) = \frac{1}{\|Xa(\theta)\|^2} \dots \quad (\text{式 1 2})$$

がピークを持つ θ を探索する。

- [0061] 最後に、到来方向出力手段9が、到来方向探索手段8により探索された $PM(\theta)$ がピークを有するときの θ を、入力信号の到来方向として出力する。

- [0062] なお、到来方向探索手段8における $PM(\theta)$ はあくまで一例であり、 X 、つまり、信号部分空間に対応する真固有ベクトルと、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルと、偽固有ベクトルとを用いて信号の到来方向 θ を一意に決定することができる到来方向探索手段8であれば何を用いても良い。

- [0063] このように、本実施の形態によれば、入力信号相関行列に対する雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを求め、その真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとに基づき信号部分空間の補空間成分を求める行列を算出し、その行列に基づいて信号の到来方向を推定するため、入力信号相関行列や雑音相関行列が特異である場合でも、信号到来方向を推定することができる。

- [0064] なお、本実施の形態では、図1に示すように、信号到来方向推定装置の構成をブロック図により示してハードウェア的に説明したが、本発明は、これに限らず、この信号到来方向推定装置を、CPUと、そのCPUを上記のように実行させるためのプログラムを記憶したハードディスクや、メモリ等の記憶装置を有するPC等の汎用のコンピュータがソフトウェア的に実行するようにしても勿論良い。この場合、上記の信号到来方向推定装置としての機能を果たすためのプログラムは、CD等の記録媒体に記録

されていて、その記録媒体から読み出してコンピュータ内の記憶装置にインストールしたり、またはインターネット等のネットワークを介してサーバ等からダウンロードして記憶装置に記憶させる。このようにすれば、PC等の汎用のコンピュータでも、上記の信号到来方向推定装置としての機能を果たすためのプログラムを実行することにより、上記の信号到来方向推定を実行することができる。

[0065] 本明細書は、2004年9月14日出願の特願2004-267380に基づく。この内容はすべてここに含めておく。

産業上の利用可能性

[0066] 本発明に係る信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、信号到来方向推定用プログラムは、雑音相関行列の入力信号相関行列に対する真固有値、真固有ベクトル、偽固有ベクトルを用いることにより、従来法では対応できなかった、相関行列が特異な場合についても、信号の到来方向を推定することができる、という効果を有し、移動通信や室内無線通信(無線LAN)などにおいて電波の到来方向を推定する、例えば、MUSIC法を採用した信号到来方向推定装置、信号到来方向推定方法、信号到来方向推定用プログラムに有用である。

請求の範囲

- [1] 信号の到来方向を推定する信号到来方向推定装置であつて、
到来方向推定対象の信号が存在しない雑音のみが存在する状況下における雑音
相関行列と、到来方向推定対象の信号および雑音が存在する状況下における入力
信号相関行列とを算出する相関行列算出手段と、
前記雑音相関行列および前記入力信号相関行列を用いて、前記入力信号相関行
列に対する前記雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを算
出する真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段と、
前記真固有値と前記真固有ベクトルと前記偽固有ベクトルとに基づいて、前記信号
の到来方向を推定する到来方向推定手段と、
を有する信号到来方向推定装置。
- [2] 前記真固有値・真固有ベクトル・偽固有ベクトル算出手段は、
前記真固有ベクトルから、前記真固有値に基づいて、信号部分空間に対応する真
固有ベクトルと、雑音部分空間に対応する真固有ベクトルとを算出し、
当該信号到来方向推定装置は、
前記偽固有ベクトルと、前記信号部分空間に対応する真固有ベクトルと、前記雑音
部分空間に対応する真固有ベクトルとを用いて、前記信号部分空間の補空間成分を
求める行列を算出する補空間成分行列算出手段をさらに有し、
前記到来方向推定手段は、
前記信号部分空間の補空間成分を求める行列を用いて、前記真固有値と前記真
固有ベクトルと前記偽固有ベクトルとに基づいて、前記信号の到来方向を推定する、
請求項1記載の信号到来方向推定装置。
- [3] 前記信号部分空間の補空間を求める行列を、MUSIC (Multiple Signal Classificati
on) 法における、雑音部分空間の基底からなる行列の代わりに用いる、
請求項2記載の信号到来方向推定装置。
- [4] 前記到来方向推定対象の信号は、電波または音である、請求項1記載の信号到来
方向推定装置。
- [5] 信号の到来方向を推定する信号到来方向推定方法であつて、

到来方向推定対象の信号が存在しない雑音のみが存在する状況下における雑音相関行列と、到来方向推定対象の信号および雑音が存在する状況下における入力信号相関行列とを算出する工程と、

前記雑音相関行列および前記入力信号相関行列を用いて、前記入力信号相関行列に対する前記雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを算出する工程と、

前記真固有値と前記真固有ベクトルと前記偽固有ベクトルとに基づいて、前記信号の到来方向を推定する工程と、

を有する信号到来方向推定方法。

- [6] 信号の到来方向を推定させるための信号到来方向推定用プログラムであって、コンピュータに、

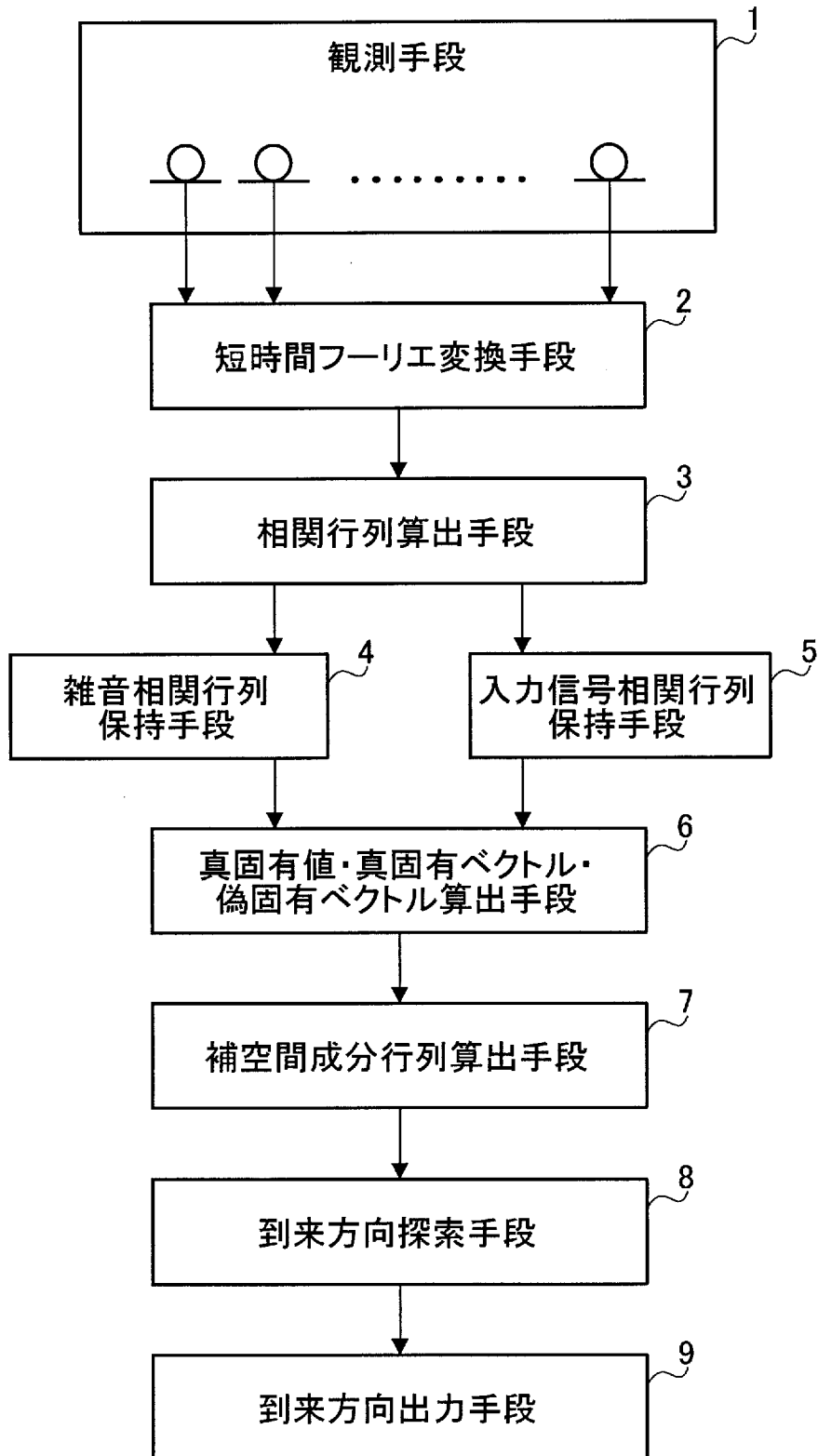
到来方向推定対象の信号が存在しない雑音のみが存在する状況下における雑音相関行列と、到来方向推定対象の信号および雑音が存在する状況下における入力信号相関行列とを算出する工程と、

前記雑音相関行列および前記入力信号相関行列を用いて、前記入力信号相関行列に対する前記雑音相関行列の真固有値と真固有ベクトルと偽固有ベクトルとを算出する工程と、

前記真固有ベクトルと前記偽固有ベクトルとに基づいて、前記信号の到来方向を推定する工程と、

を実行させるための信号到来方向推定用プログラム。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016956

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S3/46 (2006.01), **G01S3/808** (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S3/46 (2006.01), **G01S3/808** (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-112508 A (Toshiba Corp.), 08 April, 2004 (08.04.04), Claim 2; Par. Nos. [0028] to [0061] (Family: none)	1-6
A	JP 10-206518 A (Mitsubishi Electric Corp.), 07 August, 1998 (07.08.98), Par. Nos. [0024] to [0050] (Family: none)	1-6
A	JP 03-009283 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 17 January, 1991 (17.01.91), Pages 2 to 3, upper column (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 October, 2005 (13.10.05)

Date of mailing of the international search report
25 October, 2005 (25.10.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016956

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-108734 A (Mitsubishi Electric Corp.), 20 April, 2001 (20.04.01), Claim 1 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ **G01S3/46** (2006.01), **G01S3/808** (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ **G01S3/46** (2006.01), **G01S3/808** (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2004-112508 A (株式会社東芝) 2004.04.08, 請求項 2, [0028] 段 - [0061] 段 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 10-206518 A (三菱電機株式会社) 1998.08.07, [0024] 段 - [0050] 段 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 03-009283 A (沖電気工業株式会社) 1991.01.17, 第2頁 - 第3頁上欄 (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
13.10.2005

国際調査報告の発送日
25.10.2005

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)	2 S	9 4 0 2
有家 秀郎		
電話番号 03-3581-1101 内線 3258		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-108734 A (三菱電機株式会社) 2001.04.20, 請求項1 (ファミリーなし)	1-6