

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4660773号
(P4660773)

(45) 発行日 平成23年3月30日 (2011.3.30)

(24) 登録日 平成23年1月14日 (2011.1.14)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 S 3/46 (2006.01) GO 1 S 3/46
GO 1 S 3/74 (2006.01) GO 1 S 3/74
GO 1 S 3/808 (2006.01) GO 1 S 3/808

請求項の数 6 (全 12 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-535177 (P2006-535177) (86) (22) 出願日 平成17年9月14日 (2005.9.14) (86) 国際出願番号 PCT/JP2005/016956 (87) 国際公開番号 W02006/030834 (87) 国際公開日 平成18年3月23日 (2006.3.23) 審査請求日 平成20年7月15日 (2008.7.15) (31) 優先権主張番号 特願2004-267380 (P2004-267380) (32) 優先日 平成16年9月14日 (2004.9.14) (33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(73) 特許権者 504173471 国立大学法人北海道大学 北海道札幌市北区北8条西5丁目 (74) 代理人 100105050 弁理士 鷺田 公一 (72) 発明者 田中 章 北海道札幌市北区北14条西9丁目 国立 大学法人北海道大学大学院情報科学研究科 内 審査官 有家 秀郎</p>
--	---

最終頁に続く

(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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 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って、
 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。

【請求項 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。

【請求項 3】

前記信号部分空間の補空間を求める行列を、MUSIC (Multiple Signal Classification) 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。

【請求項 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。

【請求項 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って、

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。

【請求項 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。

【発明の詳細な説明】

【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

10

20

30

40

50

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プリッツ（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っては、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

10

20

30

40

50

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エ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エ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 軸上の上のベクトルであることを意味する。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、ウエ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

10

20

30

40

50

、 $y = -x$ 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の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。

10

【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。

20

【0020】

このような問題が生じる原因は、ウエ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、ウエ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、ウエ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。

30

【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 α およびベクトル w が、 $Aw = \alpha Bw$ 、 $Bw \neq 0$ を満たすとき、 α 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 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

40

50

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いうため、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。

【 0 0 2 3 】

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。

10

【 0 0 2 4 】

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。

【 0 0 2 5 】

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。

【 0 0 2 6 】

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。

20

【 0 0 2 7 】

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。

【 0 0 2 8 】

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。

【 0 0 2 9 】

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。

30

【 0 0 3 0 】

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。

【 0 0 3 1 】

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。

40

【 0 0 3 2 】

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。

【 0 0 3 3 】

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。

【 0 0 3 4 】

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。

50

【 0 0 3 5 】

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。

【 0 0 3 6 】

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。

【 0 0 3 7 】

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、

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

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。

【 0 0 3 8 】

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。

【 0 0 3 9 】

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、

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

と書くことができる。

【 0 0 4 0 】

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。

【 0 0 4 1 】

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。

【 0 0 4 2 】

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

10

20

30

40

50

に由来する相関行列 R とは、次の (式 3)、つまり、

【数 3】

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

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。

10

【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】

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

20

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】

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

30

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、複数ある可能性がある。

40

【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 番目であるとすると、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、複数個ある可能性がある

50

【 0 0 5 1 】

例えば、 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。

【 0 0 5 2 】

この場合、 $(\quad + I_{n, r})^+$ の行列の非対角成分は、理論的に0になる一方、 $(\quad + I_{n, r})^+$ の対角成分は、 $[0.5, 1, 0.25, 0]$ となり、 $(\quad + I_{n, r})^+$ 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。

【 0 0 5 3 】

これに対し、 $(\quad + I_{n, r})^+ \times I_{n, r}$ 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 番目であるとすると、 $k_2 = 2$ 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。

10

【 0 0 5 4 】

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。

【 0 0 5 5 】

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 $(\quad + I_{n, r})^+$ の行列を使っても良いように見えるが、 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、 $(\quad + I_{n, r})^+$ の行列を使用するのは不適當である。

20

【 0 0 5 6 】

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 $Q(\quad)$ および入力信号相関行列 $R \times (\quad)$ を用いて、入力信号相関行列 $R \times (\quad)$ に対する雑音相関行列 $Q(\quad)$ 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。

【 0 0 5 7 】

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、

30

【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】

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

40

とおき、偽固有ベクトルを、次の(式8)、つまり、

【数8】

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

とおき、次の(式9)、つまり、

【数 9】

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

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、

10

【数 10】

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

とおいたものから、次の (式 11)、つまり、

【数 11】

$$X = \left[v_1^N, \dots, v_{n_N}^N, v_1^I, \dots, v_{n_I}^I \right]^* \dots \text{ (式 11)}$$

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。

20

【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 で決まるマイクロホンアレーに対するウエイトベクトルを $a(\quad)$ とし、次の (式 12)、つまり、

【数 12】

$$PM(\theta) = \frac{1}{\|Xa(\theta)\|^2} \dots \text{ (式 12)}$$

がピークを持つ を探索する。

30

【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 $PM(\quad)$ がピークを有するときの 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 $PM(\quad)$ 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 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。

40

【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

50

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。

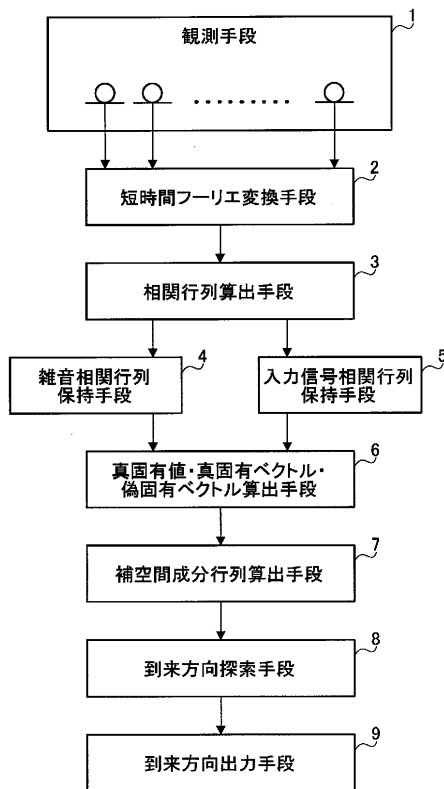
【産業上の利用可能性】

10

【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。

【図1】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-112508(JP,A)
特開2001-108734(JP,A)
特開平3-9283(JP,A)
特開平10-206518(JP,A)
特開2002-243826(JP,A)
米国特許出願公開第2002/2455(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 3/46
G01S 3/74
G01S 3/808