

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820152

研究課題名(和文) 確率指向の脳波分離・認識フレームワーク

研究課題名(英文) probability oriented framework for separation and recognition of electroencephalogram

研究代表者

宮部 滋樹 (Miyabe, Shigeki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：50598745

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：当初は脳波の識別のための統計的な多チャンネル信号処理を計画していたが、基礎的な解析方法に焦点を当てた方針に変更し、多次元複素確率分布の推定問題の研究を行った。位相が観測できない条件における複素信号の2チャンネル間の相関係数を最尤法により推定する手法を提案した。この研究の副産物として、2変量仲上m分布およびKibbleの2変量ガンマ分布の最尤推定アルゴリズムが得られた。また、多変量分布の共役事前分布であるウィシャート分布のパラメタの最尤推定を求めるアルゴリズムを提案した。

研究成果の概要(英文)：We originally planned to study statistical multichannel signal processing for electroencephalogram, but we changed the research plan and focused on the fundamental analysis method, and studied estimation problem with complex multivariate probabilistic distribution. We proposed a statistical approach to estimate correlation coefficient between two complex signal channels under the condition where the phases are unobservable. As a byproduct of this research, we found a maximum likelihood parameter estimation algorithm for bivariate Nakagami-m distribution and Kibble's bivariate gamma distribution. We also proposed maximum likelihood estimation algorithm for Wishart distribution, which is a conjugate prior of multivariate distributions.

研究分野：統計的信号処理

キーワード：多チャンネル信号処理 最尤推定 相関係数 ウィシャート分布 仲上m分布

1. 研究開始当初の背景

ブレイン・コンピュータインタフェースは、頭部に装着した脳波計による機械操作の枠組で、ユーザの身体動作を伴わないという利便性がある。しかし、脳波計の観測信号には雑音が非常に強く含まれており、そのために信号の特徴抽出と識別の手法はどちらも発展途上の段階にある。

2. 研究の目的

強い雑音に埋もれた信号の特徴抽出を前提とするために、現状の脳波識別は複数の検出処理の直列接続による検出指向の枠組みが主流である。雑音により失われた情報の推定を伴う識別問題には、統計的な逆問題として定式化した特徴抽出と識別の統合が有効であるとの考えから、本研究課題は確率指向の脳波識別フレームワークの確立を研究課題とした。

当初の計画では、統計的な枠組の特徴抽出と識別のアルゴリズムを完成させ、実際の脳波で有効性を検証することを目指していた。しかし、茶チャネル脳波処理の基礎的な技術課題が当初の予想よりも多かったことや、研究代表者の健康問題のために、研究計画の大幅な見直しが求められ、脳波処理の根幹である多チャンネル複素信号の統計解析の基礎検討に重点を置くこととした。

3. 研究の方法

複素信号のセンシングでは、雑音やセンサの形態のために、信頼できる位相の観測が難しいことがある。このような観測を分析して識別問題を解くための特徴分析の一つとして、仮に位相の観測が得られた場合のチャンネル間相関係数が、位相の観測が得られない条件でも推定することができれば、様々な応用で有効であると考えられる。そこで、統計的なアプローチによる位相を用いない複素相関係数の推定問題の解法を定式化する。

また、特徴分析や識別などの、複素信号の複数の処理を統計的な枠組みで統合するためには、ベイズの定理に基づいて、それぞれの処理の確率評価を一つの同時確率として評価し、事後確率最大化規範で推定問題を定式化することが有効である。階層モデルの定式化には共役事前分布が用いられ、多変数の実数及び複素数の共役事前分布はウィシャート分布により与えられる。ウィシャート分布のパラメタ推定のアルゴリズムは確立されていないため、本研究ではこれを完成させる。共役事前分布のパラメタ推定が可能となることにより、本研究課題の当初の目標であった脳波識別のように、階層化した多チャンネル信号処理の統合的なパラメタ推定が可能となる。

更に、統計的なアプローチによる複素信号処

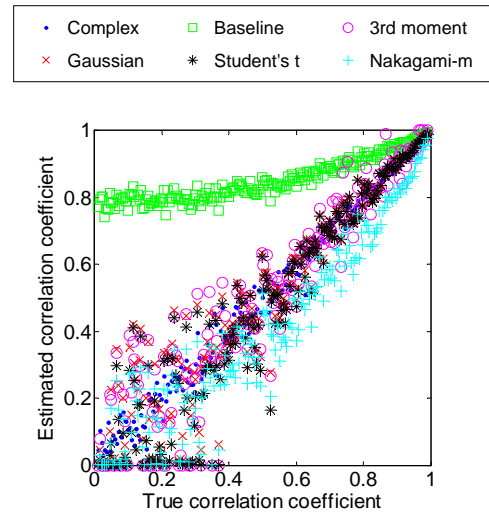


図1 位相が失われたガウス性信号の相関係数の推定零位

理を音響信号処理に応用した研究として、高次モーメントの分析による音源方位推定の研究を行った。高解像度方位推定の一般的な手法である MUSIC を一般化し、統計量として用いられる共分散をクロスモーメントで置き換えることにより、センサ数が音源数よりも少ない条件でも良好な方位推定を達成した。

4. 研究成果

位相が観測できない条件での複素信号チャンネル間の相関係数の推定を、2つの複素変数系列の偏角の周辺化として定式化し、複数の推定アルゴリズムを導出した。まず、元の複素変数が2変量複素正規分布に従うと仮定し、偏角の周辺化によって得られる2変量レイリー分布のパラメタ推定問題として定式化した。このモデル化では、モーメント推定によって解析的な推定が可能になる。また、周辺化された偏角は隠れ変数とみなすことができるため、EM アルゴリズムによって最終推定を導出した。同様の最尤推定は、信号形状が非ガウスである場合にも適用するために、複素変数が2変量複素 t 分布に従うと仮定したモデル化と、絶対値観測が2変量仲上 m 分布に従うと仮定したモデル化についても導出した。後者の2変量仲上 m 分布の最尤推定は、Kibble の2変量ガンマ分布と等価であるが、その最尤推定法は本研究で初めて得られたものである。図1に信号がガウス性である場合の各アルゴリズムの推定の例を、図2に信号が劣ガウス性である場合の各アルゴリズムの推定の例を示す。

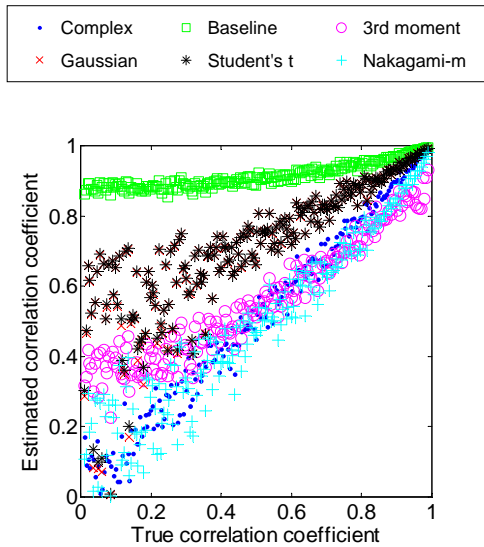


図2 位相が失われた劣ガウス性信号の相関係数の推定零位

実数/複素数ウィシャート分布の最尤推定は、応用上重要な問題であるにもかかわらず、その手法が十分に研究されてこなかった。これは非線形関数の方程式となるため、解析的な解が得られず繰り返し探索を用いる必要があるが、その高収束かつ安定な探索が求められるのが難しい点である。これは、近年ガンマ分布の最尤推定のために用いられた一般化ニュートン法を応用することによって達成した。ニュートン法は2次収束という収束性での有利な性質を持つが、問題によっては適切な初期値を与えなければ推定が発散するという問題点がある。ウィシャート分布の最尤推定は、ニュートン法による探索が特に不安定になる問題であり、適切な初期値を設定するのが非常に難しい。ガンマ分布はウィシャート分布の1次元の特殊な場合に相当するが、この最尤推定には、スターリングの近似を用いた局所近似によってニュートン法を修正した、一般化ニュートン法によって安定かつ高速に探索する手法が提案されている。本研究では、まず一般化ニュートン法を通常のニュートン法の変数変換として説明し、どのような局所近似関数を用いた場合でもニュートン法と同様の2次収束の性質を持つことを示した。また、ウィシャート分布のための適切な変数変換を基にした近似関数を用いることにより(図3)最尤パラメタの探索アルゴリズムを導出した。この一般化ニュートン法の最尤解探索がパラメタの定義域を外れないことを示し、その安定性と高収束性を理論と実験の両面から確かめた。

また、高次クロスモーメントを用いた方位推定は、同様の考え方の高次クロスキュムラントを用いた2q-MUSICと比較し評価した。キュムラントはモーメントと違って加法的

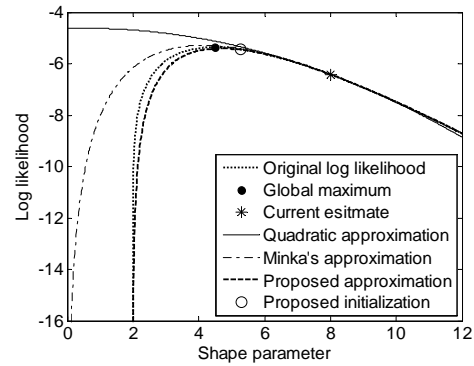


図3 一般化ニュートン法の尤度関数の局所近似

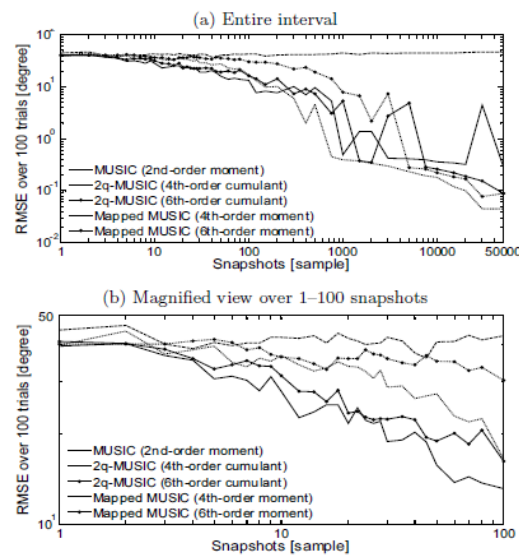


図4 方位推定精度の比較

を持つために、重ね合わさった観測の統計量が各音源の情報を保持し、理論的にはモデルに誤差がない。しかし、複数のモーメントの足し合わせであるキュムラントはメントは統計のバリエーションに強く、長時間の観測が得られない条件では性能が劣化してしまう。クロスモーメントを用いた場合には、重ね合わせの利が成り立たないことによってモデル化はバイアスを持つが、統計量がキュムラントに比べて単純であるために、同じ次数ではキュムラントよりもバリエーションが小さくなる。このバイアス・バリエーショントレードオフの関係により、観測が短い場合の方位推定ではモーメントによるMUSICの拡張が有効であることを示した。図4に推定精度を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文(査読あり)〕(計1件)

Y. Sugimoto, S. Miyabe, T. Yamada, S. Makino, and B.H.Juang, "An extension of MUSIC exploiting higher order moments via

nonlinear mapping," IEICE Trans.
Fundamentals (採録決定)

[学会発表(査読あり)](計1件)

S. Miyabe, N. Ono, and S. Makino,
"Estimating correlation coefficient
between two complex signals without phase
observation," in Proc. LVA/ICA, pp.
421-428, Aug. 25-28, Liberec, Czech
Republic, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮部 滋樹 (Shigeki Miyabe)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号 : 50598745