

センサアレイを用いる方位推定および信号数検出

信号処理研究分野 鈴木 正清

最大尤度方位推定のための交互射影 (AP) 法において、等間隔直線センサアレイの場合、評価関数の既約形を用いれば、解の振動が抑えられるだけでなく、計算量のオーダが低下し、計算が効率化されることを示す。また、従来の情報量基準では信号数の検出が困難なサンプルデータが少ない場合に適用可能な信号数を検出するための新しい手法を提案する。

1 はじめに

受動的センサアレイによる複数信号源の同時定位は、レーダ、ソナー、地震学、電波天文学などの分野で極めて重要な問題である。少数の観測データや低 SNR などの悪環境の下で高い分解能を達成するために、MUSIC [1], 最大尤度法 [2], MODE [3] などの超分解能手法が提案されている。最大尤度方位推定法は、分解能が極めて高く、コヒーレントな信号を取り扱うことができ、データ数に制限がない (単一スナップショットからも方位が推定できる) ことの点で他の手法よりも優れている。最大尤度方位推定法の唯一の欠点は、計算量が多いことのみである。

超分解能手法では、信号数が既知であることが要求されるため、通常信号数の検出が必要である。従来の信号個数の検出法 [4] は、観測データ数が十分に多いことを前提とした情報量の漸近的性質に基づいているため、観測データが少ない場合には、信号数の推定に困難がある。

本報告では、最大尤度方位推定のための効率的アルゴリズムを提案し、また、入手データが極めて少ない場合の信号個数検出のための評価関数を提案する。

2 最大尤度方位推定

p 個のセンサからなるセンサアレイに、中心周波数 ω_0 の q 個の狭帯域信号が方位 θ_i , $i=1,2,\dots,q$ から入射するものとする。平均零、共分散行列 σI の付加複素ガウス雑音の仮定の下に、最大尤度方位推定法が定式化される。 I は単位行列である。

交互射影アルゴリズムでは、まず、可変なパラメー

タのうち一つ、例えば θ_k , を除いた他のパラメータを固定し、 θ_k に関して評価関数を最大にする θ_k を求める。次に可変なパラメータを別なパラメータにして、同様の最大化を行う。全てのパラメータが収束するまでこれを繰り返す。 q 個の方向ベクトルで張られる信号部分空間を固定パラメータに関する方向ベクトルの張る部分空間とそれに直交する可変パラメータに関連する部分空間に直和分解することにより、計算の効率化を図ることができる。最大尤度方位推定では、複数の推定方位が重なる点では、信号部分空間の次元が減少するために、この点で評価関数に不連続が生じる。これに起因して AP アルゴリズムの解は、振動することが起こる。図 1 はその例である。

この不連続点は除去可能な不連続点であるため、極限を取れば連続化可能である。また、センサアレイが等間隔で直線的である場合、方向ベクトルの規則性より、評価関数を $e^{j\theta k}$ の有理関数の形式で表現することができる。 θ_k は可変パラメータである。この場合、不連続点の除去は、分母分子の共通因子を約分する事により達成される。図 2(a)は、評価関数を既約表現する事により、振動解が抑制されることを示している。図 2(b)は、既約形に基づく計算量を示している。既約形は多項式の評価によって求められる (図 2 中の Pol) ため、評価関数の計算が効率化される。また、多項式の評価のために FFT が利用可能になる。さらに 1 階および 2 階の導関数が容易に得られ、Newton 法などの勾配法が容易に適用できる。

3 信号数検出

情報量基準 MDL に基づく信号数検出法の例を図

3(a)に示す。観測データ数が少ない場合には、SNRがどんなに高くても、高い正解率が得られないことが分かる。しかしながら、図3(b)に示すように、信号数 $q=2$ のモデルの最大尤度は、信号数が2の場合、 $k=0,1$ の場合だけ、明らかに他とは異なる性質を示す。この性質、すなわちSNRの増加に伴って $-L(0), -L(1)$ が無制限に増加する性質を捉えれば、高い正解率が得られることが期待される。図3(c)は、最大尤度の統計量に従って評価関数を定

めたときの信号数検出の例である。

4 むすび

本報告では、最大尤度方位推定のための効率的アルゴリズムを提案し、また、入手データが極めて少ない場合の信号個数検出のための評価関数を提案した。

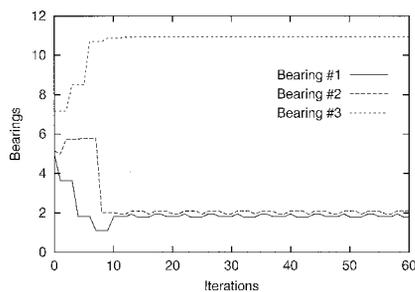


図1 APアルゴリズムによる方位推定例($p=5, q=3$, 方位 $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$, snapshots 200, SNR 16dB)

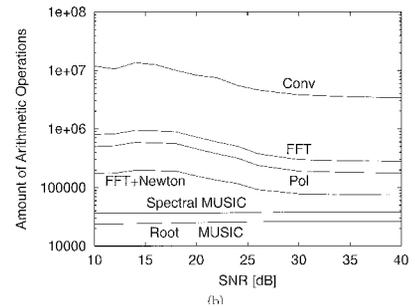
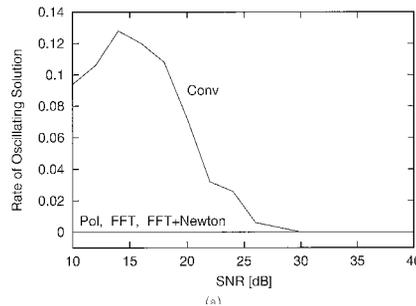
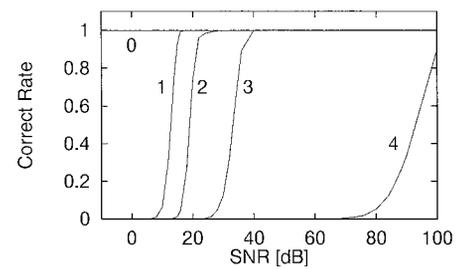
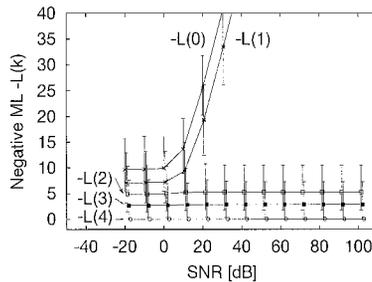
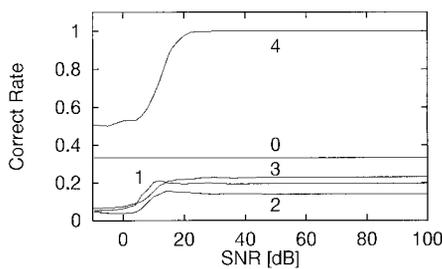


図2 既約形を用いる方位推定例($p=5, q=3$, 方位 $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$, snapshots 200, trial 500)



(a) MDLによる信号数検出例 (b) 最大尤度 $L(k)$ の変化($q=2$) (c) 提案手法による信号数検出例
図3 信号数検出例 ($p=5, q=0,1,2,3,5$, snapshots 5, trial 1000)

[参考文献]

- [1] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, No. 3, pp. 276-280, Mar. 1986.
- [2] I. Ziskind and M. Wax, "Maximum likelihood localization of multiple sources by alternating projection," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 36, No. 10, pp. 1553-1560, Oct. 1988.
- [3] P. Stoica and K. C. Sharman, "Novel eigenanalysis method for direction estimation," *IEE Proceedings*, vol. 137, Pt. F, No. 1, pp. 19-26, Feb. 1990.
- [4] M. Wax and T. Kailath, "Detection of signals by information theoretic criteria," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, No. 2, pp. 387-392, Apr. 1985.