

論文の内容の要旨

申請者 ゲン アン トゥワン

論文題目

アレーアンテナを用いた未知の到来波数に対する到来波の方向推定

近年、アレーアンテナによる到来波の到来方向推定が様々な分野において重要になっている。代表的な到来方向推定法として、MUSIC 法が良く知られている。MUSIC 法は、真の到来方向に対応する方向ベクトルが雑音部分空間と直交する性質を用いて、高精度かつ高分解能で、実用においての実装が簡単であるという利点がある。しかし、正確な雑音部分空間を取り出すために、正確な到来波数の情報が必要となることと、アレー素子数以上の到来波に対して到来方向推定不可能であることという主に2つの課題がある。

前者の課題に対して、到来波数情報がなくても到来方向を推定できる手法が幾つか提案されている。未知の到来波数に対しても到来方向を推定できる手法として、Capon 法があるが、前述した各到来方向推定アルゴリズムと比べると推定精度が高くない。それに対して、Zhang らが MUSIC-like 法を提案しており、これは到来波数情報がなくても到来方向を推定できる手法である。しかし、閾値の設定が必要となることと、相関波が存在する場合に推定精度が低下する問題がある。そして、Han らが ESPRIT-like 法を提案した。この手法では、中心対称一様線形アレーアンテナが用いられ、全ての相関行列の行成分に対し、それぞれに対応するテプリッツ行列を構成した後に ESPRIT 法を用いて到来方向を推定する。この方法は相関波が存在する場合において到来方向が推定可能であるが、正確な到来波数情報が必要となっている。そこで、Qian らは ESPRIT-like 法の結果を利用し、中心対称一様線形アレーアンテナを用いて、相関行列の各行成分によりテプリッツ行列を作成して、これらのテプリッツ行列を用いて最適化を行い、到来波数情報がなくても到来方向を推定できる高精度な手法を提案している（以降、Qian 手法と呼ぶ）。しかし、雑音が大きい場合とスナップショット数が少ない場合において、推定精度が低下する可能性がある。そのため、本研究では、Qian 手法の改良法を提案する。その方法は、雑音電力を推定して、雑音を含む成分を各々のテプリッツ行列から削除することで、より高精度な到来方向推定法となる。

後者の課題に対して、アレーの素子数以上の到来波数に対しても到来方向推定が可能な方向推定法が多く研究されている。その中で、Pal らにより提案されたコプライムアレーが注目されている。コプライムアレーは、素子数が互いに素である異なる2つの一様線形アレー (ULA) を結合した形であり、アレーの受信信号の相関行列をベクトル化することにより、元のアレーより開口長が大きい差分アレー (Difference Co-array) が得られ、このアレーから仮想の ULA を抽出することができる。求めた仮想 ULA に対し空間平均を行った後に、MUSIC 法等を適用

すると、アレー素子数以上の到来波に対して高精度な到来方向推定ができ、これを Pal 手法と呼ぶ。本研究では、Pal 手法の空間平均処理をなくし、コプライムアレーの相関行列をベクトル化したもの全てを利用して、仮想の ULA の相関行列からテプリッツ行列を作ることにより高速かつ高精度な Pal 手法の改良法を提案する。

前述したように、それぞれの課題に対する改良法を提案しているが、Pal 手法の改良法では、差分アレーから仮想の ULA を抽出することで、一部の仮想素子が切り捨てられてしまう。そのため、サンプルデータが無駄になり、また得られる仮想のアレーの開口長が縮小される。この問題点を改良するため、Liu らは核型ノルムによる補間を行い、仮想アレーの開口長を大きくして、Pal 手法の改良法より高い推定精度を得ている（以降、Liu 手法と呼ぶ）。本提案法の Pal 手法の改良法と Liu 手法において、部分空間法による到来方向推定を行うアプローチでは、正確な到来波数情報が必要となる。そこで、前者の課題に対処する Qian 手法の改良法をコプライムアレーにうまく適用することができれば、2つの課題に同時に対応できる方向推定法が実現できる。

本研究では、上述した2つの課題の研究成果を用いて、2つの課題に同時に対応できるようにするため、コプライムアレーを用いて、Pal 手法の改良法、Liu 手法、及び Qian 手法の改良法を組み合わせ、さらに改良を加えて、未知の到来波数情報におけるアレー素子数以上の到来波に対して高精度な到来方向推定法を提案する。シミュレーションにより、未知の到来波数情報において、提案法の推定精度が到来波数を推定してから Pal 手法の改良法及び Liu 手法を用いる到来方向推定法より向上した。また、未知の到来波数情報に対しても、提案法の推定精度が、到来波数情報が既知とした場合の Pal 手法の改良法及び Liu 手法の推定精度と近い、高い推定精度が得られている。さらに、同じコプライムアレーを用いた場合において、提案法がそれぞれの Pal 手法の改良法及び Liu 手法と同程度の対応可能な到来波数で、多くの到来波に対応できる。これらのことにより、提案法の有効性があると確認できた。