

高分解能電波到来方向推定のためのアレーアンテナ 校正法に関する研究

原 六 蔵*

Research of Array Antenna Calibration Technique for High-Resolution Direction-of- Arrival Estimation of Radio Waves

by Rokuzou HARA

本論文は、「高分解能電波到来方向推定のためのアレーアンテナ校正法に関する研究」と題して、アレーアンテナによる電波の高分解能到来方向推定において重要な問題である構成手法、キャリブレーション手法について、理論および詳細な実験とシミュレーションを通して、その具体的な実現手法を明らかにしている。本論文は全7章から構成されており、要旨は以下の通りである。

第1章の序論では、本研究の目的と意義を述べている。アレーアンテナによる電波到来方向推定では、フーリエ変換に基づく beamforming 法の適用が考えられていた。beamforming 法は角度分解能がアレー長に依存する。このため、高い分解能を得るためには大開口アレーを必要とする。そこで、アレー長に依存せず高分解能な推定が可能である、MUSIC 法などスーパーレゾリューション法の適用が求められる。しかし、広範囲の測角を行う到来方向推定では広指向性アンテナを用いるため、素子間相互結合の影響により推定角度に誤差が生じる。とりわけ、スーパーレゾリューション法は誤差の影響にも敏感であるため、推定精度の劣化が顕著である。そこで、素子間相互結合や製作誤差の影響による推定精度・分解能の劣化を回避するための校正手法が必要とな

る。以上のように、第1章では、アレーアンテナにおける到来方向推定の歴史的背景と、近年の高分解能到来方向推定法のアプリケーションに関して概説している。

第2章では、アレーアンテナを用いた到来方向推定の原理について述べる。本論文では到来方向推定法として、主にスーパーレゾリューション法の一つである MUSIC 法を用いている。また、beamforming 法と MUSIC 法の概念の違いとその角度分解能について比較している。

第3章では、アレーアンテナで到来方向を推定する際の誤差要因について述べる。第2章の定式化に伴い、誤差要素のモデル化を行っている。ここでは、アレー素子の利得・位相のばらつき（製作誤差）、素子間相互結合に関する定式化を行い、それらが MUSIC 法の分解能特性にどのような影響を及ぼすかを示した。

第4章では、素子間相互結合などの誤差要因が存在するアレーアンテナでスーパーレゾリューション法による推定を高精度に実現するための校正手法について述べる。到来角度が既知な波源を用いて、平面波の実測データを得る。実測データとアレーモードベクトルの関係を校正行列として推定する。全到

*新潟大学自然科学研究科

現在 三菱電機

〔新潟大学博士（工学）平成16年3月24日授与〕

来角度の実測データを必要とする従来の校正手法と比べて、校正行列として取り扱う手法であるため、スーパーレゾリューション法への適用が容易である。また、既知波源による実測データ数を軽減する手法についても述べている。この手法はアンテナ配置の幾何的対称性を利用して、校正行列の要素を推定することで可能であることを示した。

第5章では、アンテナ周囲の散乱体からの影響を反射板で遮る場合の校正について述べる。アンテナ周囲の影響は反射板で隠されるため、反射板付アレーアンテナの校正問題として解決できる。本論文では特にダイポールアンテナをアレー素子として用いている。アンテナエレメントに流れる電流に対して十分に大きな反射板の存在は影像法に基づいて反射板を対称面として対称に存在する逆向きの電流と置き換えることが可能である。このことから、反射板付アレーアンテナを素子数が2倍のアレーアンテナとして校正することができる。反射板が十分な大きさとならない場合、影像法の適用は近似的ではあるが、従来の校正手法よりも校正能力に優れていることを

示している。

第6章では、既知波源の設置が容易な場所として、アレーアンテナ近傍に既知波源を設定して校正を行う。前章までの既知波源は十分遠方からの平面波として処理を行っていたが、近傍に存在する波源は球面波としてアレーアンテナへ入射する。また、電波伝搬の減衰が無視できず、アレーモードベクトル各要素の大きさが波源までの距離の関数となる。波源と受信素子の位置を既知情報として得た伝搬パラメータからアレーモードベクトルを構成することにより、アレーアンテナ近傍に既知波源を設定した校正が可能であることを検証している。

第7章では、本研究で得られた結果を総括し、さらに、今後の展開について言及している。

謝辞：主指導教官の山口芳雄教授、山田寛喜助教授に御指導を賜りました。また様々な面でご支援頂きました仙石正和教授、間瀬憲一教授、石井郁夫教授に感謝致します。ここに記して感謝の意を表します。