

外94-7

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

フェーズドアレーアンテナの

適応制御に関する研究

申 請 者

千葉 勇

Isamu

Chiba

1994年 6月

1. 本研究の目的

フェーズドアレーアンテナ（以下、フェーズドアレーと略す）は複数の素子アンテナ（以下、素子と略す）を配列しその励振位相を制御することによりビームの方向を変えるアンテナである。この励振位相の制御は移相器と呼ばれる装置によって各素子で受信した信号の位相を調整することで行われる。これにより、アンテナの電子的な指向性制御への可能性が開かれ、アンテナの大きさや重量にかかわらず高速な指向性制御が可能になった。

フェーズドアレーの進んだ形態として、デジタルビームフォーミング（Digital Beam Forming：以下DBFと略す）アンテナがある。このアンテナは個々の素子毎の信号をA-D変換器でデジタル信号に変換しビーム形成をデジタル信号処理装置によって行う機能を持つ。DBFではアンテナ自身によって素子に与えるウェイトを適応的に決定する知的な処理が可能になる。

本論文の主題はフェーズドアレーの励振制御を適応的に行うことで新しい機能を引出す、あるいはその特性の向上を図ることにある。本論文の第1の目的は、位相のみが可変である基本的なフェーズドアレーにおいて、信号波の到来方向を既知として位相制御によって適切な指向性合成を効率良く行うこと、すなわち静的な適応制御を行うことにある。本論文の第2の目的は、移動通信にDBFシステムが導入されることを想定して、信号波の到来方向が未知である場合でも適応的に所望波の到来方向に主ビームを向けて干渉波の到来方向に放射パターンの零点を形成すること、すなわち動的な適応制御を行うことにある。

以下、本研究の内容について述べる。

2. 位相制御による円偏波フェーズドアレーの利得向上および交差偏波レベルの抑圧

円偏波フェーズドアレーを通信に用いる場合、ビーム走査域と周波数帯域の双方にわたって高利得を保持し、かつ交差偏波レベルを抑圧することが要求される。しかし、従来の給電線路長とアレーファクタのみを考慮した位相設定法では、素子間相互結合や周りの構造体からの散乱波の影響およびそれらの周波数特性などによりアレー状態での素子電界にばらつきが生じ、所望の放射特性が得られない。

ここでは、このような複雑な電波環境下において、フェーズドアレーが本来有する移相器によって励振位相を制御して利得の向上および交差偏波レベルの抑圧を行う方法を示した。本方法の骨子は、複数の周波数ポイントでアレー状態での素子アンテナの正偏波成分、交差偏波成分を測定し、そのデータをもとに非線形最適化法を用いて最適な励振位相を求めることにある。

ここで示した方法と従来の位相設定法とを比較する実験を行った結果、本方法により移動体衛星通信用円偏波フェーズドアレーのビーム方向の誤差が補正され、ま

たアンテナの開口能率12%に相当する利得の向上と軸比4.0dBに相当する交差偏波レベルの抑圧を実現することができた。

本研究の成果は移動体衛星通信用の円偏波フェーズドアレーの位相設定法として実用化され効果を上げている。

3. 部分素子位相制御によるフェーズドアレーの零点形成

フェーズドアレーアンテナでは、励振位相を非線形最適化法で計算した値に制御して、主ビームに影響を与えずに不要波の到来方向に指向性の零点を形成できる。しかし、素子数が多いアンテナでは演算量が大きくなり電波環境の変化に対応することが難しくなる。

ここでは、平面波合成法と呼ばれるビーム重畳原理を利用した方法で近似的に計算された位相値に基づき零点形成に寄与の大きい素子を選択して、これらの素子のみの位相を制御する方法を示した。この方法により、演算時間が短縮され、かつ全素子でアンテナの位相を制御した場合と同等の零点の深度と主ビーム方向の利得が得られる。

この方法の有効性を明らかにするためにデジタル移相器を使用したフェーズドアレーアンテナで零点を形成する数値計算シミュレーションと実験を行った。その結果、第1サイドローブ内に零点を形成する場合では、本方法を用いて約1/4の素子についてのみ位相制御を行うことで、全素子の位相を制御した場合と同等の零点が形成できた。

本方法は、フェーズドアレーアンテナの不要波除去方式として実用化され効果をあげている。

4. ビームスペースCMAアダプティブアレー

移動通信において、多重波伝搬路で発生する周波数選択性フェージングの除去には適応的に所望波の到来方向に主ビームを向けて干渉波の到来方向に放射パターンの零点を形成するアダプティブアレーアンテナが有効である。しかし、移動体衛星通信等に用いられるような多くの素子を有するアレーアンテナで、全ての素子アンテナに対応させてアダプティブループを設ける方式では演算時間、ハードウェアが多大となる。

ここでは、マルチビームの出力の一部を選択し、この選択されたビーム合成信号のみについてCMA（Constant Modulus Algorithm）によるアダプティブ処理を行うビームスペースCMAアダプティブアレーアンテナ（以下、BSCMA）を提案した。

BSCMAの特性を数値シミュレーションによって検討した結果、到来波の個数に対応した自由度で効果的に所望波の捕捉、干渉波の除去が行えることが示された。

また、処理する信号のS/N比が向上するため従来問題であった内部雑音の影響が軽減でき、移動体衛星通信などの条件の厳しい環境下での処理に適している、さらに複数の所望波を同一周波数、高アイソレーションで同時に受信するマルチビーム通信を可能にするなどの特長を明らかにした。

本方式は素子数が10素子以上となる多素子のアレーアンテナに適用する通信用アダプティブアンテナの方式として有効である。

5. ビームスペースアダプティブアレーによる送信ビームの適応化

通信用アダプティブアレーでは、受信だけではなく、送信においても干渉波の方向に零点を持つビームを形成する必要がある。しかし、一般の通信システムでは送信と受信では使用周波数が異なり受信時で最適化された素子ウェイトを与えても送信では干渉波抑圧特性が劣化していた。ここでは、受信と送信で周波数が異なる通信システムにおいて、ビームスペースアダプティブアレーを用いて送信時でも簡単な処理によってアダプティブビームフォーミングを可能とするアンテナ方式を提案する。ビームスペースアダプティブアレーでは、受信で適応化が行われた場合、予め形成した成分ビームの主ビームの方向とそれらに与えるウェイトが既知となる。したがって、周波数が異なる送信時でも、受信時と同じビーム方向の成分ビームに同じウェイトを与えて合成することができ、送信パターンの零深度が改善される。

この方法の有効性を確認するために数値シミュレーションを行うと共に、オフラインDBFによるビーム形成実験を行った。その結果、8%周波数が異なる送信時において、干渉波の到来方向の零点の深度が約10dB改善できた。

本研究の成果により送受信で機能するアダプティブアレーを基地局アンテナに使用して干渉波の除去および周波数の有効利用を行なう通信システムが実現できる。

6. 結論

以上、フェーズドアレーアンテナの適応制御に関する研究成果について述べた。現在、通信においては伝達される情報が高度化される一方でその環境は急速に厳しさを増している。こうした厳しい環境下での周波数資源の有効利用を考慮した高度情報通信システムの実現に本研究の成果が生かされるものと考えている。