

氏名	たかはし ゆうた 高橋 雄太
本籍(国籍)	秋田県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第313号
学位授与年月日	令和2年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科電気電子・情報システム工学専攻
学位論文 題目	位相可変無給電アレーアンテナを用いた 無線通信品質制御法
学位審査委員	主査 教授 本間 尚樹 副査 教授 恒川 佳隆 副査 准教授 大坊 真洋

論文内容の要旨

無線通信システムでは限られた周波数帯域で高密度な情報伝送を実現するために、送受信機双方にアレーアンテナを用いた MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術が利用されている。現在、MIMO 技術は無線通信の要素技術として無線 LAN やモバイル通信などに採用されており、多くの人がある恩恵に与っている。MIMO 通信は良好なパスが 2 つ以上ある場合に適用可能な技術であるが、無線通信環境によっては 2 つ以上のパスを確保できずにマルチストリーム伝送ができなくなる場面が数多く存在する。例えば、見通し外空間(NLOS: Non Line-of-Sight)や閉所空間への無線通信サービスが見込まれる場合である。このような環境では、送受信のアンテナが複数あるにもかかわらず伝搬経路が限定されてしまいチャンネル行列の特異値あるいは相関行列の固有値のランクが劣化する。このような伝搬経路をキーホール環境といい、MIMO システム全体の通信容量が劣化する。また、近年では広い周波数帯域を使用して大容量通信が可能なミリ波の利用が検討されているが、一方で高い直進性を持つためにシャドーイングによって通信品質が大きく劣化する。ミリ波は反射波の減衰量が大きいため、見通し空間(LOS: Line-of Sight)や NLOS を問わず、MIMO システムにて必要となる複数の良好なパスを確保することが非常に困難となる。これはつまりチャンネル行列の特異値あるいは相関行列の固有値が縮退することを意味し伝送できる情報量が減少する。

本研究では、位相可変無給電アレーアンテナを用いてキーホール環境やシャドーイングにより劣化する通信品質を改善しエリアを補完する手法提案する。提案する位相可変無給電アレーアンテナは、アレーの素子毎に移相器を実装しており、最適な位相を選択することで位相可変無給電アレーアンテナを介した無線の品質を改善する。

本論文は 6 章から構成され、各章についての概要を以下にまとめる。

第 1 章は序論であり、本論文の背景、目的、概要を述べる。はじめに無線中継機を用いた電波伝搬特性制御技術の社会的需要について述べる。また、劣化する通信品質を改善するた

めの従来検討技術について述べ中継伝送システムの課題を示す。その後、従来研究と本研究で提案する位相可変無給電アレーアンテナの優位性や問題点を示し、本研究の意義と目的を明らかとした後、本論文の概要を述べる。

第 2 章では位相可変無給電アレーアンテナを構成する位相可変素子の位相を制御することで無線通信品質を制御可能であること明らかにする。位相可変無給電アレーアンテナを位相可変トランスミッタアレーおよび位相可変レピータとして使用した場合の通信品質改善効果を実験にて明らかとする。

第 3 章では、位相可変無給電アレーアンテナをリフレクタとして用いた場合（以下、位相可変リフレクタアレー）の電波伝搬特性の制御法について述べる。はじめに位相可変リフレクタアレーを用いて電波伝搬特性を制御することの概念について説明し、リフレクタアレーの各アレー素子に装荷した移相器の位相値の組み合わせを最適化するための制御アルゴリズムについて述べる。また、位相最適化アルゴリズムを拡張し、複数の固有値を同時に改善可能であることも述べる。伝搬応答チャンネルを用いて本アルゴリズムの特性評価を数値計算によって行う。

第 4 章は 5G 伝送システムに位相可変リフレクタアレーを用いた場合の評価を行う。ここでは第 3 章にて述べた位相最適化アルゴリズムを 5G 伝送システムへ適用した場合のスループット特性について述べる。はじめに、5G 標準化仕様（3GPP の Release15）に準拠した 5G 通信機能を再現したリンクレベルシミュレータの構成について説明する。次に本シミュレータで用いる伝搬チャンネルモデルについて述べた後、5G のシステムスループット特性を評価した結果を報告する。

第 5 章は高速移動体環境における通信品質について評価した内容について述べる。まず高速移動体における無線通信の意義とその課題について述べる。次に実験を行うために試作した 5G 無線伝送装置の概要について述べる。その後、高速移動環境にて将来モバイル通信の需要が見込まれる候補の 1 つである鉄道環境において、試作した 5G 無線伝送装置を使用して無線伝送実験を行った結果について報告する。これによって基地局や移動局の設置位置に通信品質が劇的に変化する事を明らかとする。その後、実験では見通し外環境となることで通信品質が著しく劣化した場所に対して位相可変リフレクタアレーを使用することで無線通信環境を改善できることを数値解析計算にて示す。

第 6 章は本論文のまとめである。

論文審査結果の要旨

本論文は、学位申請者が行ってきた位相可変無給電アレーアンテナを用いた無線通信品質制御法に関する一連の研究をまとめたものである。近年の無線通信システムでは限られた周波数帯域で高密度な情報伝送を実現するために、送受信機双方にアレーアンテナを用いた MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術が利用されている。MIMO 通信は良好なパスが 2 つ以上ある場合に適用可能な技術であるが、無線通信環境によっては 2 つ以上のパスを確保できずにマルチストリーム伝送が困難となる場面が数多く存在する。このような伝搬経路はキーホール環境と呼ばれ、MIMO システム全体の通信容量が劣化する。また、ミリ波帯が利用される場合、高い直進性によりシャドーイング時に通信品質が大きく劣化する。ミリ波は反射時の減衰量が大きく、見通し空間(LOS: Line-of Sight)や NLOS を問わず、MIMO システムにて必要となる複数の良好なパスを確保することが困難である。

本研究は、位相可変無給電アレーアンテナを用いてキーホール環境やシャドーイングにより劣化する通信品質を改善する手法を提案することを目的としている。提案されている位相可変無給電アレーアンテナは、アレーの素子毎に移相器を実装しており、反射信号の位相を制御することで無線品質を改善するものである。

第 1 章は序論であり、本論文の背景、目的、概要について説明されている。

第 2 章では位相可変無給電アレーアンテナの概念と基本的な動作原理が述べられている。本原理を位相可変トランスミッタアレーおよび位相可変レピータとして応用した場合の通信品質改善効果が実験により明らかにされている。

第 3 章では、位相可変無給電アレーアンテナをリフレクタレーとして用いた場合の電波伝搬特性の制御法について述べられている。リフレクタレーの各アレー素子に装荷した移相器の位相値の組み合わせを最適化するための制御アルゴリズムについて述べられている。また、位相最適化アルゴリズムを拡張することで、複数の固有値に対応する伝送路品質を改善可能であることが述べられている。

第 4 章では 5G 伝送システムに対し、本原理に基づく位相可変リフレクタレーを用いた場合の特性について考察されている。5G 標準化仕様に準拠した 5G 通信機能を再現したリンクレベルシミュレータを用い、5G システムのスループット特性を評価した結果が報告されている。

第5章では高速移動体環境における通信品質について評価した内容について述べられている。モバイル通信の需要が見込まれる鉄道環境において、試作した5G無線伝送装置を使用して無線伝送実験を行った結果について報告されている。さらに、見通し外環境となることで通信品質が著しく劣化する場所に対して、位相可変リフレクタレーを使用することで無線通信環境を改善できることを数値解析計算により明らかにしている。

第6章は結論であり、本学位論文をまとめが総括されている。

以上のように、本論文は、位相可変無給電アレーアンテナに関する原理について多角的に考察を行っており、実験および数値解析により良好な通信特性を実現できることを明らかにしている。本研究では位相可変無給電アレーアンテナと呼ばれる新たな技術分野を開拓しており、得られた知見は今後の電子・通信システム工学の発展に大きく貢献するものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。

原著論文(1編)

題 目 Improving the Propagation Environment
by Using Tunable Passive Repeater

著者名(全員) 高橋 雄太, 本間 尚樹

学術雑誌等名 MDPI Electronics

(巻, 号, ページ) No.7, 12, 7020012.

発行年月 2018年 1月