

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 満井 勉  
学位 博士 (工学)  
学位記番号 新大院博(工)第465号  
学位授与の日付 平成29年3月23日  
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
博士論文名 MIMO技術を実装したアレーアンテナ技術に関する研究

論文審査委員 主査 准教授・西森 健太郎  
副査 教授・牧野 秀夫  
副査 教授・山田 寛喜  
副査 教授・佐々木 重信  
副査 教授・平栗 健史 (日本工業大学)

博士論文の要旨

近年、送信と受信機の両方にマルチアンテナを用いて無線区間の伝送速度を向上させる multi-input multi-output (MIMO)システムが注目を集めており、IEEE802.11n/ac や LTE/LTE-Advanced といった最新の無線 LAN や携帯電話のシステムで採用されている。しかしながら、現状の MIMO システムで使用されるアンテナ数は 2~4 程度であり、将来システムではこれを 8 までサポートする動きがある。さらには massive MIMO といった多素子アレーによるコンセプトも提案されており、第 5 世代(5G)移動通信システムの主要技術として位置づけられている。

本研究では、MIMO 技術をキーワードとして、MIMO 技術を実装したアレーアンテナ技術に関する研究を行った。具体的には、以下の 2 種類の検討を実施した。

【検討 1】 アクティブアレーアンテナを用いた MIMO 伝送に関する検討

近年の通信容量の増大に対応するための基地局用 MIMO アクティブアレーアンテナシステムの研究を行った。アクティブアレーアンテナは、アンテナ 1 つに対して送受信機 1 つを設置する構成をとることで SNR の向上を見込むことができる。本システムの長所を生かし、従来システムにおける弱点を克服する研究を進めた。

a) 装置内基地局キャリブレーション手法の提案とその性能評価

上り回線の信号を利用して送信制御を実現する Implicit Beam Forming (IBF) が提案されている。しかし IBF では、送受信回路の伝達関数を補正するキャリブレーションが必須となる。本研究では、CSI フィードバックを不要とし、任意の信号で、送信を停止することなくキャリブレーションが実現できる手法を提案した。

b) 垂直面マルチビームによる通信品質評価

本検討では、垂直面内セクタ構成によるシステム容量の向上手法を提案した。また、アレー数を変化させた場合のスマートセル用基地局を想定し垂直面内セクタ構成の性能を評価した。基地局建物間距離が 6~18m では、ビーム幅が 7~6°、ビーム数 7 を構成するアレー素子間隔 0.6λ で 12 素子の垂直面アレーが最適であることを示した。

**【検討2】MIMO 伝搬を利用したセンサに関する検討及び人体通信への応用に関する検討**  
本検討では、MIMO で想定される伝搬特性を利用したセンサに関する検討と人体を利用した MIMO 伝送に対する評価を行った。

**a)MIMO 伝搬変動を利用したセンサの同期補償に関する検討**

通常の MIMO システムでは CSI を推定することが必須であるが、CSI が変動すると性能が大きく低下する。本検討では MIMO 伝搬の変動を利用した MIMO センサに関し、その CSI の推定を高精度に実現する Frequency Shift Keying の性質を利用した信号同期法を提案した。信号同期法を用いることで、タイミングとキャリアオフセット誤差をほぼゼロとすることができ、人の部屋の侵入検出および移動方向の推定に関し、非常に高い精度で実現できることを明らかにした。

**b) MIMO 伝送による人体通信の可能性**

近年人体を利用した新しい通信形態が注目されているが、人体をアンテナに見立てた研究は少ない。そこで、アンテナ数を増大させた MIMO を用いた人体通信の可能性を評価した。人体間通信による 2x2MIMO 容量は、SISO 伝送を用いた場合と比較して約 1.6 倍のチャネル容量が得られることが明らかとなり、人体間通信への MIMO 伝送の適用は通信速度向上に有効であることを示した。

**審査結果の要旨**

本論文では、MIMO 技術をキーワードとして、MIMO 技術を実装したアレーアンテナ技術に関する研究を行った。主な検討内容としては、i) アクティブアレーアンテナを用いた MIMO 伝送に関する検討、ii) MIMO 伝搬を利用したセンサに関する検討及び人体通信への応用に関する検討であった。i)では、上り回線を利用したインプリシットビームフォーミングで必要となるキャリブレーション手法を提案し、実環境でその性能評価を定量的に示した。送信 4、受信 4 素子のキャリブレーション値を取得可能な装置を構築し、装置の位相誤差を $\pm 1.5^\circ$ 程度に抑えることを示した。また、得られたキャリブレーション値を用いることにより、所望の合成パターンを実現できるとともに、ヌルの走査も方向によらずほぼ理想どおりに実現できることを明らかにした。ii)では、狭帯域で必要となる MIMO センサ用の同期手法を提案した。信号同期法を用いることで、タイミングとキャリアオフセット誤差をほぼゼロとすることができ、人の部屋の侵入検出および移動方向の推定に関し、非常に高い精度で実現できることを明らかにした。

これらの検討を通じて、高速伝送のみならず、幅広く無線通信技術への発展にこの技術が有用であることを示し、MIMO 技術を実装したアレーアンテナ技術に関する研究の発展に大きく貢献した。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。