

氏 名	ベンジャブール アナス Benjebbour Anass
学位の種類	博 士 (情 報 学)
学位記番号	情 博 第 107 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻
学位論文題目	Efficient Signal Processing Techniques for MIMO Systems (MIMO システムにおける高効率信号処理技術)

論文調査委員	(主 査) 教授 吉 田 進 教授 森 広 芳 照 教授 佐 藤 亨
--------	---------------------------------------

論 文 内 容 の 要 旨

近年、無線通信の普及に伴い周波数利用効率の優れた大容量無線情報伝送システムの必要性が高まっている。これを実現する技術として、送信側受信側共に複数のアンテナを用いる MIMO (Multiple Input/Multiple Output) と呼ばれる伝送方式が注目を浴びている。MIMO 伝送方式では送信側で複数の異なったデータ系列 (以下マルチストリームと呼ぶ) を、同一周波数を用いて同時並列的に送り、受信側では混合受信された信号を分離受信し個々のデータ系列を復調 (以下、マルチストリーム復調と呼ぶ) することにより、周波数利用効率が送信アンテナ数に比例して増加する。これにより、MIMO 技術を利用すれば無線伝搬路上でも Gbit/s 台の高速伝送が実現できる可能性がある。しかし、現状では本方式にはいくつかの課題が残されている。MIMO システムでは周波数利用効率は増加するが、システムのパフォーマンスが伝搬路の性質と受信側の処理に大きく依存する。特に、受信側でマルチストリームが混合受信されるため、伝搬路の情報を用いてマルチストリーム復調技術が必要となる。本論文では、MIMO システム実現に当たって不可欠なマルチストリーム復調とその前提となるチャネル推定について研究を行っている。具体的には、高性能・低演算量のマルチストリーム復調方式と広帯域 MIMO システムのためのチャネルトラッキング法について検討しており、マルチストリーム復調方式としては順次復号方式を取り上げている。そして、順次復号方式の特性を改善するために、適切なメトリックによりマルチストリームの順序付けを行った順序付け順次復号 (Ordered Successive Detection 略して OSD) について考察を行っている。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と本論文の構成について述べている。

第 2 章は研究成果を論ずる準備として、MIMO システムの信号モデルとマルチストリーム復調のために用いられている既知の基本的な方式について説明している。

第 3 章では、順序付け順次復号における順序付けの効果について解析している。具体的に、MMSE (Minimum Mean Square Error) と ZF (Zero Forcing) 基準に基づいた順序付け方式について検討し、それぞれの順序付けメトリックが等価であることを証明している。この結果に基づいて、MMSE に基づく OSD が ZF に基づく OSD より優れた特性を示している理由は MMSE ウェイトが ZF ウェイトに対して優れていることに由来しているだけであり、順序付けの違いが関係していないことを明らかにしている。

第 4 章では、順序付け順次復号の演算量削減法として既知の 2 方式の長所を組み合わせたセミアダプティブ・ウェイト生成法を提案している。これにより、特性劣化がほとんどなく、演算量を送信アンテナ数の 4 乗オーダーから 3 乗オーダーまで削減することが可能であることを示している。

第 5 章では、順序付け順次復号の特性改善のために、2 つの手法を提案している。MMSE ウェイト生成のときに用いる雑音分散の推定法に関して、伝搬路が変動する場合について検討を行い、新たな雑音分散の推定法とトラッキング法を導出している。さらに、OSD の特性に大きな影響を与える最初に復号されるストリームの特性を改善するために新たな繰り返し

し復号アルゴリズムを提案している。以上の提案方式を用いることにより、ウエイト合成に伴う雑音強調を低減することができ、大きな特性改善が可能であることを確認している。

第6章では、広帯域MIMOシステムにおけるチャネルトラッキング法に関して検討している。従来のチャネルトラッキング法は膨大な演算量が必要となっていた。また、簡略化した方式はPSK変調を仮定しているため、QAM変調を用いた場合には特性が大きく劣化してしまう。そこで、従来方式より特性が優れている上に、少ない演算量を必要とする新たなチャネルトラッキング法を提案した。様々な伝搬路条件を仮定して、提案方式をQPSKと16QAMに適用した場合について特性評価を行い、その有効性を明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文で得られた主要な成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は複数の送受信アンテナを用いて周波数の高度有効利用を狙ったMIMO無線伝送システムにおける高効率な信号処理技術に関する研究成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

(1) 複数の送信アンテナから送信された複数の異なるデータ系列を受信側で分離受信するための順序付け順次復号について研究を行った。MMSEとZF基準に基づく順序付け順次復号について比較検討を行い、両者が等価な順序付けメトリックを用いていること、従って、特性の差異は単にウエイトの優劣に起因していることを明らかにした。

(2) 順序付け順次復号受信機において混信したマルチストリームを分離受信するには受信信号の相関行列の逆行列を求める必要がある。これを直接的に求める方法と逐次的に求める方法が知られている。この両者を組み合わせることにより従来手法に比べて演算量を削減しつつ誤り率特性の改善を可能にする、新たなウエイト生成法を提案し、その有効性を明らかにした。

(3) MMSEウエイト生成時の雑音分散の推定法について研究を行い、伝搬路変動がある場合に適用可能な新たな推定法とトラッキング法を導出した。提案手法は伝搬路変動を考慮に入れているため、従来の推定方式より高精度なMMSEウエイトを生成可能であり、優れた特性が得られることを明らかにした。

(4) 順序付け順次復号においては最初に復号されるストリームの特性が全体性能に大きな影響を与える。そこで、最初に復号されるストリームの特性を改善するために新たな繰返し復号方式を提案した。提案方式の特性を既知のいくつかの方式の特性と比較することにより、その有効性を示した。

(5) 低演算量で高精度な広帯域MIMOシステム用チャネルトラッキング法を提案した。従来方式はPSK変調に特化した手法であったが、提案方式はPSK変調とQAM変調のどちらにも適用可能であり、従来方式より少ない演算量で優れた特性を示すことを明らかにした。

以上要するに本論文は、高能率無線伝送技術MIMOを実現する上で不可欠な信号処理について研究を行い、高性能でかつ演算量の削減が可能な手法を明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少ないない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年1月27日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。