

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 MIMO 無線通信システムにおける時空間符号に関する研究
(A study on space-time codes for MIMO wireless communication systems)

熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学 専攻 先端情報通信工学 講座
(主任指導 趙 華安 教授)

論文提出者 福田 龍樹
(by Tatsuki Fukuda)

主論文要旨

本論文では、MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)無線通信システムにおける信号処理について論じ、特に時空間符号に着目する。無線通信システムには高速通信と高信頼性通信が求められている。その要求に応えるのが複数のアンテナを送受信に用いた MIMO 無線通信システムである。MIMO 無線通信システムを支えている数多くの技術の中で特に重要となるのが時空間符号化である。時空間符号化とは、時間領域と空間領域の 2 領域における符号化を行う手法であり、MIMO 無線通信の複数のアンテナを効率よく利用することができる。

第 2 章では時空間符号設計時に用いる高速アルゴリズムを提案した。できる限り性能の良い時空間符号を MIMO 無線通信システムに用いるために行う符号設計時には、符号のペアワイズ誤り率を最小とするための設計基準がいくつかある。その設計基準の中でも重要となるのが行列式基準である。送信符号と検出符号の存在し得るすべての組合せを用いてつくる距離行列と呼ばれる行列の行列式の最小値を求め、その最小値が大きな符号を設計するという設計基準である。しかし、送信符号と検出符号の全組合せを考えることから全探索を行うため、計算量が送信アンテナ数に対して指数関数的に増えていく。そこで、本論文では行列式基準に基づく時空間トレリス符号の設計に着目して、送信符号と検出符号の生成を木構造に表し、不要なノードの共通条件を求めることで分枝限定法の適用を行い、高速に解を求めるアルゴリズムの提案を行った。シミュレーションの結果から、今までは算出不可能であった送信アンテナ数の多い場合についても算出可能にした。

第 3 章では新しい時空間ブロック符号の提案を行った。時空間ブロック符号の一種が直交時空間ブロック符号である。これは符号同士に直交性をもたせることで線形処理によって復号ができる手法であるが、符号レートが低くなるというデメリットがある。そこで、直交性を部分的なものとして復号処理の計算時間を若干増加させる代わりに、符号レートをあげる準直交時空間ブロック符号もある。本論文でも準直交時空間ブロック符号に着目し、従来の時空間ブロック符号の比較によって、Alamouti 構造によりダイバーシチ利得が

大きくなり、また複数のレイヤーを用いることで符号レートが大きくなることがわかったため、複数レイヤーと Alamouti 構造を融合させた新しい ABCD 符号を提案した。ABCD 符号は他の符号と比べて大きい 2 次情報量をもっているため、信頼性を向上させることができた。また、シミュレーションによって、他の符号と比べてビット誤り率が低いことを示した。

第 4 章では、MIMO 無線通信システムにおける信号検出処理の性能を向上させる手法を提案した。送信符号の性能を十分に発揮するためにも検出処理の性能は大きな役目を担っている。検出手法の中で最も検出精度が高い手法が最尤検出(Maximum Likelihood Detection, MLD)法である。しかし MLD 法はすべてのレプリカと受信信号との誤差を算出することで検出を行うため計算量が指数関数となる。そこで MLD 法の計算量を削減した手法が提案された。その 1 つに QR 分解としきい値を用いる手法がある。この手法は、まず QR 分解により送信信号を直交化することで信号 1 つずつの検出を可能にする。これにより検出過程を木構造に表すことができ、さらに各信号の検出においてしきい値を定めることで分枝限定法を適用し、計算量を削減する手法である。そこで、本論文では雑音電力が平均値からばらつくことを考慮したしきい値を提案した。そして、シミュレーションにより、もとのしきい値を用いた場合と比べて検出精度の向上や計算量の削減ができていたことを示した。

第 5 章では時空間符号を MIMO 無線通信システムに適用したシステムについて述べる。MIMO 無線通信システムにおいて、時空間符号は不可欠な技術であるが、さらに直交周波数分割多重方式(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)を融合させた MIMO-OFDM システムは次世代(4G)無線通信を支える技術として知られている。そこで、本章では時空間符号と OFDM 送信技術と MIMO 無線通信技術の融合法を研究し、新しい MIMO 無線通信システムを提案し、高い性能を発揮できることをシミュレーションにより示した。また、5G における技術と考えられている協調無線通信システムについて新しいプロトコルについて研究し、近未来の無線通信システムについて展望した。

最後に第 6 章でこれまでの内容についてまとめ、今後の研究について述べる。