



(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	---

平成 28 年 11 月 24 日

## 学位（博士）論文の和文要旨

論文提出者	工学府博士後期課程 電子情報工学専攻 平成 27 年度入学 学籍番号 15834301 氏名 石川 直樹 
主指導教員 氏 名	金子敬一
論文題目	Space-, Time-, and Frequency-Domain Permutation Modulation Designed for Microwave and Optical Wireless Communications (時間・空間・周波数領域順列変調による電波・可視光通信方式)
論文要旨（2000 字程度）	
<p>本学位論文では、順列変調方式に基づく multiple-input multiple-output (MIMO) 符号化手法を提案する。伝送媒体としてマイクロ波に加え可視光伝搬路も仮定し、無線通信路の包括的な性能改善を目指す。</p> <p>第 1 章では、1965 年に提案された Slepian の順列変調方式を拡張することで、2000 年代初頭から盛んに研究されている低演算符号化手法を包括して表現する。例えば、空間変調方式とサブキャリアインデックス変調方式は順列変調方式の一種とみなせる。既存研究では、それぞれの変調方式が独立に研究されてきた。既存手法が本質的には順列変調系列に属するものであると明らかにし、順列変調方式を広い意味で捉え直す。</p> <p>第 2 章では、マイクロ波・可視光通信路を対象に提案されてきた順列変調方式を包括的に調査する。既存手法を評価するための基準として、最小ユークリッド距離、平均相互情報量、最尤推定計算量を導入する。既存論文で報告されてきた順列変調の利点と欠点を数値シミュレーションにより追試する。</p> <p>第 3 章では、マイクロ波通信を対象として順列変調方式を用いた差動符号化手法を提案する。提案手法は順列行列による疎な符号構成を特徴としており、各行各列に非ゼロ成分がただ一つだけある。この構造により送信機・受信機における演算量が減るため、通信デバイスの簡易化に貢献できる。また、送信ダイバーシティと多重化利得のトレードオフを調整可能とするシステム構成を考案し、数値シミュレーションにより性能利得を裏付ける。</p> <p>第 4 章では、順列変調方式を用いたミリ波送信機の簡易化手法を提案する。ミリ波通信では高い周波数の電波を扱うため、高周波回路の複雑化が課題となる。特にミリ波 MIMO 通信では、アンテナ素子数を増やすほど必要な高周波系統が増えてしまうという潜在的な</p>	

課題がある。ここで、順列変調方式を用いることでミリ波通信デバイスの高周波回路数を削減する。同方式はビームフォーミング利得の点で従来の空間多重方式に対して不利にもかかわらず、制限付き相互情報量の点で等価となる領域があることを明らかにする。

第5章では、順列変調方式を用いた可視光通信システムを提案する。提案手法は送信LEDの発光パターン選択に追加の情報を割り当て、高いレートを実現する。加えて、可視光通信路における相互情報量を定義し、チャンネル符号化手法と組み合わせた場合の性能上界を予測する。符号構成は相互情報量を最大化するように最適化される。送信符号の柔軟な構成により、低い信号対雑音比でエラーフリーの通信を実現できると考えられるため、情報理論的側面から基礎的な特性を明らかにする。数値シミュレーションにより、提案手法は送信レートが高くなるほど、より低い信号対雑音比でエラーフリーな検出が可能となることを示す。

第6章では、順列変調に基づくマルチキャリア通信方式を情報理論的側面から解析する。同方式は一部のサブキャリアを選択的に用いることで送信レートを改善する。送信符号間の最小ユークリッド距離の上界を導出し、OFDMと比較することで性能利得が得られる領域を代数的に導出する。また、既存研究で報告されているピーク対平均電力比の改善効果が限定的であることを証明する。加えて、システムの平均相互情報量を導出し、ターボ符号化を仮定した通信シミュレーションによって性能利得を裏付ける。