

## 学位論文題名

# A Study of Advanced MIMO OFDM Wireless Communication System Based on Realistic Rician Fading

(実環境ライスフェージングモデルに基づくMIMO OFDM 無線通信システムに関する研究)

## 学位論文内容の要旨

In recent years, there have been significant breakthroughs in wireless communication systems design based on the multiple-input multiple-output (MIMO) concept. MIMO technology is considered to be a viable solution for next generation wireless communications. However, conventional MIMO evaluations suffer from limited practical relevance due to simplified assumptions, i.e., about the channel fading model and parameters. Theoretical fading assumptions may yield poor design for actual propagation conditions. In order to bridge the gap between theoretical and real-world performance, a better understanding on how the channel affects the performance of MIMO systems is therefore required to design robust wireless communications. Still, any design has not remain sufficiently to enable the realistic channel adapted implementation.

In this thesis, we focus on the channel-aware performance evaluation and cost-effective wireless communication system design. In the following chapters, we investigate the realistic Rician fading based MIMO channel characteristics and propose several adaptations to improve system performance. The main body of the thesis is organized as follows. Chapter 1 motivates our work and summarizes contribution. Chapter 2 gives a background on wireless propagation, and supports the claims of significant gains achievable with MIMO communication systems in fading environment. Chapter 3 focuses on the measurement-based, i.e., realistic, channel models that have recently been developed through a extensive research effort. The realistic channel model capacity varying a wide range of scenarios with the correlated azimuth spread (AS) and K-factor describes that the typical fading assumptions may distort performance indications in actual channel environment. Chapters 4-7 present our optimized system design based on the realistic fading channel. Chapter 4 is a background for quasi-cyclic low-density parity check (QC-LDPC) code with its simplified parity check matrix structure. QC-LDPC decoding combined with detection is then used in Chapter 7 to cancel interference and converge performance. Chapter 5 discusses popular channel estimation approaches for estimating channel state information (CSI). Both instantaneous CSI (ICSI) estimation and statistical CSI (SCSI) estimation are investigated. Chapter 6 first evaluates conventional zero-forcing (ZF) and minimum mean square error (MMSE) linear detection approaches for realistic Rician fading channels. To enhance performance by efficiently using CSI, we then propose and analyze a new ZF detector accounts for estimated CSI and can obtain better detection performance than the conventional ZF detector. According to the guar-

anteed performance explained above, Chapter 7 presents the advanced achievable performance for a combined MIMO with orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system in the realistic channel model. We first exploit the receiver with an iterative processing. The adaptation for the iterative receiver by iteratively combining detection and decoding, can reduce the unnecessary iteration cost by considering the channel conditions. Then, an effort at transmitter is made. We also develop our analyzed deterministic channel mean to transmitter precoding. Numerical results show similar advantage by applying our new approach as that in detection. Finally, Chapter 8 considers a channel encoder/decoder implementation design for a practical standard (IEEE802.11n) based system. The synthesis implementation results show the benefit of our flexible and compatible design with lower power consumption. Chapter 9 summarizes our results and concludes the remarkable improvement of performance in realistic Rician fading. Possible future work is also suggested in this chapter.

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	宮 永 喜 一
副査	教授	野 島 俊 雄
副査	教授	小 柴 正 則
副査	教授	小 川 恭 孝

## 学位論文題名

### A Study of Advanced MIMO OFDM Wireless Communication System Based on Realistic Rician Fading

(実環境ライスフェージングモデルに基づくMIMO OFDM 無線通信  
システムに関する研究)

本論文では、マルチ入力マルチ出力 (multiple-input and multiple-output (MIMO)) 無線システムの開発において必要な、無線チャンネルの正確な評価やモデル化を行い、さらにはその結果よりコストパフォーマンスの高い無線システムの設計・開発を行っている。

近年の無線通信装置は、MIMO 技術の導入された新しいシステムが開発されており、超高速なデータ通信を実現する無線システムが数多く提案されている。MIMO 技術は、次世代の無線通信システムには、必要不可欠な技術であると考えられている。しかしながら、従来の MIMO の技術開発では、無線通信チャンネルの理論的モデルやそのモデル化が簡略化されたモデルやパラメータを利用しているため、現実のチャンネルとは多少異なり、MIMO システムの評価などに、多くの制限があった。無線チャンネルのフェージング環境を記述している従来モデル (ライスフェージング、レイリーフェージング) では、実環境フェージングを表現するには不十分であり、正しい評価のできていない場合が考えられる。これらの問題を解決するには、新しいモデル化を考え、その上で無線システムを設計・開発することとなる。これにより、実環境でも有効かつロバストな無線通信を実現できるシステムが設計可能となる。

本論文では、実環境により近いライスフェージングモデルに基づいた MIMO チャンネル特性の研究と、無線システムの性能向上に関しての新方式について研究がおこなわれている。

第 1 章では、本研究の目的と全体の概要が述べられている。

第 2 章では、無線伝搬についての基本的な事項について説明し、フェージング環境における MIMO 通信の基本的な特性や性能などについて簡単に説明している。

第 3 章では、測定結果に基づくより実環境に近いチャンネルモデルの設計について述べ、実チャンネル環境のパラメータとして、通信方向の方位角方向の広がりを表すアジマススプレッド (AS) とフェージングの大きさを表す K ファクタを導入し、様々な環境 (インドア、アウトドア等) に対応できる新しい無線通信チャンネルのモデル化を行った。

第 4 章以降では、上記の実環境適合型の無線チャンネルモデルを用いて、より最適で、高効率な無線システムの設計について述べている。

特に第 4 章では、疑似サイクリック Low Density Parity Check (QC-LDPC) 符号化・復号化について述べている。QC-LDPC の MIMO - OFDM システム内への組み込み設計と、そのハードウェア

化について述べ、少ないハードウェアで、LDPC が実現できることを示している。

第5章では、チャネルの推定方法について説明している。チャネルの状態を示す情報としては、瞬時のチャネル状態と、定常的な状態に分け、その両者を推定する方法について説明している。

第6章では、本論文で提案する実環境型ライスフェージングモデルを使って、MIMO デコーダーの設計を行っている。設計には、従来法のゼロフォーシング (ZF) と最小二乗法 (MMSE) を想定し、重みを考慮した新しい ZF を提案し、提案の ZF を含む MIMO-OFDM システムの性能評価等をシミュレーションにより行った。

第7章では、第6章でのシステムをさらに拡張し、受信側で無線チャネルの状況をセンシングし、その情報を送信側で利用することで、効率のよい無線通信を実現する方法について説明している。

第8章は、IEEE802.11n 標準化モデルに対して、上記のシステムを利用した場合の性能評価を行っている。

第9章は、本論文のまとめであり、今後の課題についても述べている。

以上より、本論文では、実環境に適した MIMO 無線チャネルのモデル化とそれに基づく新しい MIMO 無線システムの提案など、十分な成果を挙げている。

これを要するに、筆者は、実環境に適した MIMO 無線チャネルの評価と新しい MIMO 無線システムの開発を行い、様々な環境に対応できる MIMO 無線通信技術を実現し、その有効性を示した。これにより、無線通信処理・無線通信システムの開発・実現に関する多くの有益な知見を得ており、情報科学・工学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって筆者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。