

# A Study on PAPR Reduction in DFDM Wireless Systems

(OFDM無線システムにおける PAPR 抑圧法に関する研究)

## 学位論文内容の要旨

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) has well known advantages such as robustness against frequency selective fading and narrowband interference, high efficiency on bandwidth, and efficient implementation. Recently, OFDM has been widely used in digital audio broadcasting (DAB), digital video broadcasting-terrestrial (DVB-T), mobile multimedia access communication (MMAC), IEEE802.11a/g/n, IEEE802.16 and IEEE 802.20.

A major drawback of OFDM is a large peak to average power ratio (PAPR) which causes a nonlinear distortion. Owing to a large PAPR, the bit error rate (BER) performance of an OFDM system becomes degraded. Several techniques to reduce PAPR have been proposed. These techniques have been known as amplitude clipping and filtering, peak cancellation, coding, interleaving, selective mapping (SLM), tone reservation (TR) and tone injection (TI), active constellation extension (ACE), partial transmit sequence (PTS) and cascade adaptive peak power reduction (CAPPR) approach. Among these conventional methods, PTS and CAPPR have been considered as high efficient PAPR reduction methods. However, it is difficult to get large PAPR reduction only by using PTS. On the other hand, CAPPR cannot suppress out-of-band radiation where PTS realizes lower out-of-band radiation than CAPPR.

This thesis propose a new PAPR reduction technique. This technique employs the hybrid of PTS and CAPPR methods with coded side information technique. In the proposed method, an input data block is partitioned into the disjoint sub-blocks. Additionally, a codeword which constructs the vector set of phase rotations is prepared by using genetic algorithm (GA). It is called a coded side information table. The sub-carriers in each sub-block are weighted by phase rotations after the phase rotations are properly selected from a coded side information table. The modified input data are then fed to CAPPR process. The input data with the minimum PAPR are selected after CAPPR is applied to OFDM signals. Using these two methods at the same time, the high efficiency of PAPR reduction can be obtained and high BER property can simultaneously be realized.

# 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 on PAPR Reduction in DFDM Wireless Systems

(OFDM無線システムにおける PAPR 抑圧法に関する研究)

本論文では、直交周波数分割多重方式 (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, 以下 OFDM と略) における重要な課題の一つである、伝送信号に対する信号のピーク時とその平均値との比 (peak-to-average power ratio, 以下 PAPR と略) を抑圧する手法について研究し、いくつかの新技术を提案している。

OFDM は、周波数選択性フェージングに対するロバスト性や、効率的な実装実現、帯域外への低干渉と周波数帯域の効率的な利用など、いくつか利点がすでに知られている。そのため最近では、OFDM 方式が広く活用されており、デジタルオーディオ放送 (DAB)、地上波デジタル放送、モバイルマルチメディアアクセス通信 (MMAC)、IEEE802.11a/g/n、IEEE802.16 および IEEE 802.20 などのシステムにおいて採用され、実用的なシステムも開発されている。

しかし、OFDM の欠点として、非線形歪みの原因となる大きな PAPR が伝送信号において発生するという問題がある。大きな PAPR は、信号のダイナミックレンジが大きいことを意味しており、そのため、一般的なアナログ増幅器やアナログフィルタなどを通して通信を行う無線システムでは、伝送信号のピークが大きく歪むこととなる。これにより OFDM システムのビットエラー割合 (Bit Error Ratio, 以下 BER) が増加し、無線システムの性能劣化の原因となる。従来からも、この PAPR を抑圧する手法は提案されており、その中では部分伝送信号変換手法 (partial transmit sequence, PTS)、とカスケード型適応ピーク電力低減 (CAPPR) アプローチなどが代表的な手法として利用されている。

本論文では、これらの従来手法の実験的評価を行い、従来手法よりさらに効率のよい PAPR 抑圧手法を提案している。

本論文は、全体で 7 つの章で構成されている。第 1 章は、本研究の背景など記述した「まえがき」部分である。第 2 章は、OFDM の基本事項について述べた章であり、OFDM のシステム概要と各モジュールの説明、モジュールの特徴に対する解説などを行っている。さらに後半の部分では、アナログ系も考慮した、PAPR に関する問題点を明確に示している。

第 3 章では、従来の PAPR 抑圧法について説明をしている。ここで解説されている手法は、(1) Amplitude Clipping and Filtering, (2) Peak Cancellation, (3) Coding, (4) Interleaving, (5) Selective

Mapping, (6) Tone Reservation, (7) Tone Injection, (8) Active Constellation Extension, (9) Partial Transmit Sequence (PTS), (10) Cascade Adaptive Peak Power Reduction (CAPPR) である。この中で, CAPPR と PTS が有効性の高い手法であると紹介されている。しかし, CAPPR は, 抑圧性能が良好であるが, 一方では伝送信号に歪みを生じる手法であること。PTS は, 伝送信号に歪みを発生させない優れた手法であるが, PAPR の抑圧率があまり高くないという問題を有することも述べている。

第4章では, 新手法として, PTS と APPR の組み合わせた手法について提案している。PTS の伝送信号に歪みを残さないメカニズムをそのまま生かし, ピーク信号が発生する近傍の信号を徐々に抑圧 (APPR) する技術を同時に実現し, 高い PAPR 抑圧率と, 少ない信号歪みを同時実現した。

第5章では, 第4章で述べた新しい PAPR 手法を導入した OFDM システムの提案を行った。ここでは, PTS の能力を引き上げるには, 送信機と受信機間で送りたい信号のほかに, 制御信号を送信する (サイド情報伝送) 必要が出てくる。その制御信号は, 結果として, スループットを低減することとなり, システムの性能が低下する。そこで, サイド情報をコードブック化することにより, 制御信号のビット数を大幅に削減し, そのサイド情報を伝送するシステムに改良した, これにより, システム全体のスループットを下げずに, PAPR 抑圧が可能となった。

第6章では, 第5章で紹介した PAPR 抑圧モジュール搭載の OFDM システムの評価を行い, より最適なシステム構成とするため, 第5章で提案したサイド情報のコードブック化で利用するコードブックを遺伝子アルゴリズムにより最適実現し, 最適な PAPR 抑圧と最良の信号歪み特性を同時実現するシステムの改良を行った。これにより, 従来手法より大きな PAPR 抑圧を実現しながら, 本来のスループットを維持し, BER の悪化を抑えたシステムが実現できた。

以上の事より, 本論文では, 伝送される信号の大きなダイナミックレンジによる信号歪み問題を解決するいくつかの手法を提案・開発・実現・評価しており, OFDM 無線通信システムに関する研究において, 十分な成果を挙げている。

これを要するに, 筆者は, OFDM 無線通信システム固有の問題であった PAPR 問題について検討し, その抑圧手法について新たな方式提案とその開発を行い, 無線通信のデジタル方式設計において, 新しい信号処理技術を実現し, その有効性を示した。これにより, 無線通信処理に関する多くの有益な知見を得ており, 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。