

論文の内容の要旨

論文題目 **Analysis and Reduction of Peak-to-Average Power Ratio in OFDM Systems**

(和訳 OFDM システムにおけるピーク対平均電力比の解析および低減手法)

氏 名 落合 秀 樹

直交周波数分割多重方式 (OFDM) は周波数選択性のフェージング通信路に強く、また周波数利用効率に優れているため、デジタル放送等の無線通信分野を始めさまざまな分野での適用が検討されている。しかしながら、OFDM の信号波形はガウス状であるため線形増幅が困難であり、電力の利用効率の劣化が非常に大きな問題となっている。従って、信号のピーク対平均電力比 (PAPR) を低減させることが OFDM システムの実用化における最も重要な課題の一つである。

本論文では、OFDM 通信方式のピーク電力の問題について、理論的解析を行うとともに、その低減方法について検討および評価を行った。本研究により得られた主な結果は以下のとおりである。

1. 帯域制限された OFDM 信号のピーク対平均電力比 (PAPR) の分布の理論式の導出

OFDM 信号は、キャリア数が大きくなれば、中心極限定理によりその分布はガウス分布に近づくことが経験的に確認されており、そこで本研究では、OFDM 信号を狭帯域ガウス過程で近似して PAPR の分布を理論的に解析した。複素ガウス過程の包絡線変動の分布の厳密な理論式は複雑であるため、レベルクロス回数に基づいた近似手法を用いて導出を試みた。その結果、OFDM 信号の PAPR は漸近的に非常に簡単な数式で表現できることを明らかにした。また得られた結果は、実際にシミュレーションで得られたものと一致することを確認した。

2. OFDM 信号のピーク電力を下げる誤り訂正符号の提案

各キャリアが位相 (PSK) 変調される OFDM 信号に対し, PAPR を制限できるブロック符号の構成方法を提案した. 生成された符号は, 誤り訂正能力を持つため, ピーク電力を下げると同時に誤り訂正を行うことができる方式である. また, 順序統計復号に基づく軟判定復号法も提案した. 本復号法は計算量の点で非常に効率が良く, 従って各キャリアの変調の多値数が 8-16PSK 程度と大きくなっても計算量の負担の増大なく復号が可能である. ただし, 本符号方式は, OFDM 信号のキャリア数が大きくなると符号化率が大きく劣化するため, キャリア数が比較的少ない OFDM システムに有効であると考えられる.

3. クリッピングによる OFDM 信号の PAPR の低減効果の検討および特性劣化の理論的評価

キャリア数が大きい場合に PAPR を低減させる簡単なものとして, OFDM 信号をデジタルの段階でクリップしてその後 (電力アンプで増幅する前に) フィルタを通して帯域外の成分を除去して伝送する方法が提案されている. この場合,

- (a) フィルタによるピークの再発
- (b) クリッピングによる特性劣化

の 2 点が問題となる. 本研究では, これら 2 点を OFDM 信号のガウス近似を用いて理論的に考察した. (a) に対しては, クリップされたガウス信号の, ローパスフィルタ通過後の瞬時電力の分布を解析してその有効性を評価した. その結果, OFDM 信号は, オーバサンプリングしたものをクリップして, フィルタに通過させることがピーク低減の点から重要であることを明らかにした. また, (b) に対しては, 非線形伝搬路における通信路容量を理論的に示すことにより, OFDM 信号をクリップすることにより生じる非線形歪み成分および特性劣化を定量的に予測できることを示し, またその結果ターボ符号のような強力な誤り訂正符号を適用すれば, 各キャリアの変調方式を適切に定めることによりビット誤り率の劣化を大きく軽減できることを明らかにした.