



OFDM 伝送におけるピーク電力低減方法に関する研究

OFDM は近年、多くの無線通信システムで採用されている重要な基礎無線伝送技術の1つである。OFDM の実用化における課題の1つであるピーク電力低減方式に関して研究を行った。なお、本研究は岡山大学大学院 自然科学研究科 モバイル通信学研究室（秦 正治教授，富里 繁准教授）との共同研究により実施した。

先進技術研究所 藤井 啓正 吉野 ひとし

1. まえがき

3GPP-LTE（3rd Generation Partnership Project-Long Term Evolution）に代表される近年の移動通信システムをはじめとして、無線 LAN（IEEE 802.11：Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11）、地上波デジタル放送（ISDB-T：Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial）など、最近の多くの無線通信システムにおいて、基本的な伝送方式として直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）が採用されている。これは、近年の伝送速度の高速化に対するニーズに起因している。高速伝送を行うには、より短い時間で1つの信号を送る必要があり、その場合、建物からの反射波などによる受信品質の劣化が大きくなる。OFDM は、低速のサブキャリアを複数束ねて伝送することにより、反射波などによる影響に対して耐性が高い方式となっている。

一方、OFDM を実現するうえで、送信信号中に平均電力に比べて非常に大きな電力をもつ信号（以下、ピーク信号）が発生するという問題がある。このような過大な信号が送信電力増幅器などに入力されると、出力信号に歪みが発生し、伝送品質の劣化や隣接システムに対する干渉の原因となる。入出力特性の優れたデバイスを用いることにより、大きなピーク信号に対しても歪みを小さくすることが可能であるが、消費電力の増加につながる。このため、送信信号に発生するピーク信号は小さいことが望ましい。

従来、このピーク信号の抑圧に対して、さまざまな方式が提案されている。筆者らは、ピーク電力低減効果が大きく、ピーク低減に関する制御情報が不要なクリッピング^{*1} & フィルタリング^{*2}を用いたピーク低減方法について検討を行ってきた[1]。さらに、これらの方式における処理量やピーク低減効果の改善を図り、より効果的な OFDM 伝送方式

を確立するため、次の2つのピーク低減に関する方式を新しく提案した。

- ・ピーク低減信号用サブキャリアに対する段階的ピーク低減信号生成方法
- ・移動端末への適用を考慮したピーク低減方式における処理量削減方法

本研究では、クリッピング&フィルタリングを用いたピーク低減方法において、先行して研究を進めていた岡山大学大学院 自然科学研究科 モバイル通信学研究室と共同で研究を進めた。

本稿では、初めに、OFDM の基本原理とピーク信号の発生メカニズムに関して説明する。次に、これら2つのピーク電力低減方式について解説する。

2. OFDM とピーク電力低減方法

OFDM が適用された送信機の構成を図1に示す。デジタル通信で

*1 クリッピング：入力された信号の中で一定以上の大きさをもつ信号を規定のレベルに置き換えて出力する処理。

*2 フィルタリング：入力された信号の周波数成分の割合を変化させた信号を出力する処理。

は、すべての情報（音声、ファイルなど）は0か1の情報ビット列として送信される。この情報ビット列は、シンボルマッピング部にてベクトルで表されるシンボルにマッピングされる。マッピングの方法は、4位相偏移変調（QPSK：Quadrature Phase Shift Keying）^{*3}、16値直交振幅変調（16QAM：16 Quadrature Amplitude Modulation）^{*4}などの変調方式に依存する。続くIFFT（Inverse Fast Fourier Transform）^{*5}処理部には、複数のシンボルが同時に入力され、これらはそれぞれ個別のサブキャリアで並列して伝送される。サブキャリアとは、搬送波周波数の異なる正弦波であり、送信されるシンボルの種類に応じて各サブキャリアの位相や振幅が設定される。そして、これらの信号が合成されOFDM信号が生成される（図2）。

IFFT部には、一度に多くのシンボルが入力されるため、さまざまなシンボルの組合せの種類が存在し、送信するシンボルの組合せによっては、非常に大きなピーク信号が発生する。

従来、ピーク低減を行う方式として、クリッピング&フィルタリング法が提案されている[2]。クリッピング（ピーク信号のカット）を行うと、信号の電力に比べ小さいレベルではあるが、占有帯域内^{*6}と帯域外にピーク低減信号（不必要な成分）が発生する。特に、帯域外に輻射されるピーク低減信号は、他システムへの干渉の原因となるため、厳しく制限されている。クリッピング&フ

ィルタリング法では、フィルタリングにより帯域外のピーク低減信号が抑圧される。また、ピーク低減処理は、クリッピング&フィルタリングを繰り返し行うことで、データ信号へ与える雑音を抑えつつ、大きなクリッピング効果を得ることができる。

3. ピーク低減信号用サブキャリア生成方式

3.1 提案方式

従来、一部のサブキャリアを信号の伝送に用いずに、ピーク低減信号専用とすることで、大きなピーク低減効果を得られることが知られている。

筆者らは以前、クリッピング&フィルタリング方式を用いて、ピー

ク低減信号専用サブキャリアへ挿入する信号を生成する方法を提案した[3]。

この方法を用いる場合、帯域外に加え帯域内でのピーク低減信号の周波数成分の抑圧を可能とするため、図1におけるIFFT処理部の前段に図3に示すピーク低減部を設ける構成とする。新たに設けられたピーク低減信号生成部では、IFFT処理部で時間信号を生成し、ピーク信号検出部で時間信号中のピーク信号のみを抽出する。

そして固定スレッショルド方式では、FFT^{*7}処理部でピーク信号の周波数成分を求め、データ伝送を行う信号帯域においては、データ信号の受信に問題とならないレベルのみを許容し、ピーク低減信号専用サブキ

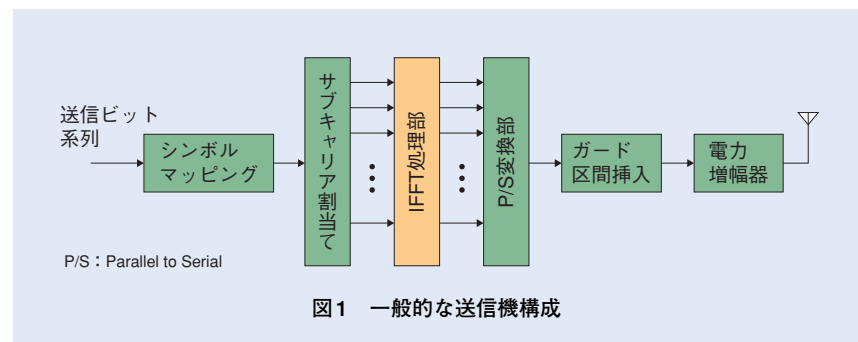


図1 一般的な送信機構成

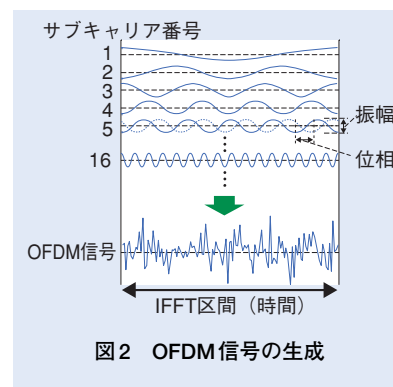


図2 OFDM信号の生成

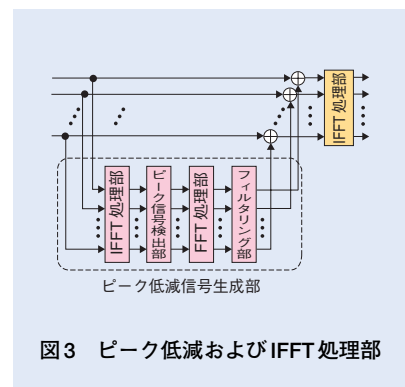


図3 ピーク低減およびIFFT処理部

^{*3} 4位相偏移変調（QPSK）：電波の位相を4つのパターンに変化させることで信号を送信する方式。この場合シンボルの種類も4種類であり、1シンボルで2bitの情報伝送される。
^{*4} 16値直交振幅変調（16QAM）：電波の振

幅と位相の組合せを16個のパターンに変化させることで信号を送信する方式。この場合シンボルの種類も16種類であり、1シンボルで4bitの情報伝送される。

^{*5} IFFT：逆高速フーリエ変換のことで、入力された周波数成分（離散データ）に対

する時間信号系列を効率よく計算する方法。なお、IFFTのポイント数とは、変換処理を行う際の前述の離散データ数のこと。

^{*6} 占有帯域内：あるシステムに対して割り当てられている周波数帯域。

キャリアについては、より大きなレベルの信号を許容するようにフィルタ処理を行う (図4(a)). これは、ピーク低減信号が許容されるレベルが高いほど、ピークの低減効果は向上するが、ピーク低減信号がデータ信号の伝送においては、雑音となるためである。

この固定スレッシュホールド方式に対し、さらにピーク低減効果を向上させるピーク低減信号生成法 (段階的スレッシュホールド方式) の提案を行った[3]. 具体的には、ピーク低減処理を2段階で行う場合、初段のピーク低減信号生成時には、ピーク低減サブキャリアのみに対してピーク低減信号を許容するようにし、続く後段のピーク低減信号生成時には、データ伝送信号帯域へもピーク低減信号が加算されることを許容する (図4(b)). これにより、ピーク低減サブキャリアに挿入される信号によるピーク低減効果を、より引き出すことが可能になる。

3.2 特性評価

段階的スレッシュホールドおよび固定スレッシュホールド方式を行った場合の信号の平均電力で規格化したピーク電力 (PAPR: Peak to Average Power Ratio) の, CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) 特性を図5に示す. ここでCCDFとは、生成されたOFDMシンボルにおいて、横軸の値を上回るPAPRをもつ信号が発生する確率である. また、ピーク低減処理を行わない場合の特性も併せて示す. さらに

に、本評価においては、ターゲットとするPAPRを6dB程度とした。

この結果より、段階的スレッシュホールドを用いることで、ほぼターゲットとするレベルまで低減できるが、固定スレッシュホールドを用いた場合には、 $CCDF=10^{-4}$ において、ターゲットとするレベルよりも3dB大きなピークが発生することが分かる. このため、同様の帯域外輻射を達成するには、固定スレッシュホールドを用いると、2dB程度大きなダイナミックレンジ^{*8}の電力増幅器が必要になる。

このようにスレッシュホールドを段階的に変化させることで、低減サブキャリアによるピーク低減効果をより向上させることができることが分かる。

4. ピーク低減方式における処理量削減方法

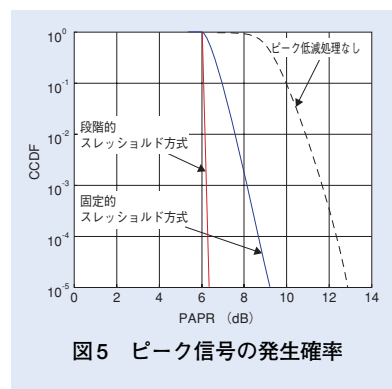
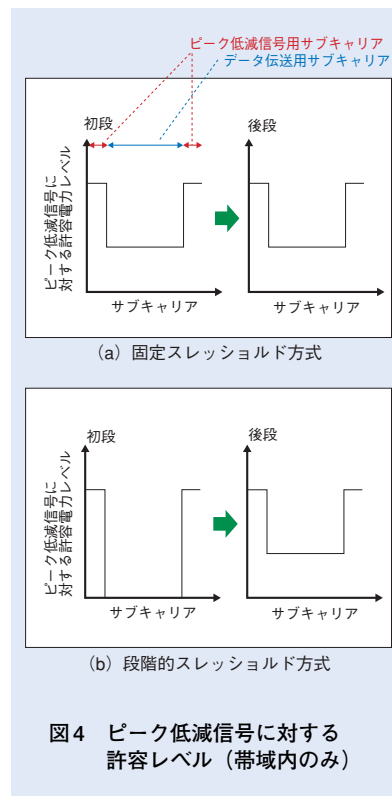
4.1 提案方式

PAPR低減方式を適用する際の課題の1つとして、処理量が挙げられる. 特に、移動通信システムの上り伝送では、移動端末においてピーク低減処理を行う必要があるが、移動端末では電力消費や処理能力の制限が厳しいことから、ピーク低減処理の適用による処理量の削減は重要な課題となる。

また、上りOFDM伝送においては、複数のユーザが同一帯域を共有することが多く、この場合、1ユーザはすべてのサブキャリアの中から割り当てられた、一部のサブキャリアのみを使用する. ここでのサブキャリアの割当方法としては、プロッ

ク型の割当てが用いられるものとする (図6).

移動端末におけるピーク低減処理の処理量削減に関して、ピーク低減処理およびIFFT処理部の構成を提案した (図7) [4]. この構成では、初段のピーク低減処理時には、用いるFFTおよびIFFTのポイ



*7 FFT: 高速フーリエ変換のことで、入力された時間信号系列における周波数成分を効率よく計算する方法。

*8 ダイナミックレンジ: 入力された信号を歪みなく処理できる入力信号の範囲。

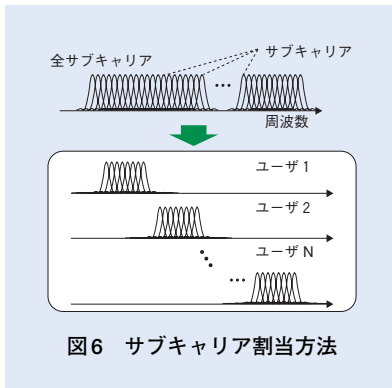


図6 サブキャリア割当方法

ント数が少ない状態で行い、後段においては、FFTおよびIFFTのポイント数を増やす。このようにすることで、初段におけるピーク低減信号生成部を、少ないポイント数のFFTやIFFTなどで構成できるため、処理量削減効果を見込むことができる。ただし、初段でのFFTポイント数を過度に少なくすると、許容されるピーク低減信号の量や挿入されるサブキャリアが制限されることにより、ピーク低減効果の減少やBER (Bit Error Rate) の劣化が生じる可能性がある。

4.2 特性評価

ピーク低減信号生成の繰返回数に対するピーク低減効果の評価結果を図8に示す。本評価では、総サブキャリア数を1,024、1ユーザ当りの使用サブキャリア数を64とした。また、処理量削減時では、最終段以外のピーク低減処理を図中に記載のポイント数で処理した。

図より、初段のピーク低減処理のFFTを256ポイントで行うことで、処理量の低減を行わない場合とほぼ同等のPAPRの低減効果が得られる

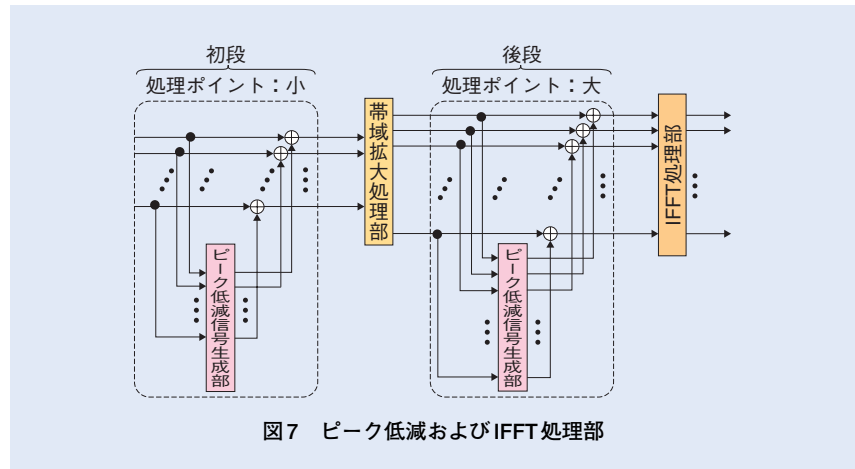


図7 ピーク低減およびIFFT処理部

ことが分かる。

また、(I) FFTの実装方式にも依存するが、初段の処理を256ポイントで行う提案方式では、4回繰返し時、1,024ポイントの処理を2回繰返す場合よりも小さい処理量で実現することが可能である。

また、BERの劣化についても検討を行い、処理ポイント数をユーザが使用するサブキャリア数の約2.5倍以上とすることで、BERの劣化がほぼ生じないことを確認した[5]。

5. あとがき

本稿では、OFDMの実用化における課題の1つであるピーク電力低減に関して、フィルタリング&クリッピング法に基づくピーク低減信号生成法およびその有効性について概説した。今後は、本検討の成果を次世代移動通信システムの検討に活かしていきたい。

文 献

- [1] 藤井, ほか: “OFDM伝送におけるピーク低減方法に関する研究,” 本誌,

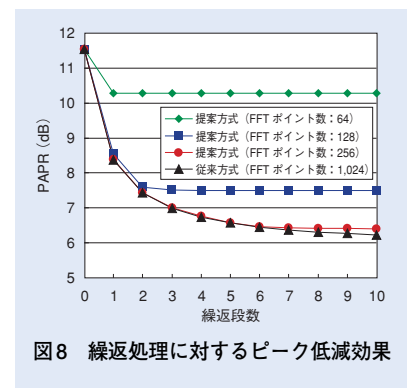


図8 繰返処理に対するピーク低減効果

Vol.14, No.4, pp.49-52, Jan. 2007.

- [2] X. Li and J. Cimini: “Effect of clipping and filtering on the performance of OFDM,” IEEE Commun. Lett., Vol.2, No.5, May 1998.
- [3] R. Toba, S. Tomisato, M. Hata, H. Fujii and H. Yoshino: “A Two-Stage Generating Method of Peak Power Reduction Signals for OFDM Transmission,” Proc. IEEE APWCS 2008.
- [4] K. Fujimoto, N. Tominaga, S. Tomisato, M. Hata, H. Fujii and H. Yoshino: “An Intermediary Over-Sampling Method in Iterative Peak Power Reduction for Wireless OFDMA Systems,” Proc. IEEE APWCS 2008.
- [5] 藤本 和彦, 富永 直, 富里 繁, 秦 正治, 藤井 啓正, 吉野 仁: “計算量削減 BERの評価,” 信ソ大, B-5-66, 2008.