

クリッピングとフィルタリングによる FBMC 信号のピーク電力低減効果

1200317 佐藤 樹 【ワイヤレスネットワーク研究室】

1 はじめに

第5世代移動通信の導入が進む中で、無線通信分野ではより高速な通信や高い周波数利用効率、低消費電力化が求められている。オフセット QAM (offset quadrature amplitude modulation: OQAM) を用いるフィルタバンクマルチキャリア (filter-bank multicarrier: FBMC) 方式である OQAM-FBMC 方式は周波数利用効率が高いことから次世代通信の方式として注目されている。しかし、OQAM-FBMC 方式のようなマルチキャリア伝送ではピーク電力が高いという欠点がある [1]。

本研究では、OQAM-FBMC 方式にクリッピングとフィルタリング (clipping and filtering: CAF) を適用してピーク電力の低減を行う [2]。CAF を適用してピーク電力の低減を行った際に、CAF が帯域外エネルギーに及ぼす影響を定量的に明らかにする。

2 FBMC 信号と PAPR

OQAM-FBMC 方式の送信信号 $x(t)$ は次式で表される。

$$x(t) = x^{(R)}(t) + \delta(t - \frac{1}{2}T) * x^{(I)}(t) \quad (1)$$

このとき、 $x^{(R)}(t)$ 、 $x^{(I)}(t)$ は次式で与えられる。

$$x^{(R)}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(t-nT) \sum_{m=0}^{M-1} e^{j2\pi \frac{m}{T} t} j^m b_{m,n}^{(R)} \quad (2)$$

$$x^{(I)}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(t-nT) \sum_{m=0}^{M-1} e^{j2\pi \frac{m}{T} t} j^{m+1} b_{m,n}^{(I)} \quad (3)$$

ここで、 m ($m = 0, 1, \dots, M-1$) はサブキャリア番号、 M はサブキャリア数、 $b_{m,n}$ は m 番サブキャリアによって伝送される n 番 QAM メッセージシンボル、 $b_{m,n}^{(R)} = \text{Re}[b_{m,n}]$ 、 $b_{m,n}^{(I)} = \text{Im}[b_{m,n}]$ はそれぞれ実部と虚部、 T [s] はメッセージシンボル長、 $h(t)$ は文献 [3] で用いられている PHYDYAS フィルタである。

OQAM-FBMC 信号のピーク対平均電力比 (peak-to-average power ratio: PAPR) は次式で定義される。

$$\text{PAPR}_n = \frac{\max |x_n(t)|^2}{E\{|x(t)|^2\}} \quad nT \leq t \leq (n+1)T \quad (4)$$

PAPR_n を確率変数として扱い、その分布を評価する。一般には PAPR_n があるしきい値を超える確率、つまり PAPR_n の相補累積分布補完数 (complementary cumulative distribution function: CCDF) によって評価を行う。

3 Clipping and filtering (CAF)

クリッピングとは、入力された信号の中でしきい値以上の大きさの振幅を規定レベルに置き換える処理のこ

とである。OQAM-FBMC 信号 $x(t)$ の位相を $\phi(t)$ 、しきい値を A とすると、クリッピング後の信号は次式で表される。

$$\tilde{x}(t) = \begin{cases} x(t), & |x(t)| \leq A \\ Ae^{j\phi(t)}, & |x(t)| > A \end{cases} \quad (5)$$

しきい値と信号の実効値の比はクリッピング比と呼ばれ、次式で定義される。

$$\gamma = \frac{A}{\sqrt{E\{|x(t)|^2\}}} \quad (6)$$

OQAM-FBMC 信号をクリップすると、帯域外歪み成分が発生する。帯域外歪み成分をフィルタで除去する手法がフィルタリングである。本研究のフィルタリングでは、OQAM-FBMC 信号のスペクトルの帯域外歪み成分を 0 に置き換え、IDFT (inverse discrete Fourier transform: 逆離散フーリエ変換) を施す。

4 検証結果

サブキャリア数は $M = 512$ 、メッセージ変調は 16QAM とする。図 1 にクリッピング比と帯域外電力レベルの関係を示す。本研究では、帯域外電力レベルを信号帯域幅の 10% 相当離れた周波数での電力レベルで定義する。図 1 から、帯域外電力レベルを -50 dB にするには γ が約 1.7 で、そのときの PAPR は約 9 dB である。OQAM-FBMC 方式に CAF を用いることで PAPR を減らす効果があるが、帯域外電力レベルに大きな影響を与えてしまうため、OQAM-FBMC 方式に適用するには改善が必要である。

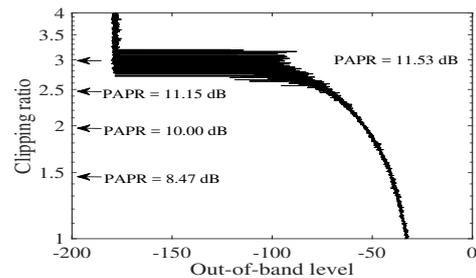


図 1 CAF が帯域外電力に及ぼす影響

5 まとめ

本研究では、OQAM-FBMC 方式に CAF を適用する際に、クリッピング比が帯域外電力に及ぼす影響を明らかにした。

参考文献

- [1] 牟田修, “MIMO 無線通信システムのためのピーク電力抑制方式,” TELECOM FRONTIER, No.99, 2018.
- [2] 落合秀樹, “OFDM システムにおけるピーク電力低減技術,” 信学技報, WBS2006-34, pp.25-30, Oct. 2006.
- [3] M. Bellanger, “FBMC physical layer: a primer,” Technical report, PHYDYAS, 2010.