

MC-CDMA 通信システムの特性に関する一検討

日大生産工(院) ○加瀬 裕真 元日大生産工 田中 將義
日大生産工 関 智弘

1 まえがき

近年のワイヤレス通信は直交周波数分割多元接続 (OFDMA) が主流である。将来の Internet of Things (IoT) 社会の普及に伴い、多くの通信端末との多元接続方式が必要になると予測される。その様な中で限りある周波数帯域幅に複数ユーザを収容するには限界がある。そこで複数ユーザを符号で識別することで同一帯域を共用できる符号分割多元接続(CDMA)とOFDMAを組合せたマルチキャリア(MC-)CDMAが有効と考えられる¹⁻³⁾。本稿ではMC-CDMAの通信品質について、ビット誤り率(BER)特性をもとに検証した。本システムを移動体通信の下り回線を使用することを想定している。その際の品質劣化の一因にマルチパスフェージングがある。またマルチキャリア伝送であるため、電力増幅器(HPA)の非線形特性の影響を受けやすい。そこで今回はこれらによる通信品質への影響について計算機シミュレーションによって明らかにしたので報告する。

2 MC-CDMAの解析モデル

図1に解析に使用したMC-CDMAのモデルの構成を示す。送信側では各ユーザに伝送するデータをディジタル変調する。その後ユーザ毎に割り振られた拡散符号を乗算する。本検討では符号同士が直交関係にある直交可変拡散係数(OVSF)符号を使用した。以上までの信号処理をユーザ毎に行い、これらを多元化してOFDM変調する。このOFDM信号波を伝送路に送信する。

受信側では送信側とは逆の操作を行う。送信側から送られた信号をOFDM復調し、送信時で乗じた拡散符号を再度乗算して累積積分をすることで目的の変調シンボル以外を取り除く。最後のディジタル復調で送信データを得る。

表1にMC-CDMA及びOFDMのパラメータを示す。本稿では多元化するユーザ数を8とし、1次変調はQPSKと16QAMとした。各方式ともに誤り訂正符号(FEC)を使用し、符号化率を1/2とした。マルチパスフェージングチャネルモデルとして、熱雑音(AWGN)に加えてレイリー分布に基づく Extended Pedestrian

A²⁾モデルを使用した。歩行速度を想定し、ドップラ周波数を5 Hzとした。また、HPAの非線形モデルは式(1)に示す Rapp モデルを使用した。

$$F_{AM/AM}(u) = \frac{u}{\left(1 + \left(\frac{u}{O_{sat}}\right)^{2S}\right)^{1/2S}} \quad (1)$$

但し、 u は信号の振幅、 S は平滑度係数、 O_{sat} は出力飽和レベルである。本検討では $S=0.5$ 、 $O_{sat}=1$ としている。図2に本モデルの入出力特性を示す。 P_{in} と P_{out} はそれぞれ HPA の入力電力と出力電力である。

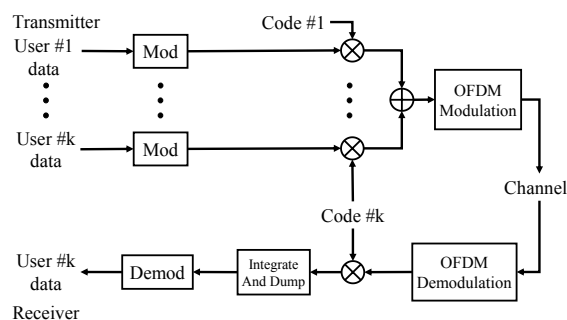


図1. MC-CDMA モデルの構成図

表1. 解析モデルのパラメータ

Parameters	Value / Characteristics	
	MC-CDMA	OFDM
Number of subcarriers (Data + Pilot + DC null)	69 (64 + 4 + 1)	
Number of FFT	128	
Modulation	QPSK and 16QAM	
FEC coed (Code rate)	Convolutional (1/2)	
Guard Interval	0.91 μ s	
Equalization scheme	Zero Forcing (ZF)	
Spreading Code	OVSF code	-
Spreading Factor	8	-
Multiplicity	8	-
Channel	AWGN & Rayleigh Fading	
Doppler Frequency	5 Hz	
Nonlinear model	Rapp model	

Study on Characteristics of MC-CDMA Communication System

Yuma KASE, Masayoshi TANAKA and Tomohiro SEKI

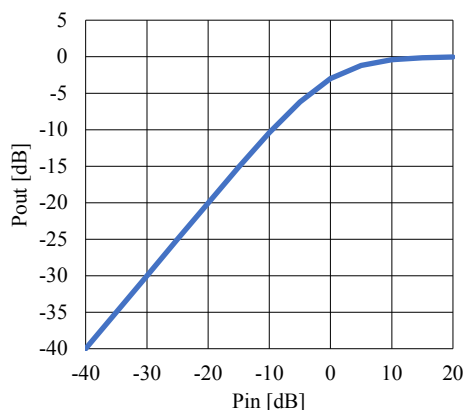


図2. HPAの非線形モデルの入出力特性

3 解析結果

図3に1次変調をQPSKとしたときのマルチパスフェージングによるBER特性への影響を示す。横軸の E_b/N_0 は1 bit当りの信号エネルギーと雑音電力密度との比であり、この値が大きいほど雑音が少ないことを示す。同図より、熱雑音のみではBER特性の差は見られないが、マルチパス環境では $E_b/N_0 > 8$ dBになるとMC-CDMAの方が良好な特性を示す。図4に示す16QAMでの特性については、熱雑音のみの場合ではQPSKと同様に差が見られないが、マルチパス環境においてはOFDMの方がおよそ2 dBほど優れた特性を示すことが分かる。16QAMのような多値変調方式では信号空間配置上でのシンボル同士の間隔が狭くなるため、熱雑音や干渉の影響を受けやすい。スペクトラムの変動時にユーザ間干渉が現れたことで正しく復調できなかったことによるものと考えられる。以上より変調方式が多値になるほどBERが劣化するとと言える。

図5にHPAの非線形特性の影響を受けたときのBER特性および出力バックオフ(OBO)を変化させたときの特性の変化を示す。なお、1次変調は16QAMとした。両方式ともに非線形性によりBERが劣化していることがわかる。これを改善するためHPAの線形領域の使用が必須となり、OBOが必要となるがこの値が大きくなるほどHPAの電力効率が低くなる。線形時と同等のBERを達成するにはおよそ24 dBのバックオフが必要となる。すなわち両方式とも電力効率が低いと言える。加えてMC-CDMAでは非線形性によって符号同士の直交性が崩れたことでOFDMよりもBERが劣化したと考えられる。

4 まとめ

本稿では同一帯域幅を共用できるMC-CDMAのマルチパスフェージングおよびHPAの非線形特性の影響による通信品質の変化についての検討を行った。その結果、変調方式が多値になるほどマルチパスフェージングの影響を受けやすくなることを示した。そしてHPAの非線形性によるBERの劣化によりOBOが必要となり、電力効率が低くなる。加えてMC-CDMAでは非線形性によりユーザ間の直交性が崩れ、OFDMよりもBERの劣化が大きいことを明らかにした。

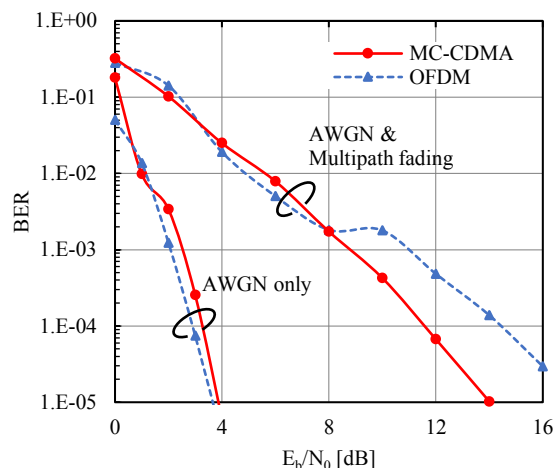


図3. マルチパスフェージングによるBER特性 (QPSKの場合)

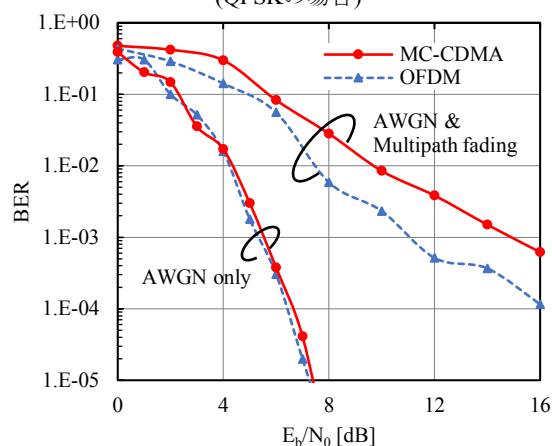


図4. マルチパスフェージングによるBER特性 (16QAMの場合)

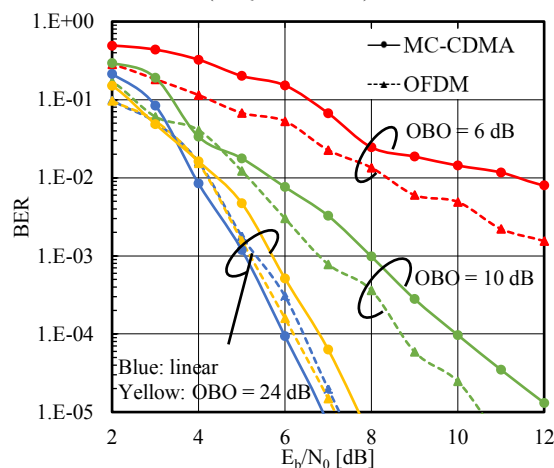


図5. HPAの非線形特性の影響によるBER特性

「参考文献」

- 1) N. Yee et al "Multi-Carrier CDMA in indoor wireless Radio Networks," PIMRC'93, Sept. 1993, Yokohama, Japan, pp. 109-113
- 2) K. Fazel et al "Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX 2nd ed.," John Wiley & Sons, 2008.
- 3) 加瀬他 "MC-CDMA通信システムの特性に関する研究" 信学ソ大, B-5-5, 2017