

# QRM-MLD 周波数領域ブロック信号検出を用いる マルチコード DS-および MC-CDMA の特性比較

Performance Comparison of Multi-code DS- and MC-CDMA  
with QRM-MLD Frequency-domain Block Signal Detection

山本哲矢 武田一樹 安達文幸

Tetsuya YAMAMOTO Kazuki TAKEDA Fumiyuki ADACHI

東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻

Department of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

## 1. まえがき

筆者らは最近、シングルキャリア(SC)伝送において、QR分解と M アルゴリズムを用いる演算量削減型最尤検出(QRM-MLD)による周波数領域ブロック信号検出(FDBD)を提案した[1]。また、QRM-MLD FDBD をマルチコード直接拡散符号分割マルチアクセス(DS-CDMA)にも拡張できることを示し、各送信シンボルの瞬時信号電力対干渉+雑音電力比(SINR)にばらつきが生じることを利用したオーダリングを行えば、ビット誤り率(BER)特性の改善に役立つことを示した[2]。一方、マルチキャリア(MC-)CDMA[3]にもQRM-MLD FDBD は適用可能である。本論文では、QRM-MLD FDBD を用いるマルチコード DS-および MC-CDMA の BER 特性を比較・検討している。

## 2. QRM-MLD 周波数領域ブロック信号検出

本論文では、 $U \times N_c / SF$  個のシンボルのブロック伝送を考える( $N_c$  は高速フーリエ変換(FFT)ブロックサイズ、 $U$  はコード多重数、 $SF$  は拡散率である)。送信機では  $U \times N_c / SF$  個のシンボルの系列に対しマルチコード拡散を行い、 $N_c$  チップからなる送信チップブロックを生成する。MC-CDMA では、送信チップブロックに  $N_c$  ポイント逆 FFT(IFFT)を適用した後に GI を挿入して送信する。一方、DS-CDMA では、IFFT 操作を行わずに GI を挿入して送信する。

送信信号は、チップ長間隔の  $L$  個のバスから構成される周波数選択性フェージングチャンネルを伝搬して、受信機で受信されるものとする。受信機では、GI を取り除いた後に、受信ブロックに  $N_c$  ポイント FFT を適用して周波数領域信号へと変換する。DS-および MC-CDMA の周波数領域受信信号ベクトル  $\mathbf{Y}^{DS(MC)} = [Y^{DS(MC)}(0), \dots, Y^{DS(MC)}(N_c-1)]^T$  はそれぞれ次式で表わされる。

$$\begin{cases} \mathbf{Y}^{DS} = \sqrt{2E_c/T_c} \mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{c} \mathbf{d} + \mathbf{N} = \sqrt{2E_c/T_c} \bar{\mathbf{H}}^{DS} \mathbf{d} + \mathbf{N} \\ \mathbf{Y}^{MC} = \sqrt{2E_c/T_c} \mathbf{H} \mathbf{c} \mathbf{d} + \mathbf{N} = \sqrt{2E_c/T_c} \bar{\mathbf{H}}^{MC} \mathbf{d} + \mathbf{N} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $E_c$  は 1 コードチャンネル当たりのチップエネルギー、 $T_c$  はチップ長である。 $\mathbf{d} = [d(0), \dots, d(UN_c/SF-1)]^T$  はシンボルベクトル、 $\mathbf{c}$  は  $N_c \times N_c(U/SF)$  拡散符号行列、 $\mathbf{F}$  は  $N_c \times N_c$  FFT 行列、 $\mathbf{H} = \text{diag}[H(0), \dots, H(N_c-1)]$  は  $N_c \times N_c$  チャンネル行列、 $\mathbf{N}$  は雑音ベクトルである。ただし、 $H(k)$  は第  $k$  周波数におけるチャンネル利得である。また、 $\bar{\mathbf{H}}^{DS} = \mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{c}$  および  $\bar{\mathbf{H}}^{MC} = \mathbf{H} \mathbf{c}$  はそれぞれ DS-および MC-CDMA の等価チャンネル行列である。DS-および MC-CDMA どちらも周波数領域受信信号が等価チャンネル行列を用いて式(1)のように表わせることから、QRM-MLD FDBD が適用できる[1, 2]。

CDMA 伝送の場合、等価チャンネル行列の中に拡散符号も含まれているため、各送信シンボルの瞬時 SINR は割り当てられた拡散符号に依存する。そこで、送信シンボル毎に等価チャンネル行列  $\bar{\mathbf{H}}^{DS(MC)}$  が与えられた時の瞬時 SINR を求め[2]、SINR が高いシンボルから順に検出する。QRM-MLD ではまず、オーダリングによって列成分の順番を入れ替えた後の等価チャンネル行列を  $\bar{\mathbf{H}}^{DS(MC)} = \mathbf{Q} \mathbf{R}$  のように QR 分解する。 $\mathbf{Q}$  は  $\mathbf{Q}^H \mathbf{Q} = \mathbf{I}$  ( $\mathbf{I}$  は単位行列)を満たす

$N_c \times N_c(U/SF)$  の行列、 $\mathbf{R}$  は  $N_c(U/SF) \times N_c(U/SF)$  上三角行列である。次に、 $\mathbf{Q}^H$  を  $\mathbf{Y}^{DS(MC)}$  に乗算し、M アルゴリズムを用いる MLD を適用する。

$$\hat{\mathbf{Y}}^{DS(MC)} = \mathbf{Q}^H \mathbf{Y}^{DS(MC)} = \sqrt{2E_c/T_c} \mathbf{R} \mathbf{d} + \mathbf{Q}^H \mathbf{N} \quad (2)$$

M アルゴリズムは、送信シンボル数と同じ  $N_c(U/SF)$  ステージで構成され、各ステージでは、 $\hat{\mathbf{Y}}^{DS(MC)}$  とシンボル候補間の二乗ユークリッド距離に基づくメトリックを計算し、メトリックの小さい  $M$  個のシンボル候補系列を生き残りシンボル候補として選択する。

## 3. 計算機シミュレーション

16QAM を使い、 $N_c=64$  とし、 $SF=U=64$  (フルコード多重)とした場合の BER 特性を図 1 に示す。チャンネルは  $L=16$  パスの一様電力遅延プロファイルを有する周波数選択性チャンネルである。 $M$  の値は、1, 4, 16, 64, 256 としている。図 1 から、DS-CDMA の場合が MC-CDMA よりも優れた BER 特性が得られることがわかる。 $N_c=SF$  の場合、MC-CDMA では、全シンボルの SINR が同じになるため、オーダリングの効果がない。一方、DS-CDMA の各シンボル SINR は割り当てられた拡散符号に依存するため、SINR が大きく信頼性の高いシンボルから順に検出していくオーダリングを用いれば、BER 特性を改善できる。また、 $M$  の値が小さいときに特性差が大きい。

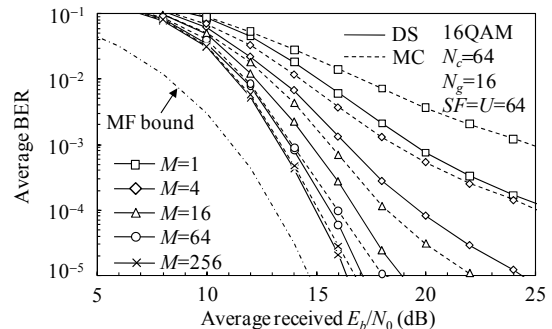


図 1 平均 BER 特性

## 4. むすび

本論文では、QRM-MLD FDBD を用いるマルチコード DS-および MC-CDMA の BER 特性を比較・検討した。 $N_c=SF$  の場合、MC-CDMA では、全シンボルの SINR が同じになるのに対し、DS-CDMA では、各シンボルの SINR にばらつきが生じるため、オーダリングを用いれば、MC-CDMA より BER 特性を改善できることを示した。

## 参考文献

- [1] T. Yamamoto, K. Takeda, and F. Adachi, The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009), Sendai, Japan, Sept. 2009. [2] T. Yamamoto, Kazuki Takeda, and F. Adachi, The 6th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS2009), Seoul, Korea, Aug. 2009. [3] S. Hara and R. Prasad, IEEE Commun. Mag., Vol. 35, No. 12, pp. 126-144, Dec. 1997.