

# 時間領域および周波数領域 QRM-ML ブロック信号検出における チャンネル推定誤差の影響

## Effect of Channel Estimation Error on Time-Domain QRM-ML Block Signal Detection And Frequency-Domain QRM-ML Block Signal Detection

諸我 英之 山本 哲矢 安達 文幸

Hideyuki MOROGA Tetsuya YAMAMOTO 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

QR 分解と M アルゴリズムを用いる周波数領域最尤ブロック信号検出(FD-QRM-MLBD)は、1 タップ最小平均二乗誤差(MMSE)規範に基づく周波数領域等化(FDE)に比べて、シングルキャリア(SC)伝送の平均ビット誤り率(BER)特性を大幅に改善できる[1]。QRM-MLBD を時間領域で行う TD-QRM-MLBD も可能である。本論文では、TD-QRM-MLBD と FD-QRM-MLBD のチャンネル推定誤差が平均 BER 特性に与える影響を検討している。

### 2. QRM-ML ブロック信号検出

サイクリックプレフィックス(CP)除去後の受信信号ブロック  $\mathbf{y} = [y(0), \dots, y(N_c - 1)]^T$  とその周波数領域表現  $\mathbf{Y} = [Y(0), \dots, Y(N_c - 1)]^T$  はそれぞれ次式で表される。

$$\begin{cases} \mathbf{y} = \sqrt{2E_s/T_s} \mathbf{h} \mathbf{d} + \mathbf{n} \\ \mathbf{Y} = \sqrt{2E_s/T_s} \mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{d} + \mathbf{N} = \sqrt{2E_s/T_s} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{d} + \mathbf{N} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $E_s$  は受信シンボルエネルギー、 $T_s$  はシンボル長、 $\mathbf{d} = [d(0), \dots, d(N_c - 1)]^T$  は送信シンボルベクトル、 $\mathbf{h}$  はチャンネルのインパルス応答行列、 $\mathbf{H}$  はチャンネル行列、 $\mathbf{n}$  は雑音ベクトル、 $\mathbf{N}$  は周波数領域雑音ベクトル、 $\mathbf{F}$  は離散フーリエ変換(DFT)行列、 $\bar{\mathbf{H}}$  は等価チャンネル行列である。インパルス応答行列を  $\mathbf{h} = \mathbf{q} \mathbf{r}$  のようにユニタリ行列  $\mathbf{q}$  と上三角行列  $\mathbf{r}$  に QR 分解し、 $\mathbf{q}^H$  を  $\mathbf{y}$  に乗算して  $\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{q}^H \mathbf{y}$  に変換する。また、等価チャンネル行列を  $\mathbf{H} = \mathbf{Q} \mathbf{R}$  のようにユニタリ行列  $\mathbf{Q}$  と上三角行列  $\mathbf{R}$  に QR 分解し、 $\mathbf{Q}^H$  を  $\mathbf{Y}$  に乗算して  $\hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{Q}^H \mathbf{Y}$  に変換する。このようにして得られた  $\hat{\mathbf{y}}$  および  $\hat{\mathbf{Y}}$  に M アルゴリズムを用いる MLD を適用するのが、それぞれ TD-QRM-MLBD および FD-QRM-MLBD[1]である。

TD-QRM-MLBD および FD-QRM-MLBD では、それぞれ  $\mathbf{h}$  および  $\mathbf{H}$  の推定が必要である。Chu 系列[2]をパイロットとして使い、ZF-CE と遅延時間領域窓関数フィルタ[3]により  $\mathbf{H}$  を推定できる。また、逆フーリエ変換により、 $\mathbf{H}$  の推定値から  $\mathbf{h}$  の推定値が得られる。

### 3. 計算機シミュレーション

16QAM,  $N_c=64$ ,  $N_g=16$  を用いるときの TD-QRM-MLBD と FD-QRM-MLBD の平均 BER 特性をそれぞれ図 1 と図 2 に示す。チャンネルはシンボル長の整数倍の遅延時間を持つ  $L=16$  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ブロックレイリーフェージングである。比較のため、MMSE-FDE[4,5]および理想チャンネル推定の際の BER 特性も示す。図 1 より、TD-QRM-MLBD と FD-QRM-MLBD の特性は一致すること、理想チャンネル推定からの特性劣化は M アルゴリズムの生き残りパス数  $M$  に関わらず、平均受信

ビットエネルギー対雑音電力スペクトル密度比( $E_b/N_0$ )で 1 dB 程度であることが分かる。

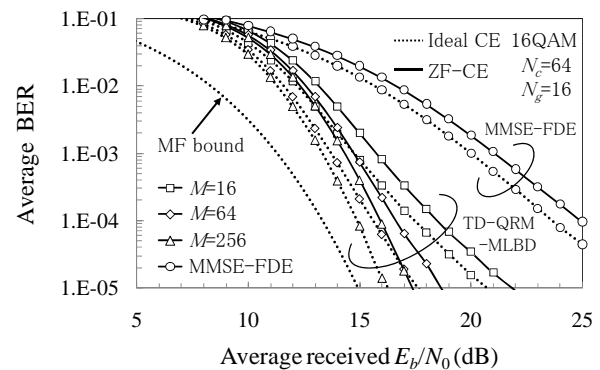


図 1 TD-QRM-MLBD の平均 BER 特性

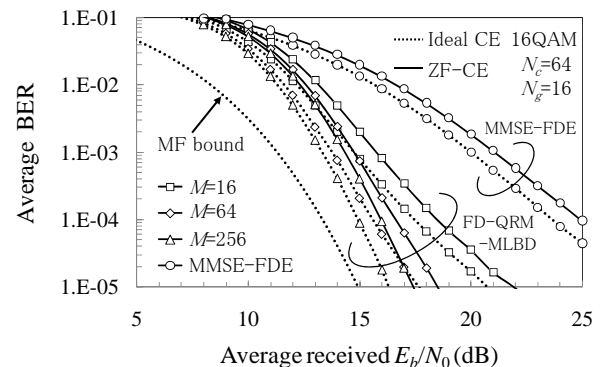


図 2 FD-QRM-MLBD の平均 BER 特性

### 4. むすび

本論文では、TD-QRM-MLBD と FD-QRM-MLBD に及ぼすチャンネル推定誤差の影響し、両者の BER 特性は一致すること、理想チャンネル推定からの特性劣化は M アルゴリズムの生き残りパス数  $M$  に関わらず  $E_b/N_0$  で 1 dB 程度であることを示した。

### 参考文献

- [1] T. Yamamoto, K. Takeda, F. Adachi, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol. 2011, doi:10.1155/2011/575706. [2] D. C. Chu, IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. 5, No. 7, pp. 531-532, July 1972. [3] H. Gacanin, S. Takaoka and F. Adachi, Proc. IEEE 62nd VTC2005-Fall, Dallas, U.S.A., 26-28 Sept. 2005. [4] D. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar B. Edison, IEEE Commun. Mag., Vol.40, No. 4, pp. 58-66, Apr. 2002. [5] K. Takeda, T. Itagaki, and F. Adachi, IEICE Trans. Commun., Vol. E87-B, No. 7, pp.1946-1953, Jul. 2004.