

既知系列を利用したシングルキャリア伝送における 2ステップ QRM-ML ブロック信号検出に関する検討

A Study on 2-step QRM-ML Block Signal Detection
for Training Sequence-Aided Single-Carrier Transmission

天間克宏 山本哲矢 安達文幸
Katsuhiko Temma Tetsuya Yamamoto Fumiuyuki 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演算量削減型最尤ブロック検出(QRM-MLBD)は、最小平均二乗誤差規範に基づく周波数領域等化(MMSE-FDE)と比較してシングルキャリア(SC)伝送のビット誤り率(BER)特性を大幅に改善できるが、その演算量はかなり大きい。筆者らは、QRM-MLBDの演算量を削減するため、MMSE-FDE を利用して QRM-MLBD における探索シンボル候補数を制限する 2 ステップ QRM-MLBD を提案した[1]。一方、筆者らはサイクリックプリフィックス(CP)の代わりに既知系列(TS)をガードインターバルに挿入すれば、QRM-MLBD の演算量を削減できることを示した[2]。本論文では、TS を用いる SC 伝送(TS-SC)に 2 ステップ QRM-MLBD を適用したときの BER 特性と演算量削減効果を検討している。

2. 2 ステップ QRM-MLBD を用いる TS-SC 伝送

送信機では、 N_c 個のシンボルから成るデータシンボル系列 $\mathbf{d}=[d(0), \dots, d(N_c-1)]^T$ に N_g 個のシンボルから成る既知系列 $\mathbf{u}=[u(0), \dots, u(N_g-1)]^T$ を連結して送信する。受信機では、 N_c+N_g ポイントの離散フーリエ変換(DFT)により受信信号を周波数領域信号 $\mathbf{Y}=[Y(0), \dots, Y(N_c+N_g-1)]^T$ へと変換する。 \mathbf{Y} は、 $\mathbf{Y} = \sqrt{2E_s/T_s} \mathbf{H}\mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{N}$ のように表される。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、 $\mathbf{H}=\text{diag}[H(0), \dots, H(N_c+N_g-1)]$ は周波数領域チャネル行列、 \mathbf{F} は DFT 行列、 $\mathbf{x}=[d(0), \dots, d(N_c-1), u(0), \dots, u(N_g-1)]^T$ は送信シンボルブロック、 \mathbf{N} は周波数領域雑音ベクトルを表す。

2 ステップ QRM-MLBD の第 1 ステップでは、周波数領域受信信号 \mathbf{Y} に MMSE 重みを乗算する MMSE-FDE を行う。逆 DFT 後に、残留符号間干渉と雑音の和の振幅分布に基づき、MLD で探索を行うシンボル候補の絞り込みを行う。第 2 ステップでは、 $\mathbf{H}\mathbf{F}$ を等価チャネル行列 $\tilde{\mathbf{H}}$ と見なし信号検出を行う。 $\tilde{\mathbf{H}}$ を QR 分解によりユニタリ行列 \mathbf{Q} と上三角行列 \mathbf{R} の積に変形し、 \mathbf{Q}^H を \mathbf{Y} に乗算して得られる受信信号 $\mathbf{Z}=[Z(0), \dots, Z(N_c+N_g-1)]^T$ に M アルゴリズムを用いる MLD を適用する。

M アルゴリズムに基づく MLD は送信ブロックサイズと同じ全 N_c+N_g ステージで構成され、各ステージで受信信号とシンボル候補間の 2 乗ユークリッド距離に基づくパスメトリックの小さな M 本のパスを生き残りパスとして選択する。ここで、 M が小さいと初期ステージにおけるパスメトリックの精度が悪いことによる正しいパスの誤削除確率が増加してしまうが、TS-SC 伝送を用いれば第 $0 \sim N_g-1$ ステージは既知系列であるから M を小さくしても誤削除確率を低く保てるので、演算量を低減できる[2]。さらに、MMSE-FDE によって信頼度の低いシンボル候補が摘み取られているからそのシンボル候補を含むパスのパスメトリック演算を省略できる。

3. 計算機シミュレーション

$N_c=64$, $N_g=16$, 16QAM を用いるときの BER 特性を図 1 に示す。チャネルは、遅延時間がシンボル長の整数倍の $L=16$ 個のパスから構成される一様電力遅延プロファイル

を有する周波数選択性レイリーフェージングチャネルである。 M の値は 1, 4, 16 としている。比較のため、QRM-MLBD を用いる CP-SC 伝送($M=256$)の特性を併記する。図 1 より、2 ステップ QRM-MLBD を用いる TS-SC 伝送は QRM-MLBD を用いる場合とほぼ同等の BER 特性を達成できていることが分かる。整合フィルタ(MF)限界に近い特性を達成するのに必要な複素乗算回数を、QRM-MLBD を用いる CP-SC 伝送の複素乗算回数で正規化して図 2 に示す。例えば平均受信 E_b/N_0 が 16dB のとき、2 ステップ QRM-MLBD を用いる TS-SC 伝送の演算量は、QRM-MLBD を用いる TS-SC および CP-SC 伝送のそれぞれ約 49% および 4.8% である。

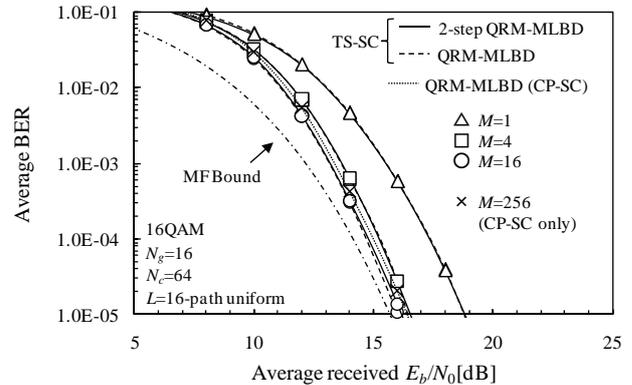


図 1: 平均 BER 特性

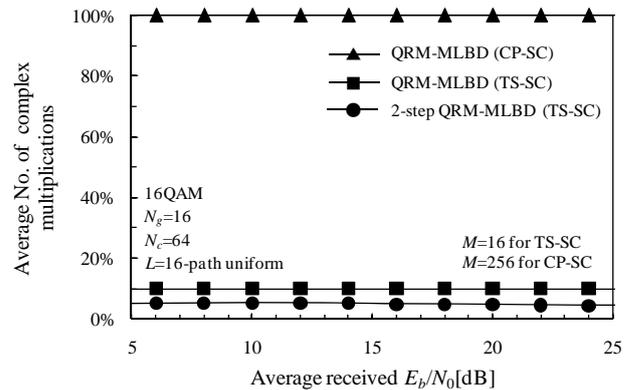


図 2: 演算量の比較

4. むすび

本論文では、TS-SC 伝送に 2 ステップ QRM-MLBD が適用可能であることを示し、BER 特性と演算量の比較を行った。計算機シミュレーションより、2 ステップ QRM-MLBD を用いる TS-SC 伝送は QRM-MLBD を用いる CP-SC 伝送と比べて大幅に演算量を削減できることを示した。

参考文献

- [1] 天間克宏, 山本哲矢, 安達文幸, 信学技報, RCS2010-192, pp.197-202, 2010年12月
- [2] T. Yamamoto, K. Takeda, and F. Adachi, Proc. IEEE Wireless Communication & Networking Conference (WCNC), Apr. 2010.