

# ジョイント周波数領域等化・復号を用いる擬似ブロック符号化 OFDM 伝送

## Pseudo Block Coded OFDM Transmission Using Joint Frequency-Domain Equalization and Decoding

宮崎 寛之 安達 文幸

Hiroyuki MIYAZAKI Fumiyuki ADACHI

東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻

Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

### 1. まえがき

ジョイント周波数領域等化・復号を用いる擬似ブロック符号化伝送では、擬似ブロック符号化行列、インタリーブ行列およびチャネル行列の積を一つの MIMO 等価チャネルとみなし、空間フィルタリングを用いて周波数領域等化とブロック復号を一括して行う[1]。本論文では擬似ブロック符号化伝送を OFDM 伝送に適用した場合の平均 BER 特性を計算機シミュレーションにより求め、ジョイント周波数領域等化・復号を用いる擬似ブロック符号化 OFDM 伝送は、従来のブロック符号化 OFDM 伝送に最尤復号を適用した場合にせまる優れた平均 BER 特性を達成できることを明らかにしている。

### 2. 擬似ブロック符号 OFDM 伝送

擬似ブロック符号 OFDM 伝送の送受信機構成を図 1 に示す。擬似ブロック符号伝送では、データ変調およびブロック符号化による非線形処理を回避するため、データ変調の位置とブロック符号化行列を以下のように変形している。はじめに情報ビット系列にデータ変調を施した後、擬似ブロック符号化を適用する。データ変調後の送信信号ベクトルを  $\mathbf{d}_m = [d_m(0), \dots, d_m(N_{info}-1)]^T$ 、擬似ブロック符号化行列を  $\tilde{\mathbf{C}}$  とすると、擬似ブロック符号化信号ベクトル  $\mathbf{c}_m = [c_m(0), \dots, c_m(N_{code}-1)]^T$  は  $\mathbf{c}_m = \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{d}_m$  となる。ここで、従来のブロック符号化行列を  $\mathbf{C} = [\mathbf{C}^T(0), \dots, \mathbf{C}^T(N_{info}-1)]^T$  および  $\mathbf{C}(n_{info}) = [\mathbf{C}(n_{info}, 0), \dots, \mathbf{C}(n_{info}, N_{code}-1)]^T$  とすると、擬似ブロック符号化行列は次式のように表せる。

$$\tilde{\mathbf{C}} = \left[ \mathbf{c}^T(0) / \sqrt{\|\mathbf{c}^T(0)\|^2} \quad \dots \quad \mathbf{c}^T(N_{info}-1) / \sqrt{\|\mathbf{c}^T(N_{info}-1)\|^2} \right] \quad (1)$$

上記の符号化と変調を繰り返して  $M = \lceil N_c / N_{code} \rceil$  個の擬似ブロック符号化シンボル系列を生成し、インタリーブを適用した後、擬似ブロック符号化シンボルをそれぞれ  $N_c$  個のサブキャリアにマッピングする。そして  $N_c$  ポイント逆高速フーリエ変換 (IFFT) を適用して時間領域信号に変換した後、ブロックの先頭のガード区間に CP を挿入して送信する。

受信機では CP を除去した後、 $N_c$  ポイント FFT を適用して周波数領域信号に変換する。周波数領域受信信号ベクトルは次式のように表せる。

$$\mathbf{R} = \mathbf{H}\tilde{\mathbf{C}}\mathbf{d} + \mathbf{N} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{H} = \text{diag}[\mathbf{H}(0), \dots, \mathbf{H}(N_c-1)]$  はチャネルの伝達関数行列であり、 $\mathbf{N}$  は雑音ベクトルである。また  $\mathbf{B} = [\mathbf{B}_m, \dots, \mathbf{B}_{M-1}]$  はインタリーブ行列であり、 $\mathbf{d} = [\mathbf{d}_0^T, \dots, \mathbf{d}_{M-1}^T]^T$  である。

式(2)より、擬似ブロック符号化行列  $\tilde{\mathbf{C}}$ 、インタリーブ行列  $\mathbf{B}$  およびチャネル行列  $\mathbf{H}$  の積がひとつの MIMO 等価チャネルとみなせることがわかる。そこで、MIMO 等価チャネルに対して周波数領域等化とブロック復号を一括して行うジョイント周波数領域等化・復号を適用する。第  $m$  符号化ベクトルに対するジョイント周波数領域等化・復号後の第  $m$  受信信号ベクトル  $\hat{\mathbf{d}}_m = [\hat{d}_m(0), \dots, \hat{d}_m(N_{info}-1)]^T$  は  $\hat{\mathbf{d}}_m = \mathbf{W}_m \mathbf{R}$  となる。擬似ブロック符号化前の送信信号と復号後の受信信号との平均二乗誤差を最小とするジョイント周波数領域等化復号重みは次式で与えられる。

$$\mathbf{W}_m = \left[ \hat{\mathbf{H}}_m^H \hat{\mathbf{H}}_m + \gamma^{-1} \mathbf{I}_{N_{info}} \right]^{-1} \hat{\mathbf{H}}_m^H \quad (3)$$

ここで、 $\hat{\mathbf{H}}_m = \mathbf{H}\tilde{\mathbf{C}}$  であり、 $\gamma$  は受信 SNR である。また、 $\mathbf{I}_N$  は  $N \times N$  の単位行列を表す。

### 3. 計算機シミュレーション

本稿では簡単のため、(7,4)ハミング符号[2]および BPSK データ変調を用いるものとする。サブキャリア数  $N_c$  および GI 長  $N_g$  はそれぞれ  $N_c=64$  および  $N_g=16$  とし、10FDMM シンボルあたりのブロック符号数  $M$  は  $M=9$  としている。また、 $8 \times 8$  ブロックインタリーブを用いるものとする。一様電力遅延プロファイルを有する 16 パスのブロックレイリーフェージングと理想チャネル推定を仮定している。

ジョイント周波数領域等化・復号を用いる擬似ブロック符号化 OFDM 伝送を行った場合の平均 BER 特性を図 2 に示す。また比較のため、周波数領域等化および硬判定ブロック復号を独立に行う 2 段階復号および最尤復号の特性もそれぞれ図 2 に示す。図 2 より、ジョイント周波数領域等化・復号は 2 段階復号より優れた BER 特性を達成できることがわかる。例えば、ジョイント周波数領域等化・復号は、2 段階復号より、 $\text{BER}=10^{-4}$  を得るための所要  $E_b/N_0$  を約 4dB 低減できる。また、ジョイント周波数領域等化・復号は最尤復号の BER 特性に約 2.5dB 程度まで近づいていること、同等のダイバーシチオーダが得られていることがわかる。

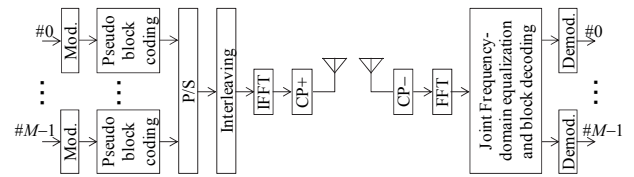


図 1 擬似ブロック符号化 OFDM 伝送

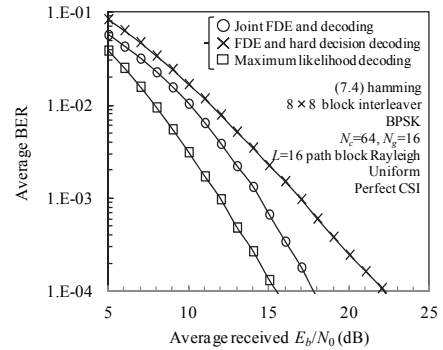


図 2 平均 BER 特性

### 4. むすび

本論文では、ジョイント周波数領域等化・復号を用いる擬似ブロック符号化 OFDM 伝送の平均 BER 特性を計算機シミュレーションにより求め、ジョイント周波数領域等化・復号は周波数領域等化と硬判定ブロック復号を独立に行う 2 段階復号より優れた BER 特性を達成し、最尤復号を用いる場合にせまる特性を達成できることを明らかにした。

### 参考文献

- [1] 宮崎ら, 信学技報, 2014年3月発表予定.
- [2] J. G. Proakis and M. Salehi, Digital Communications, 5th ed., McGraw-Hill, 2008.