

Faster-than-Nyquistを用いるOFDMにおける時間分割参照信号多重を用いたときのブロック誤り率特性

B-5 BLER Performance of OFDM with Faster-than-Nyquist Using TDM Based RS Multiplexing

菖蒲谷 翼[†] 阿南 光隆[†] 岸山 祥久^{††} 佐和橋 衛[†]
 Tsubasa Shobudani[†], Mitsutaka Anan[†], Yoshihisa Kishiyama^{††}, Mamoru Sawahashi[†]
[†] 東京都市大学 ^{††} 株式会社 NTT ドコモ
 Tokyo City University NTT DOCOMO, INC.

1. まえがき

本稿では, Faster-than-Nyquist (FTN)[1],[2]を用いる直交周波数分割多重 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)において, 時間分割多重 (TDM: Time Division Multiplexing) 参照信号 (RS: Reference Signal) [3]を用いるチャンネル推定を行ったときのブロック誤り率 (BLER: Block Error Rate)特性を計算機シミュレーションにより評価する.

2. FTN を用いる OFDM における TDM ベースの参照信号多重

OFDM に時間領域の圧縮を行う FTN を適用した場合, 各サブキャリアの OFDM シンボルをナイキストレートより高速レートで多重する. OFDM シンボルのサンプル数を N_{FFT} で, FTN により, オーバーラップしたシンボル区間のサンプル数を N_{OL} , $N_{FFT} \times N_{FFT}$ のサイズを有する Inverse fast Fourier transform (IFFT) 行列を \mathbf{F}_{IFFT} で表す. \mathbf{F}_{IFFT} をベースにして, $k=0$ から $k=(N_{OL}-1)$ までの $N_{OL} \times N_{FFT}$ のサイズの部分行列を \mathbf{F}_A で, $k=(N_{FFT}-N_{OL})$ から $k=(N_{FFT}-1)$ までの $N_{OL} \times N_{FFT}$ のサイズの部分行列を \mathbf{F}_C で表す. 本稿では, 複数の IFFT を用いる Overlap & Sum 処理で FTN シンボルを生成した [4]. FTN シンボル \mathbf{x}_m にオーバーラップする FTN シンボル \mathbf{x}_{m-1} に対する IFFT は $\bar{\mathbf{F}}_{m-1} = (\mathbf{F}_C \mathbf{0})$ で表される ((\cdot) は転置を表す). 同様に FTN シンボル \mathbf{x}_m にオーバーラップする FTN シンボル \mathbf{x}_{m+1} に対する IFFT は $\bar{\mathbf{F}}_{m+1} = (\mathbf{0} \mathbf{F}_A)$ で表される. ここで, 行列 $\mathbf{0}$ は $(N_{FFT}-N_{OL}) \times N_{FFT}$ のサイズの零行列を表す. 従って, Overlap & Sum 処理後の FTN シンボル \mathbf{u}_m は次式で表される [4]. FTN シンボルには Cyclic prefix (CP) を挿入しない.

$$\mathbf{u}_m = \mathbf{F}_m \mathbf{x}_m + \bar{\mathbf{F}}_{m-1} \mathbf{x}_{m-1} + \bar{\mathbf{F}}_{m+1} \mathbf{x}_{m+1} \quad (1)$$

図 1 に, FTN における TDM ベースの RS 多重を示す [3]. TDM ベースの RS 多重は, FTN を適用することにより生じるシンボル間干渉 (ISI: Inter-symbol interference) 及びサブキャリア間干渉 (ICI: Inter-subcarrier interference) を受けない高精度なチャンネル応答の推定を実現できる.

3. ターボソフト干渉キャンセラ構成

本稿では, チャンネル符号化に符号化率 $R=1/2$, 拘束長 4 ビットのターボ符号を用いた. 本稿では, ISI 及び ICI を除去するために, ターボソフト干渉キャンセラ (SIC: Soft Interference Canceller) を用いた [5],[6]. 2 アンテナの受信ダイバーシチを用いた. ターボ SIC の初段では, 各 FTN シンボルは前後の FTN シンボルからの ISI 及び ICI を平均 2 乗誤差最小 (MMSE: Minimum Mean Square Error) フィルタで低減した. 各サブキャリア位置のチャンネル応答の推定値を片側 3 サブキャリアの合計 7 サブキャリア間で同相加算平均して雑音の影響を低減した. 時間領域では 0 次補間を行った. 2 アンテナの MMSE フィルタ出力信号を同相加算し, チャンネル応答を用いて生成したシンボルレプリカ候補との 2 乗ユークリッド距離の最小値から, FTN シンボルの各ビットの対数尤度比 (LLR: Log-Likelihood Ratio) を求め, デインタリーブ後, Max-Log-MAP 復号器に入力した. 第 2 ステージ以降では, 着目する FTN シンボルに ISI 及び ICI を与える全ての FTN シンボルの推定値から, ISI 及び ICI の推定値を求め, 受信信号から差し引く処理を N_{TSC} 回繰り返した.

4. 計算機シミュレーション評価

図 2 に FTN を用いた OFDM の平均受信 SNR に対する平均 BLER 特性を示す. QPSK 変調とし, 最大ドップラ周波数が $f_D=5.55$ Hz のフラットフェージングを仮定した. CP を用いる OFDM からの周波数利用効率の改善率 γ をパラメータにした. 図より, γ が 1.73 程度までの範囲では, RS を用いるチャンネル推定を行った場合の同一の平均 BLER を満たすための所

要平均受信 SNR の理想チャンネル推定からの劣化は 1.0 dB 以内に抑えられている. しかし, γ をさらに増大すると, RS を用いるチャンネル推定誤差の影響が大きくなり, 理想チャンネル推定からの所要平均受信 SNR の劣化が若干大きくなっていく.

5. まとめ

本稿では, FTN を用いる OFDM における TDM ベースの RS 多重を用いたときの平均 BLER を評価した. FTN の CP を用いる OFDM からの周波数利用効率の改善率 γ が 1.73 程度までの範囲では, 同一の平均 BLER を満たすための所要平均受信 SNR の理想チャンネル推定からの劣化が 1.0 dB 以内に抑えられるものの, γ をさらに増大すると, RS を用いるチャンネル推定誤差の影響が若干大きくなることを示した.

参考文献

- [1] J. E. Mazo, Bell System Technical Journal, vol. 54, no. 8, pp. 1257-1264, Oct. 1975. [2] D. Dasalukunte, et al., "Faster-than-Nyquist Signaling," Springer, 2014. [3] T. Hirano, et al., IEEE ICCS2014. [4] F. Schaich and T. Wild, Proc. IEEE Globecom 2013 Workshop, Dec. 2013. [5] T. Abe and T. Matsumoto, Proc. IEEE VTC2001-Fall, Sept. 2001. [6] J. Wang and S. Li, Proc. PIMRC2007, Sept. 2007.

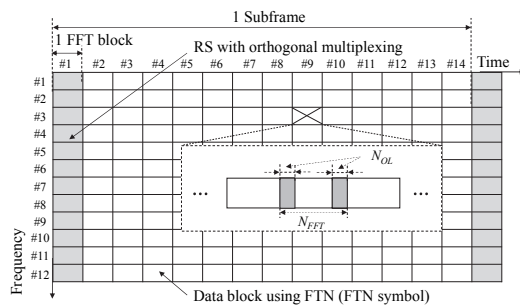


図 1 FTN における TDM ベースの RS 多重法

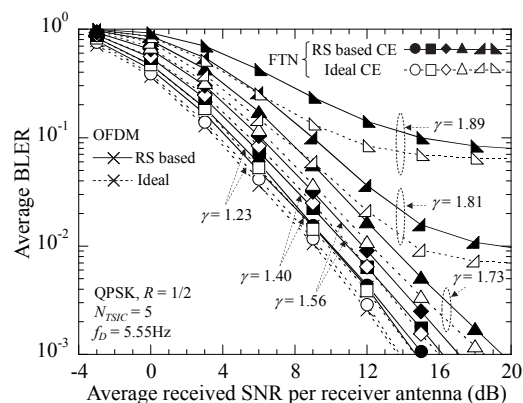


図 2 TDM RS を用いるチャンネル推定を適用したときの FTN を用いた OFDM の平均 BLER 特性