

判定帰還パイロットチャネル推定を用いるマルチコード MC-CDMA の誤り率特性

BER performance of multicode MC-CDMA using decision-feedback pilot assisted channel estimation

油井 辰憲 福田 郁 中島 昭範 安達 文幸
 Tatsunori Yui Kaoru Fukuda Akinori Nakajima Fumiyuki Adachi

東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻

1. まえがき

高速かつ高品質な伝送が要求される次世代の移動無線通信の伝送方式としてマルチキャリア(MC)-CDMA が注目されている。MC-CDMA では、最小平均二乗誤差(MMSE)規範に基づく周波数領域等化(FDE)を適用することで優れた伝送特性を得ることができるが、MMSE-FDE では高精度なチャネル情報が必要である[1,2]。本論文では、直交拡散符号を用いて異なる信号を同一周波数に多重し伝送するマルチコード MC-CDMA に判定帰還パイロットチャネル推定を適用したときの平均ビット誤り率(BER)特性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。

2. 判定帰還パイロットチャネル推定

時間多重パイロットによるチャネル推定の送信フレーム構成を図 1 に示す。第*i*番目ブロックが移動無線チャネルを伝搬し受信される時、受信信号の第*k*周波数成分 $R_i(k)$ は次式で表される。

$$R_i(k) = \sqrt{2E_s / (T_c SF)} H_i(k) D_i(k) + \Pi_i(k) \quad (1)$$

ここで $E_s / (T_c SF)$ は平均信号電力、 $H_i(k)$ はチャネル利得の第*k*周波数成分、 $\Pi_i(k)$ は平均 0、分散 $2N_0 / T_c$ のガウス雑音の第*k*周波数成分で、 T_c はFFTサンプリング周期である。 $D_i(k)$ は、 $i = 0$ のとき送受信機間で既知のパイロット系列 $P(k)$ 、 $i \geq 1$ のとき送信信号系列 $S_i(k)$ である。判定帰還チャネル推定(DFCE)では、第*i*番目ブロックのチャネル利得 $\sqrt{2E_s / (T_c SF)} H_i(k)$ の推定値 $\tilde{H}_i(k)$ を $\tilde{H}_i(k) = R_i(k) X_i(k)$ により求める[3]。 $X_i(k)$ はパイロット変調成分を取り除くための参照信号であり、次式で表される。

$$X_i(k) = \begin{cases} \hat{D}_i^*(k) / |\hat{D}_i(k)|^2, & \text{ゼロフォーシング(ZF)型} \\ \hat{D}_i^*(k), & \text{最大比合成(MRC)型} \\ \hat{D}_i^*(k) / (|\hat{D}_i(k)|^2 + SF (E_s / N_0)^{-1}), & \text{MMSE型} \end{cases} \quad (2)$$

$i = 0$ のとき、 $\hat{D}_0(k) = P(k)$ である。パイロット系列 $P(k)$ を一般性を失うことなく $P(k) = \pm 1 + j0$ (直交周波数分割多重(OFDM)型)とすれば、拡散率 $SF=1$ 、 $|P(k)|^2 = 1$ よりチャネル推定値 $\tilde{H}_0(k)$ は次式で与えられる。

$$\tilde{H}_0(k) = R_0(k) X_0(k) = \sqrt{2E_s / T_c} H_0(k) + \Pi_0(k) P^*(k) \quad (3)$$

また、 $i \geq 1$ のときはデータブロックの硬判定結果を帰還し、これを拡散して得られる送信信号レプリカ $\hat{S}_i(k)$ を式(2)の $\hat{D}_i(k)$ として用いる。ただし $\hat{S}_i(k)$ には判定誤りが含まれるため、チャネル推定精度が劣化してしまう。そこで、第 *i* 番目ブロックのチャネル推定値 $\tilde{H}_i(k)$ を求めた後、誤り伝搬を軽減するための忘却係数 β を用いた次式により $\tilde{H}_i(k)$ を更新して新たなチャネル推定値 $\bar{H}_i(k)$ を求め、第 *i+1* 番目のデータブロックの FDE に用いる。

$$\bar{H}_i(k) = \begin{cases} (1 - \beta) \bar{H}_{i-1}(k) + \beta \tilde{H}_i(k), & i \geq 1 \\ \tilde{H}_0(k), & i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

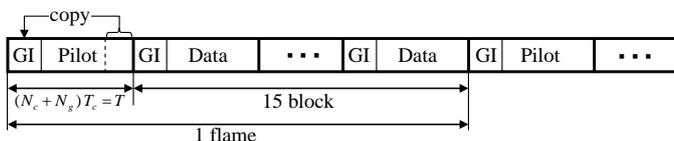


図 1 送信フレーム構成

3. 計算機シミュレーション

変調方式はQPSK, FFTポイント数を $N_c=256$, ガードインターバル長を $N_g=32$, 拡散率を $SF=256$ とした。また、一様電力遅延プロファイルを有する $L=16$ 個の独立なパスから構成される正規化ドップラー周波数 $f_b T = 0.001$ ($T = (N_c + N_g) T_c$) のブロックフェージングを仮定している。15 データブロック毎にパイロットブロックを送信し、判定帰還チャネル推定の忘却係数は $\beta=0.2$ とする。また、遅延時間領域窓関数[3]によりチャネル推定への雑音の影響を低減している。パイロット電力は、コード多重数 C に依らず常にフルコード多重 $C=SF (=256)$ 時と同じであるとした。

図 2 に平均 BER 特性を示す。ZF-DFCE では、 $\hat{S}_i(k)$ が低下すると雑音強調によりチャネル推定精度が大幅に劣化する。また MRC-DFCE では、 $|\hat{S}_i(k)|^2$ が一定でないことによりチャネル推定値が変動するため BER 特性が劣化してしまう。一方、MMSE-DFCE では雑音強調を抑圧しつつチャネル推定値の変動を抑えることができるため、ZF/MRC-DFCE よりも優れた BER 特性が得られる。BER= 10^{-5} における理想チャネル推定からの BER 特性の劣化は $C=256(64)$ のとき高々約 0.7(1.3)dB であり、このうちパイロット損による劣化は約 0.3(1.0)dB, チャネル推定誤差による劣化は約 0.4(0.3)dB である。

4. むすび

MMSE-DFCE を用いれば、マルチコード MC-CDMA においてもフェージング変動に追従したチャネル推定を行うことができ、パイロット損を除いたときの BER 特性の劣化をおよそ 0.5dB 以下に抑えることができる。

参考文献

- [1] F. Adachi, D. Garg, S. Takaoka, and K. Takeda, IEEE Wireless Communications, Vol.12, No.2, pp.8-18, Apr.2005.
- [2] S. Hara and R. Prasad, IEEE Communications Magazine, Vol.35, No.12, pp.126-133, Dec.1997.
- [3] K. Takeda and F. Adachi, Proc. IEEE 61st Veh. Tech. Conf., Vol.1, pp.447-451, May-June 2005.

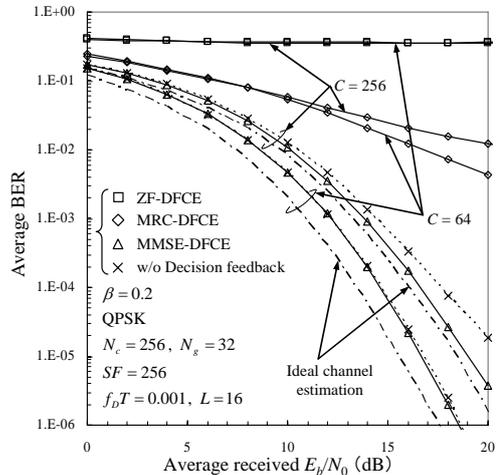


図 2 平均 BER 特性