

DS-CDMA 周波数領域繰り返しICIキャンセラに及ぼす チャンネル推定の影響

Impact of Channel Estimation for DS-CDMA with Frequency-domain Iterative ICI Cancellation

小島 洋平[†]
Yohei Kojima

武田 和晃[‡]
Kazuaki Takeda

安達 文幸[‡]
Fumiyuki Adachi

東北大学工学部通信工学科[†]

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

最近, Rake 合成の代わりに MMSE 周波数領域等化 (FDE) を適用することで, DS-CDMA の誤り率 (BER) 特性を大幅に改善できることが示されている [1]. しかし, MMSE-FDE 後に残留するチップ間干渉 (ICI) が BER 特性の改善に限界を与える. 周波数領域繰り返し ICI キャンセラを用いれば ICI を低減でき, 理論的下界に近い特性が得られる [2]. ところで, FDE や周波数領域 ICI キャンセラでは, チャンネルの伝達関数の推定が必要である. 本論文では, DS-CDMA 周波数領域繰り返し ICI キャンセラに及ぼす MMSE パイロットチャンネル推定 [3] の影響を計算機シミュレーションにより明らかにしている.

2 FDE と周波数領域適応 ICI キャンセラ

フェージングチャンネルを伝搬し, 受信された信号系列の第 k 周波数成分は, $R(k) = \sqrt{2PH(k)}S(k) + \Pi(k)$ で表せる. ここで, P は瞬時信号電力, $H(k)$ は第 k 周波数成分のチャンネル利得, $S(k)$ は N_c 個からなる送信チップ系列の周波数成分および $\Pi(k)$ は零平均で分散が $2\sigma^2$ のガウス雑音成分である.

本論文では, 第 i 回目の干渉キャンセル処理について説明する. 受信信号 $R(k)$ を用いて, MMSE-FDE を $\hat{R}^{(i)}(k) = R(k)W^{(i)}(k)$ のように行う. ここで $W^{(i)}(k)$ は MMSE-FDE 重み (後述) である. MMSE-FDE 後, 次式のように周波数領域 ICI キャンセルを行う.

$$\tilde{R}^{(i)}(k) = \hat{R}^{(i)}(k) - \tilde{M}^{(i)}(k) \quad (1)$$

ここで, $\tilde{M}^{(i)}(k)$ は次式で与えられる ICI レプリカである.

$$\tilde{M}^{(i)}(k) = \begin{cases} 0 & \text{for } i = 0 \\ \{H(k)W^{(i)}(k) - A^{(i)}\} \tilde{S}^{(i-1)}(k) & \text{for } i \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

ここで, $\tilde{S}^{(i-1)}(k)$ は送信チップ系列のレプリカ $\tilde{s}^{(i-1)}(t)$ の周波数成分, また, $A^{(i)} = 1/N_c \sum_{k'=0}^{N_c-1} H(k')W^{(i)}(k')$ である.

ICI キャンセル後の N_c 個の周波数成分 $\tilde{R}^{(i)}(k)$ に N_c ポイント IFFT を適用し, 逆拡散を行って, 軟判定系列を得る. 第 i 回目の繰り返し後に受信データを出力するときは, 軟判定系列をデータ復調する.

ここで MMSE-FDE 重み $W^{(i)}(k)$ について述べる. $W^{(i)}(k)$ は, ICI キャンセル後の周波数成分 $\tilde{R}^{(i)}(k)$ と送信チップ系列の周波数成分 $S(k)$ の平均 2 乗誤差を最小にする重みであり, 次式のように表される.

$$W^{(i)}(k) = \frac{H^*(k)}{\rho^{(i-1)}|H(k)|^2 + (P/\sigma^2)^{-1}} \quad (3)$$

ここで, $\rho^{(i-1)} = \sum_{t=0}^{N_c-1} \{E[|s(t)|^2] - |\tilde{s}^{(i-1)}(t)|^2\}$ である.

このように, FDE や周波数領域 ICI キャンセラでは, チャンネル利得 $H(k)$ と信号対雑音電力比 (SNR) P/σ^2 の

推定が必要である. 本論文では, MMSE パイロットチャンネル推定 [3] を用いる. MMSE-CE では, 受信パイロット系列 $R_p = \sqrt{2PH(k)}C(k) + \Pi(k)$ に $X(k) = C^*(k)/\{|C(k)|^2 + (P/\sigma^2)^{-1}\}$ を乗算することで, チャンネル推定値 $\hat{H}(k)$ を求めている. ここで, $C(k)$ は送信パイロット系列の第 k 周波数成分である. 本論文では, P/σ^2 は理想的に推定できるものとしている.

3 計算機シミュレーション

FFT ポイント数は $N_c = 256$, ガードインターバル長は $N_g = 32$ チップである. また, 16 データブロックごとに, 1 パイロットブロックを送信する. フェージングチャンネルは, 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周波数選択性のブロックレイリーフェージングチャンネルとした. 図 1 に, 拡散率 $SF = 4$ において MMSE-CE を用いたときの平均 BER 特性を示す. また, 比較のためチャンネル推定が理想のときの特性も示す. 繰り返し 2 回 ($i = 2$) で十分優れた特性が得られることが分かる. また, $BER = 10^{-4}$ を満たす所要平均 E_b/N_0 の理想チャンネル推定からの劣化は高々 1 dB である.

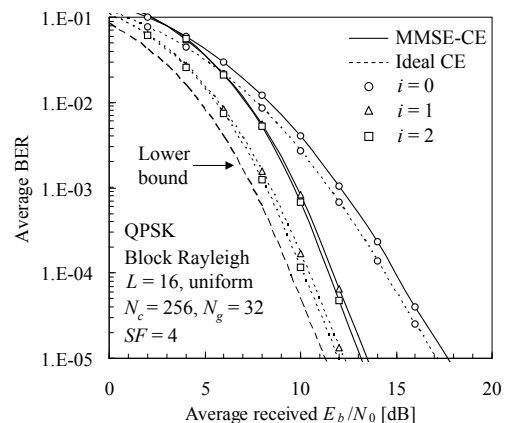


図 1 平均 BER 特性

4 むすび

DS-CDMA 周波数領域繰り返し ICI キャンセラに MMSE-CE を適用したときの BER 特性を示した. 繰り返し 2 回で十分で, このとき, $BER = 10^{-4}$ を満たす所要平均 E_b/N_0 の理想チャンネル推定からの劣化は高々 1 dB である.

参考文献

- [1] F. W. Vook, T. A. Thomas, and K. L. Baum, Proc. IEEE VTC 2002 Spring, pp. 1002-1006, May 2002.
- [2] K. Takeda, K. Ishihara, and F. Adachi, IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B, pp.3335-3343, May 2006.
- [3] K. Takeda and F. Adachi, Proc. IEEE VTC2005 Spring, May-June 2005.