

DS-CDMA 周波数領域等化におけるパイロットを用いる MMSE チャンネル推定

Pilot-assisted MMSE channel estimation for DS-CDMA frequency-domain equalization

武田 和晃
Kazuaki Takeda

安達 文幸
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

最近, DS-CDMA において Rake 合成の代わりに MMSE 周波数領域等化(FDE)を適用すれば, BER 特性を大幅に改善できることが報告されている[1,2]. これまで, 筆者らは, DS-CDMA 周波数領域等化に適した MMSE 規範に基づくチャンネル推定を提案してきた[3]. MMSE チャンネル推定では雑音電力の推定と平均信号電力の推定が必要である. 本論文では, パイロットを用いてこれらを推定する MMSE チャンネル推定を提案し, そのときの平均誤り率(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. パイロットを用いる MMSE チャンネル推定

周波数選択性フェージングチャンネルを伝搬し受信された受信信号系列の第 k 周波数成分は $R(k) = H(k)D(k) + \Pi(k)$ で表せる. ここで $D(k)$ は送信データチップ系列の第 k 周波数成分, $\Pi(k)$ は平均 0 で分散 $2\sigma^2$ のガウス雑音成分である. $R(k)$ を用いて MMSE-FDE を $\tilde{R}(k) = w(k)R(k)$ のように行う. ここで $w(k)$ は次式で与えられる MMSE 重みである.

$$w(k) = H^*(k) / [|H(k)|^2 + 2\sigma^2] \quad (1)$$

このように, FDE では, 各サブキャリア点のチャンネル利得 $\{H(k); k=0 \sim N_c-1\}$ の推定が必要である. データチップ系列の代わりにパイロットチップ系列を送信するものとして, 次式のように $H(k)$ の推定値 $\hat{H}(k)$ を求める[3].

$$\hat{H}(k) = R(k)X^*(k) \quad (2)$$

ここで

$$X(k) = PC(k) / [P|C(k)|^2 + 2\sigma^2] \quad (3)$$

は参照信号であり, $C(k)$ は送信パイロットチップ系列の第 k 周波数成分, $P = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} |H(k)|^2$ は瞬時信号電力, σ^2 は雑音電力である.

これを MMSE チャンネル推定(MMSE-CE)と呼ぶ. このように, MMSE-CE では信号および雑音電力推定が必要である. 本論文では, パイロットを用いる信号および雑音電力推定法を提案している.

まず, 次式のようにパイロット変調成分を取り除いて, $\tilde{H}(k)$ を得る.

$$\tilde{H}(k) = R(k)C^*(k) / |C(k)|^2 = H(k) + \Pi(k)C^*(k) / |C(k)|^2 \quad (4)$$

次いで $\tilde{H}(k)$ に IFFT を適用して, 遅延時間領域における瞬時チャンネルインパルス応答 $\hat{h}(\tau)$ を得る. ここで, パーシバルの定理より

$$P = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} |H(k)|^2 = \sum_{l=0}^{L-1} |h(\tau_l)|^2 \quad \text{が成り立つ. 複素パス利得 } h(\tau_l)$$

はガードインターバル(GI)内に収まっていると仮定すると, GI 内の $|\hat{h}(\tau)|^2$ を加算することで P の推定値が得られる. 一方, 雑音成分は全遅延時間領域に渡って一様に分布している. 従って, GI を超えるインパルス応答は雑音成分であると仮定すると, この 2

乗を区間 $[N_g \sim N_c-1]$ に渡って平均することで雑音電力 σ^2 の推定値が得られる.

3. 計算機シミュレーション

FFT ポイント数を $N_c=256$ チップ, ガードインターバル長を $N_g=32$ チップとした. また, 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 $L=16$ 個の独立なパスの周波数選択性フェージングチャンネルであるものとし, $f_D T_c N_c = 0.001$ とした. パイロットフレームは, 15 データフレーム毎に送信される. 図 1 に提案したパイロットを用いる MMSE-CE 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場合および信号および雑音電力推定が理想の場合の特性も示す. 提案チャンネル推定法では, 理想推定と同じ BER 特性が得られている. また, $SF=1(16)$ のとき, 理想チャンネル推定からの BER 特性の劣化は 0.9(0.4)dB 程度である(ただし, 0.28dB のパイロット挿入損含む).

4. むすび

DS-CDMA 周波数領域等化におけるパイロットを用いる MMSE-CE を提案し, 理想チャンネル推定に近い BER 特性が得られることを示した.

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] F. Adachi, T. Sao, and T. Itagaki, Electron. Lett., Vol. 39, No.2, pp. 239-241, Jan. 2003.
- [3] 武田, 安達, 信学技報, RCS2004-196, pp.129-134, 2004 年 10 月.

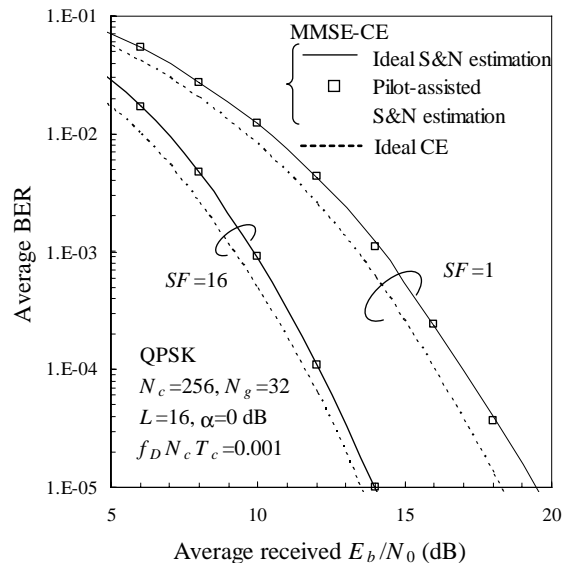


図 1 平均 BER 特性