

チャネル推定を用いる周波数領域等化 MC DS-CDMA における パイロット系列に関する一検討

A Study on Pilot Sequence for Channel Estimation of MC DS-CDMA with Frequency-domain Equalization

志摩 智之 田中 健 留場 宏道 安達 文幸
Tomoyuki Shima Ken Tanaka Hiromichi Tomeba 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

OFDM に時間領域拡散を組み合わせた MC DS-CDMA[1] に、複数の OFDM シンボルを 1 まとめにした周波数領域等化を適用すれば周波数ダイバーシチ利得が得られることが報告されている[2]. 周波数領域等化では、高精度のチャネル推定が必要となる. 本論文では、チャネル推定用パイロットを提案し、それを用い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. チャネル推定に用いるパイロット系列

図 1 に周波数領域等化 MC DS-CDMA の送受信系を示す. 拡散後のデータ系列またはパイロット系列に N_c ポイント IFFT を適用し、OFDM シンボルを生成する. OFDM シンボルを N_f 個用いて $N_f N_c$ サンプルからなる 1 つのフレームを構成する. パイロットは M データ毎に送信される. 受信機では、フレーム毎に $N_f N_c$ ポイント FFT を適用して受信信号を $N_f N_c$ 個の周波数成分に分解する. 受信信号系列の第 k 周波数成分 $R(k)$ は $R(k) = \sqrt{2S} H(k) S(k) + \Pi(k)$ で表せる. ここで、 S は平均受信電力、 $S(k)$ は送信信号系列の周波数成分、 $\Pi(k)$ は平均 0 で分散 $2\sigma^2$ のガウス雑音成分である. $R(k)$ に MMSE 重み $w(k)$ を乗算する. ここで、 $w(k)$ は次式で与えられる[2,3].

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

$w(k)$ を得るためには、チャネル利得 $H(k)$ の推定が必要である. そこで、既知のパイロット系列を周期的に送信することにより、MMSE 規範に基づくチャネル推定を行う[4]. パイロット信号 $P(k)$ が送信されたときの $H(k)$ の推定値 $\hat{H}(k)$ は $\hat{H}(k) = R_p(k) X^*(k)$ から得られる. ここで、 $R_p(k)$ は受信パイロット信号、 $X(k)$ は次式で表される参照信号である.

$$X(k) = P(k) / (|P(k)|^2 + (E_c / (N_0 N_f N_c))^{-1}) \quad (2)$$

ここで、 E_c / N_0 は平均受信チップエネルギー対雑音電力スペクトル密度比である. 次に、チャネルインパルス応答が有限時間内にしか存在しないことに着目し、 $\hat{H}(k)$ を IFFT によりチャネルインパルス応答を求め、遅延時間領域にて窓関数を乗算した後、FFT により雑音を低減したチャネル推定値を得る[5,6].

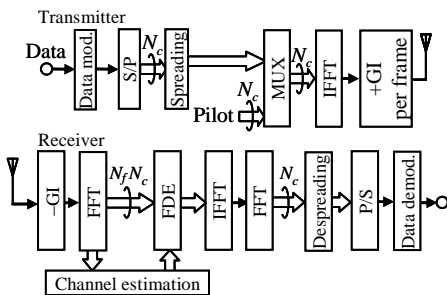


図 1 送受信系

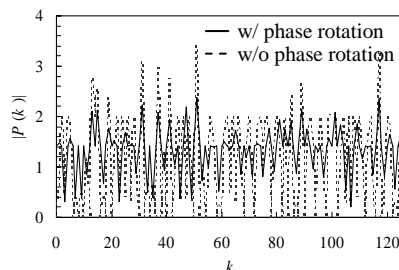


図 2 パイロットの周波数応答

ところで、周波数領域等化 MC DS-CDMA では、複数の OFDM シンボルを 1 まとめにして周波数領域等化を適用するため、 $P(k)$ が 0 となる周波数成分が存在してしまい、チャネル推定精度が劣化してしまう. そこで本論文では、OFDM シンボル毎に信号位相を π / N_f 回転させた BPSK パイロットを用いることを提案する. 図 2 に $N_f = 2$ の場合について、パイロットの第 k 周波数成分 $P(k)$ を示す. 位相回転なしでは、 $P(k)$ が 0 となる周波数成分が存在するが、位相回転を与えることでこのようなことを避けることができる.

3. 計算機シミュレーション

位相回転パイロットを用いてチャネル推定するときの平均 BER 特性を計算シミュレーションにより求める. データ変調を QPSK, サブキャリア数を $N_c = 64$, フレームサイズを $N_f = 2$, ガードインターバル長を $N_g = 16$ とした. パイロットフレームは $M = 16$ データフレーム毎に送信される. また、一様電力遅延プロファイルを有する $L = 16$ パスの周波数選択性ブロックレイリーフェージングチャネルであるものとする. 図 3 に平均 BER 特性を示す. また、比較のため理想チャネル推定および位相回転なしのパイロットチャネル推定を用いるときの特性も示す. 位相回転なしのパイロットを用いるときには高い BER フロアを生じていることが分かる. 一方、位相回転パイロットを用いることで BER フロアは発生せず、理想チャネル推定からの BER 特性の劣化を 1.6 dB 程度にまで抑えることができる (ただし、0.26 dB のパイロット挿入損を含む).

4. むすび

本論文では、周波数領域等化 MC DS-CDMA を対象にチャネル推定用の位相回転パイロットを提案し、理想チャネル推定からの BER 特性の劣化が 1.6 dB 程度であることを明らかにした.

参考文献

- [1] S. Hara and R. Prasad, IEEE Comm. Mag., pp. 126-133, Dec. 1997.
- [2] 田中, 留場, 安達, 信学技報, RCS2006-109, pp. 25-30, 2006年8月.
- [3] T. Sao and F. Adachi, IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, no. 1, pp. 352-364, Jan. 2003.
- [4] 武田, 安達, 信学技報, RCS2004-196, pp. 129-134, 2004年10月.
- [5] J. J. van de Beek, et al., IEEE Vehicular Technology Conference, Vol. 2, pp. 815-819, July 1995.
- [6] 具, 高岡, 安達, 信学技報, RCS2005-116, pp. 55-60, 2005年11月.

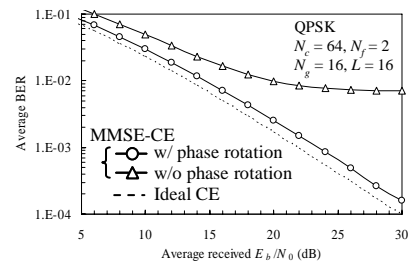


図 3 平均 BER 特性