

周波数領域送信等化を用いる MC-CDMA 上りリンクの伝送特性

Frequency Domain Transmit Equalization for Uplink MC-CDMA

阿部 聡
Satoshi ABE

高岡 辰輔
Shinsuke TAKAOKA

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

マルチキャリア CDMA(MC-CDMA)[1-2]の上りリンクでは、各ユーザの送信信号が異なるフェージングを受けるために、周波数領域受信等化[1-3]を用いてもユーザ間の直交性が部分的にしか再生されず大きなマルチアクセス干渉(MAI)が残留するので、上りリンク容量を制限してしまう。そこで最近、送信等化[4]が検討されている。本論文では、MC-CDMA/TDDを対象に、ユーザ毎にあらかじめ上りリンク送信信号を等化する周波数領域送信等化を提案し、BER 特性の改善効果を計算機シミュレーションにより明らかにする。

2. 周波数送信等化重み

上りリンク送信系を図 1 に示す。ユーザ n のサブキャリア k におけるチャンネル利得および送信等化重みを、それぞれ $H_n(k)$ および $w_n(k)$ で表すものとする。周波数領域送信等化では、送信電力一定という拘束条件のもとで次式のように $H_n(k)w_n(k)$ と等化目標値 x との二乗誤差を最小とする $w_n(k)$ を用いる。

$$\text{Minimize } e^2 = \sum_{k=0}^{N-1} |w_n(k)H_n(k) - x|^2 \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{k=0}^{N-1} |w_n(k)|^2 = N$$

ここで、 N はサブキャリア数を表す。Lagrange の未定乗数法[5]を用いて $w_n(k)$ を求めると次式のようになる。

$$w_n(k) = \frac{xH_n^*(k)}{|H_n(k)|^2 + \lambda_n} \quad (2)$$

ここで、 λ_n は

$$\sum_{k=0}^{N-1} \left| \frac{xH_n^*(k)}{|H_n(k)|^2 + \lambda_n} \right|^2 = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{x^2 |H_n(k)|^2}{(|H_n(k)|^2 + \lambda_n)^2} = N \quad (3)$$

を満たす変数であり、数値計算により求める。

3. 計算機シミュレーション

サブキャリア数 $N=256$ 、ガードインターバル $N_g=32$ サンプル、拡散率 $SF=64$ の MC-CDMA 上りリンクに周波数領域送信等化を適用したときの BER 特性を計算機シミュレーションにより求めた。一様電力遅延プロファイルで、最大ドップラー周波数 $f_D T=0.001$ の独立な 16 パスから構成される周波数選択性レイリーフェージングチャンネルを仮定した。また、下りリンクチャンネルを用いて上りリンクチャンネル利得 $\{H_n(k)\}$ を理想的に推定できるものと仮定している。ユーザ数 $U=64$ のときについて、等化目標値 x の関数としてプロットした等化誤差(最小二乗誤差 e_{\min}^2)を図 2 に示す。等化目標値 x を 1 より小さくしてゆくと等化誤差を小さくできるが、 x を小さくし過ぎると等化誤差が逆に大きくなってしまふ。等化誤差を最小とする x は 0.4~0.5 になる。このことは、 $x=0.4 \sim 0.5$ を用いれば、ユーザ数 U が多く MAI が支配的な環境では BER 特性を大幅に改善できることを示唆している。正規化ユーザ数 $U/SF=1$ のときについて、

$x=0.5$ のときの BER 特性をを図 3 に示す。比較のため、MMSE 周波数領域受信等化および ZF 周波数領域送信等化を用いるときの BER 特性も示した。等化目標値を $x=1$ とすると、BER フロアが発生するものの受信等化に比べ大幅に BER 特性を改善できることが分かる。しかし、 $x=0.5$ とすれば、 E_b/N_0 の小さい領域では BER 特性が若干劣化するものの、BER フロアを大幅に低減できる。

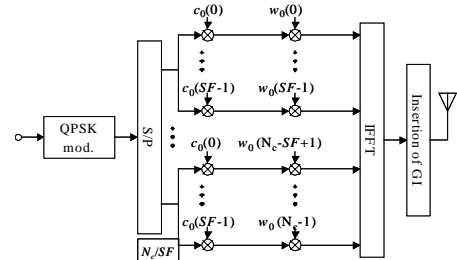


図 1 上りリンク送信系(ユーザ 0)

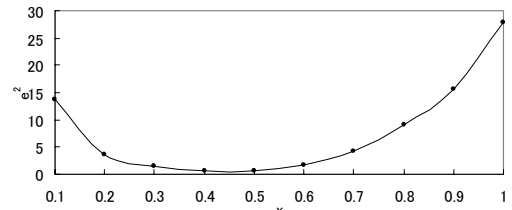


図 2 送信等化誤差

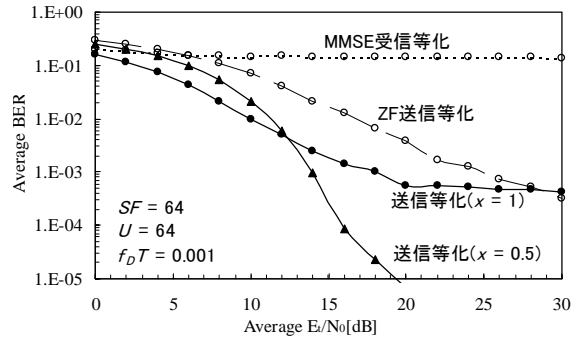


図 3 BER 特性

4. むすび

MC-CDMA 上りリンクにおける MAI を低減する周波数領域送信等化を提案し、等化目標値 x を最適化することにより BER 特性を大幅に改善できることを示した。

5. 参考文献

[1] S. Hara and R. Prasad, IEEE Commun. Mag., pp.126-133, Dec 1997. [2] H. Atarashi, S. Abeta, and M. Sawahashi, IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.1, pp.291-299, Jan. 2003. [3] T. Sao and F. Adachi, IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, no. 1, pp. 352-364, Jan. 2003. [4] I. Cosovic, et. Al, Proc. IEEE VTC'03 Fall, 09D_05, Oct. 2003. [5] S. Haykin, Adaptive filter theory, 3rd edition, Prentice Hall, 1996.