

シングルキャリア伝送における Overlap FDE に用いる MMSE 重みに関する一検討 A Study on MMSE Weight for Overlap FDE in Single-carrier Transmission

小原 辰徳 武田 一樹 安達 文幸
Tatsunori OBARA Kazuki TAKEDA 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

サイクリックプレフィクス (CP) 挿入を必要としない周波数領域等化 (Overlap FDE) [1]は、高いスループットを達成できる [2]。しかし、これまでの検討では、ブロック間干渉 (IBI) を白色雑音に近似して得られる MMSE 等化重みを用いていた。本論文では、IBI が有色雑音であることを考慮した新たな MMSE 等化重みを導出し、その重みを適用した Overlap FDE を用いるシングルキャリア (SC) 伝送のビット誤り率 (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. Overlap FDE

Overlap FDE では、残留 IBI は高速フーリエ変換 (FFT) ブロックの両端に集中することを利用して残留 IBI を抑圧する。受信シンボル系列を M シンボルから成る小ブロックに分割し、この小ブロックを中心として $N_c (\geq M)$ ポイント FFT を適用した後に FDE を行う。等化後の N_c シンボルブロックから中央の M シンボル小ブロックのみを取り出す。 N_c ポイント FFT によって得られる周波数領域受信信号 $\{R(k); k=0 \sim N_c-1\}$ の第 k 周波数成分 $R(k)$ は次式で表される。

$$R(k) = \sqrt{2E_s/T_s} H(k)S(k) + N(k) + \Pi(k) \quad (1)$$

ここで、 E_s はシンボルエネルギー、 T_s はシンボル長、 $H(k)$ 、 $S(k)$ 、 $N(k)$ および $\Pi(k)$ は、それぞれチャネル利得、送信信号成分、IBI 成分および分散が $2N_c N_0/T_s$ (N_0 : 片側電力スペクトル密度) の雑音成分である。 $R(k)$ に 1 タップ MMSE 重み $W(k)$ を乗算した後、 N_c ポイント逆 FFT (IFFT) により時間領域信号 $\{\hat{r}(t); t=0 \sim N_c-1\}$ へ変換し、残留 IBI 抑圧のために中央 M シンボルのみを取り出す。

3. MMSE 重み

従来の Overlap FDE では、IBI を白色雑音と見なした MMSE 重みを用いている [1][2]。しかしながら、実際の IBI は有色雑音である。このことを考慮した 1 タップ MMSE 重みを $W(k)$ は次式で与えられる。

$$W(k) = \frac{H^*(k)}{|H(k)|^2 + \sigma_{IBI}^2(k) + \left(\frac{E_s}{N_0}\right)^{-1}} \quad (2)$$

$\sigma_{IBI}^2(k)$ は第 k 周波数における正規化 IBI 電力であり、次式で与えられる。

$$\sigma_{IBI}^2(k) = \frac{2}{N_c} \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r=1}^{L-1} h_l \tau_l h_r^* \exp\left(-j2\pi k \frac{\tau_l - \tau_r}{N_c}\right) + \frac{2}{N_c} \sum_{l=1}^{L-1} \sum_{r=1}^{L-1} \tau_l h_l h_r^* \exp\left(-j2\pi k \frac{\tau_l - \tau_r}{N_c}\right) \quad (3)$$

ここで、 h_l および τ_l は第 l ($l=0 \sim L-1$) パスの複素パス利得および遅延時間である。

4. 計算機シミュレーション

図 1 に Overlap FDE 後の N_c シンボルブロック内における残留符号間干渉 (ISI) + IBI の正規化平均電力分布を示す。

QPSK 変調、 $N_c=256$ 、 $E_b/N_0=20\text{dB}$ とし、 $L=16$ パスの等電力遅延プロファイルを有する周波数選択性チャネルを仮定している。残留 ISI の影響が支配的なブロック中央部分では、従来重みに比べ提案 MMSE 重みが残留 ISI をより低減できることが分かる。図 2 に $M=128$ のときの平均 BER 特性を示す。比較のため、従来の CP 挿入を行う MMSE-FDE (CP 長: 32 シンボル) の特性も示している。従来の MMSE 重みでは、残留 ISI の影響により誤りフロアが見られるが、提案 MMSE 重みを用いれば、残留 ISI をより低減できるので、CP ありの MMSE-FDE の特性に近づけることができる。

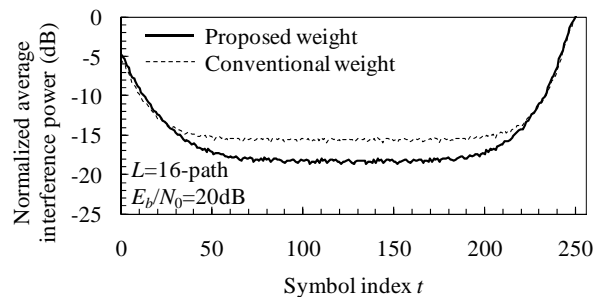


図 1 残留干渉電力分布

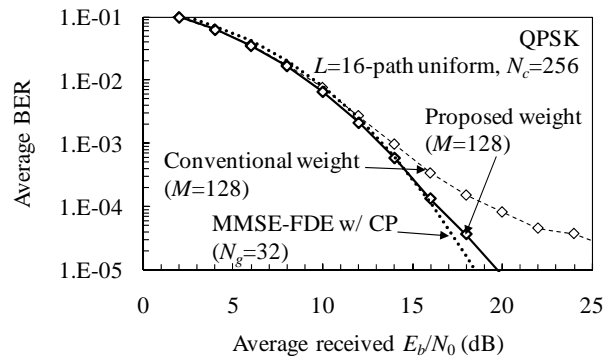


図 2 平均 BER 特性

5. むすび

本論文では、SC 伝送の Overlap FDE において、IBI が有色雑音であることを考慮した新たな MMSE-FDE 重みを導出し、計算機シミュレーションによってその適用効果を明らかにした。

参考文献

- [1] Kazuaki Takeda, Hiromichi Tomeba and Fumiyuki Adachi, IEICE Trans. Commun., Vol. E91-B, No. 6, pp. 1942-1951, June 2008.
- [2] Kazuki Takeda, Hiromichi Tomeba, Kazuaki Takeda and Fumiyuki Adachi, IEICE Trans. Commun., Vol. E90-B, No. 11, pp. 3189-3196, Nov. 2007.