

Tomlinson-Harashima precoding と周波数領域等化を用いるターボ符号化シングルキャリア伝送 HARQ のスループット特性

Throughput performance of turbo coded single-carrier transmission HARQ with joint Tomlinson-Harashima precoding and frequency-domain equalization

武田一樹 留場宏道 安達文幸
 Kazuki Takeda 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

厳しい周波数選択性フェージング環境を克服する技術として、周波数領域等化(FDE)が注目されている。しかし FDE のみでは、符号間干渉(ISI)が残留してしまう。筆者らはこれまで、Tomlinson-Harashima precoding(THP)と FDE を組み合わせ(THP&FDE)、FDE 後の残留 ISI を抑圧する方法を提案してきた[1, 2]。本稿では THP&FDE を適用したターボ符号化シングルキャリア(SC)伝送ハイブリッド ARQ(HARQ)のスループット特性を明らかにしている。

2. THP&FDE [1, 2]

THP を用いない場合、FDE 後の受信信号ブロックは、次式で表される。

$$\hat{\mathbf{r}} = \sqrt{2E_s/T_s} \hat{\mathbf{h}} \mathbf{s} + \hat{\mathbf{n}} \quad (1)$$

ここで E_s はシンボルエネルギー、 T_s はシンボル長であり、 $\hat{\mathbf{r}}$ 、 \mathbf{s} 、 $\hat{\mathbf{n}}$ はそれぞれ $(N_c \times 1)$ の受信信号ブロック、送信信号ブロック、そして雑音ブロックである。 $\hat{\mathbf{h}}$ は $(N_c \times N_c)$ の等価チャネル行列である。 $\hat{\mathbf{h}}$ は対角行列ではないため、残留 ISI が発生してしまう。提案方式では、FDE 後の残留 ISI を抑圧するため THP[3]を用いる。また、THP を用いるために等価チャネル行列に QR 分解を適用する。等価チャネル行列は、QR 分解により直行ユニタリ行列 \mathbf{Q} と上三角行列 \mathbf{R} を用いて $\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{QR}$ と表せることから、受信側で $\hat{\mathbf{r}}$ に対して \mathbf{Q}^H の乗算を行えば、等価チャネル行列を \mathbf{R} に変換することができる。送信機では、 \mathbf{R} をチャネル行列と見立てて THP を適用することで、残留 ISI を抑圧する。

3. 送受信系

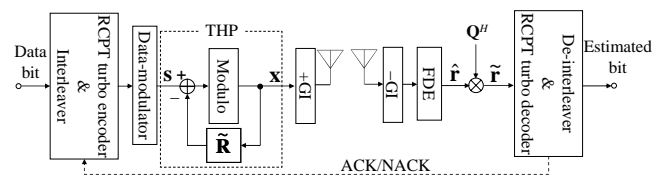


図1 送受信系

図1に送受信系を示す。本稿では、HARQ type II S-P8[4]を用いている。符号化率 $R=1/3$ で符号化された符号語を情報ビット系列と8つのパリティビット系列に分割する。そして情報ビット系列のみを送信し、受信機から再送要求を受信する度に、送信機はパリティビット系列を順次送信する。受信機では、再送ビット系列を受信する度に符号合成、ターボ復号、および誤り検出を行う。

4. 計算機シミュレーション

スループット特性を図2に示す。伝搬路は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ブロックレイリーフェージングチャネルを仮定している。また、ブロッ

ク長は $N_c=128$ とし、ガードインターバルは $N_g=16$ サンプル挿入されているものとしている。チャネル推定は送受信機で理想的になされるものとし、データ変調には QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM 変調を用い、全ての平均送信 E_s/N_0 においてスループットを最大にする変調方式が理想的に選択されているものとする。なお、 N_0 は片側雑音電力スペクトル密度である。QPSK 変調を用いた場合、THP&FDE よりも MMSE-FDE を単独で用いた場合の方が優れたスループット特性が得られている。これは、THP の有する Modulo 演算回路により各シンボルの持つ信号領域が大幅に削られてしまうからである。しかし、高 E_s/N_0 の領域においては 16QAM 変調以上の高多値変調が用いられる。高レベルの多値変調を用いたときは、Modulo 演算による信号領域削減の影響が小さくなり、THP&FDE により残留 ISI を完全抑圧できる(理想チャネル推定時)ことから、優れたスループット特性が得られる。

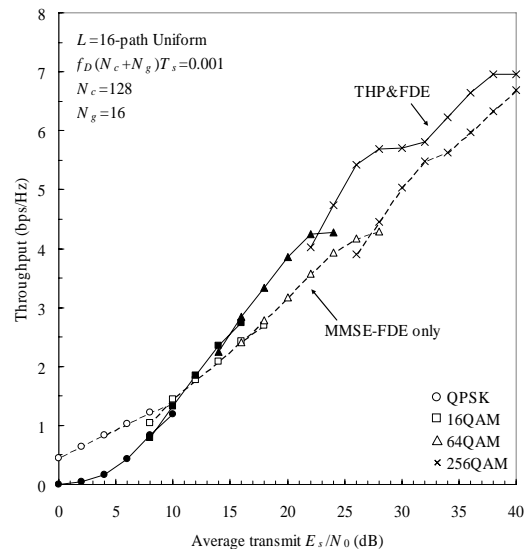


図2 スループット特性

5. まとめ

本稿では、THP&FDE を適用したターボ符号化 SC 伝送 HARQ のスループット特性を計算機シミュレーションにより明らかにした。16QAM 以上の高多値変調を用いる場合には、THP&FDE により優れたスループット特性が得られることを示した。

[1]K. Takeda, H. Tomeba, and F. Adachi, The 3rd IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, Korea, Aug. 2006. [2]武田, 留場, 安達, 信学技報, RCS2006-165, pp. 47-52, 2006年11月 [3]H. Harashima and H. Miyakawa, IEEE Trans. Commun., Vol. 20, No. 4, pp.774-780, Aug. 1972. [4]Rowitch, D. N. and Milstein, L. B., Proc. Communication Theory, Mini-conference of GLOBECOM'97, Nov. 1997.