

判定帰還型チャネル推定を用いる OFDM-STTD の誤り率特性

BER performance of OFDM with STTD using decision feedback channel estimation

石原浩一[†] 武田和晃[‡] 安達文幸[‡]

Koichi ISHIHARA Kazuaki TAKEDA Fumiyuki ADACHI

[†]東北大学工学部通信工学科 [‡]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

周波数選択性フェージングチャネルにおける OFDM 伝送特性の改善技術として時空間符号化送信ダイバーシチ(STTD)[1]が注目されている。STTD 復号ではチャネル推定が必要である。既知のパイロットシンボルを周期的に送信することでチャネル推定する方法が良く知られているが、チャネル推定精度を向上させようとしてパイロット挿入周期を短くするとパイロット挿入による電力損が大きくなる。そこで本論文では、OFDM-STTD における判定帰還型チャネル推定を用いる STTD 復号を提案し、その誤り率特性を計算機シミュレーションによって明らかにしている。

2. 判定帰還チャネル推定を用いる STTD 復号

QPSK 変調されたデータシンボル系列は直並変換された後サブキャリア毎に図1のようにSTTD符号化[1]され、 K ポイント逆高速フーリエ変換(IFFT)を経て2本のアンテナから送信される。送信時のフレームは図2のように構成され、 N ブロック毎にパイロットブロックを送信する(2シンボルで1ブロックを構成)。受信側では、FFTを用いて受信信号を K サブキャリア成分に分解した後、サブキャリア毎に次式のようなSTTD復号を行う。

$$\begin{cases} \sum_{m=0}^{N_r-1} \{ \hat{H}_{0,n}^{(m)*}(k) R_{e,n}^{(m)}(k) + \hat{H}_{1,n}^{(m)}(k) R_{o,n}^{(m)*}(k) \} \stackrel{\text{decision}}{\Rightarrow} \bar{d}_{e,n}(k) \\ \sum_{m=0}^{N_r-1} \{ \hat{H}_{1,n}^{(m)*}(k) R_{e,n}^{(m)}(k) - \hat{H}_{0,n}^{(m)}(k) R_{o,n}^{(m)*}(k) \} \stackrel{\text{decision}}{\Rightarrow} \bar{d}_{o,n}(k) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{d}_{e,n}(k)$ および $\bar{d}_{o,n}(k)$ は、ブロック n を構成するデータシンボル $d_{e,n}(k)$ および $d_{o,n}(k)$ の判定シンボルであり、 $R_{e,n}^{(m)}(k)$ および $R_{o,n}^{(m)}(k)$ はアンテナ m で受信された OFDM 信号のサブキャリア成分、 N_r は受信アンテナ数である。また、 $\hat{H}_{0or1,n}^{(m)}(k)$ はブロック n の復号のためのチャネル推定値であり、1つ前のブロックを用いて以下のように推定する。まず、瞬時チャネル推定値を次式のように求める。

$$\begin{cases} \bar{H}_{0,n-1}^{(m)}(k) = \{ R_{e,n-1}^{(m)}(k) \bar{d}_{e,n-1}^*(k) - R_{o,n-1}^{(m)}(k) \bar{d}_{o,n-1}(k) \} / 2 \\ \bar{H}_{1,n-1}^{(m)}(k) = \{ R_{e,n-1}^{(m)}(k) \bar{d}_{o,n-1}^*(k) + R_{o,n-1}^{(m)}(k) \bar{d}_{e,n-1}(k) \} / 2 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $\bar{H}_{0,n-1}^{(m)}(k)$ および $\bar{H}_{1,n-1}^{(m)}(k)$ は、送信アンテナ0および1と受信アンテナ m との間のサブキャリア k のフェージング利得 $\sqrt{2S} H_{0,n-1}^{(m)}(k)$ および $\sqrt{2S} H_{1,n-1}^{(m)}(k)$ (S は平均受信電力)の推定値である。判定誤りの影響を軽減するため、周波数領域と時間領域の平均化フィルタを導入する。周波数領域の平均化では対象とするサブキャリア k の前後それぞれ α 個のチャネル推定値を平均化する。すなわち、

$$\tilde{H}_{0or1,n-1}^{(m)}(k) = \sum_{k'=-\alpha}^{\alpha} \bar{H}_{0or1,n-1}^{(m)}(k+k') / (2\alpha+1) \quad (3)$$

次に、忘却係数 β の1次フィルタを用いて時間領域の平均化を行い、式(1)のチャネル推定値 $\hat{H}_{0or1,n}^{(m)}(k)$ を次式のように得る。

$$\hat{H}_{0or1,n}^{(m)}(k) = (1-\beta)\tilde{H}_{0or1,n-1}^{(m)}(k) + \beta\tilde{H}_{0or1,n-1}^{(m)}(k) \quad (4)$$

ここで $|\beta| \leq 1$ であり、 $\hat{H}_{0or1,n=0}^{(m)}(k) = 0$ である。 α および β の最適値は、それぞれチャネルの周波数選択性および時間選択性の関数になる。本論文では、 α と β の最適値を計算機シミュレーションにより求めている。

3. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションではFFTポイント数を $K=256$ 、ガードインターバル(GI)を $N_g=32$ サンプルとしている。フェージングチャネルは、一様電力遅延プロファイルを有する周波数選択性レイリーフェージングチャネルで、 $L=16$ 個の独立なパスから構成されているものとする。正規化最大ドップラー周波数は $f_D T=0.001$ としている(T は GI 付加後の OFDM シンボル長)。図3に計算機シミュレーションで得られた平均BER特性を示す。また、比較のため、

判定帰還を用いず先頭ブロックで送信されたパイロットシンボルより推定したチャネル推定値を N ブロック全ての STTD 復号に用いるときと差動符号化 STTD[2]の平均BER特性も示した。図3より、判定帰還型チャネル推定はパイロットシンボルのみを用いるチャネル推定よりも優れたBER特性を得ることができることが分かる。 $N=64$ のとき、所要BER= 10^{-3} を確保するための所要 E_b/N_0 の理想チャネル推定からの劣化は約2dBであり、差動符号化 STTD より約4dB少ない。受信アンテナダイバーシチを併用した場合($N_r=2$)は、理想チャネル推定からの劣化を約1dBまで近づけることができ、差動符号化 STTD より約5dB少ない。また、フレーム長を $N=1024$ ブロックに大きくしてもほとんど特性が劣化しないことが分かる。

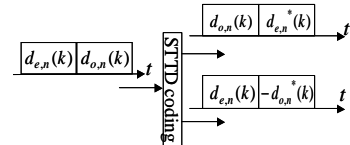


図1 STTD符号化

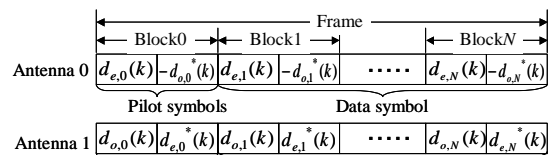


図2 STTD符号化シンボル系列

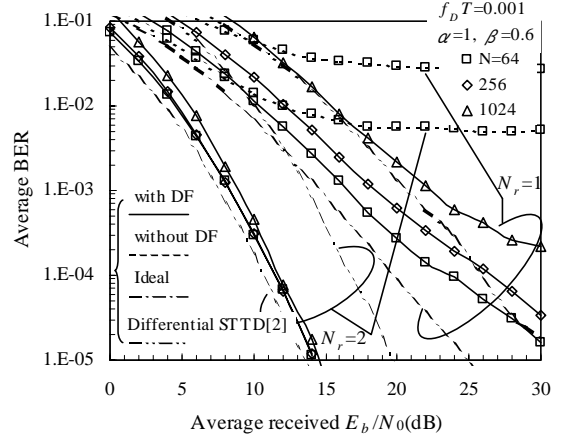


図3 平均BER特性

4. むすび

超高速無線伝送では、シンボル間のフェージングチャネルの変動(つまり $f_D T$)は極めて小さいため、本論文で提案した判定帰還型チャネル推定はSTTD復号に適したチャネル推定であるといえる。

5. 参考文献

[1] S. Alamouti, IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol. 16, No. 8, pp.2817-2821, Sept. 2000.
 [2] V. Tarokh, IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol.18, No.7, pp.1169-1174, July 2000.