

# 循環遅延パイロットチャネル推定を用いるシングルキャリア STBC ダイバーシチに関する一検討

## Study on Single-carrier STBC Diversity using Cyclic Delay Pilot Channel Estimation

吉岡翔平\*1 熊谷慎也\*2 山本哲矢\*2 小原辰徳\*2 安達文幸\*2

Shohei Yoshioka Shinya Kumagai Tetsuya Yamamoto Tatsunori Obara Fumiyuki Adachi

\*1 東北大学 工学部 情報知能システム総合学科

\*2 東北大学 大学院工学研究科 通信工学専攻

Dept. of Information and Intelligent Systems, School of Engineering, Tohoku University

Dept. of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

### 1. まえがき

時空間ブロック符号化(STBC)ダイバーシチは、高い空間ダイバーシチ効果を得ることができる[1]。本稿では、循環遅延パイロットチャネル推定(CDP-CE)[2]及び1次線形内挿補間・外挿補間[3]を用いる時分割複信シングルキャリアSTBC(TDD SC-STBC)ダイバーシチについての検討を行い、チャネル推定誤差の影響を明らかにしている。

### 2. 伝送モデル

送受信フレーム構成を図1に、伝送モデルを図2に示す。SC-STBCダイバーシチでは送受信機のどちらか一方のみで周波数領域等化(FDE)を行う。基地局及び端末アンテナ本数をそれぞれ  $N_{BS}$  及び  $N_{MS}$  とし、端末での信号処理を簡易にするため、チャネル推定、下りリンク送信 FDE と上りリンク受信 FDE を基地局で行うものとする。送信フレームは  $N_d$  個の STBC 符号化データブロックから構成され、各ブロックは  $N_c+N_g$  個のシンボルから構成されている。ここで  $N_c$  は高速フーリエ変換(FFT)/逆 FFT(IFFT)のブロックサイズ、 $N_g$  はガードインターバル(GI)長である。上りリンク送信フレームの  $N_d$  個の STBC 符号化データブロックの前後にそれぞれ1パイロットブロックを挿入するものとし、パイロット信号には送信アンテナごとに異なる循環遅延を与えた Chu 系列[4]を用いる。下りリンク送信フレームは  $N_d$  個の STBC 符号化データブロックのみで構成される。

端末は STBC 符号化データブロック及びその前後に挿入されたパイロットブロックからなるフレームを送信する。基地局では、CDP-CEによりパイロットブロック受信時点の瞬時チャネル推定を行う。上りリンク瞬時チャネル推定値を用いた1次線形内挿補間および外挿補間により、上りリンク受信 FDE および下りリンク送信 FDE のためのチャネル推定値を求める。第  $n_{MS}$  番目( $n_{MS}=0\sim N_{MS}-1$ )の端末アンテナと第  $n_{BS}$  番目( $n_{BS}=0\sim N_{BS}-1$ )の基地局アンテナの間の、フレーム内第  $n$  ブロック時点の第  $k$  周波数におけるチャネルの伝達関数を次式により求める。

$$H_{n_{MS},n_{BS},k}(n) = \frac{N_d - n}{N_d + 1} H_{n_{MS},n_{BS},k}^- + \frac{n + 1}{N_d + 1} H_{n_{MS},n_{BS},k}^+ \quad (1)$$

ここで、 $H_{n_{MS},n_{BS},k}^-$  及び  $H_{n_{MS},n_{BS},k}^+$  はそれぞれ上りリンクの受信フレームの先頭及び後尾ブロック時点におけるチャネルの伝達関数の推定値である。上りリンクでは、 $n=0\sim N_d-1$  におけるチャネル内挿補間値を用いて最小平均二乗誤差規範に基づく受信 FDE(MMSE-FDE)を行い STBC 復号する。さらに、下りリンクでは、 $n=N_d+1\sim 2N_d$  におけるチャネル外挿補間値を用いて送信 MMSE-FDE を行い、端末へ送信する。

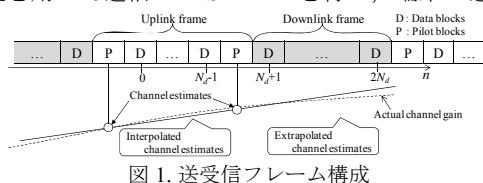


図1. 送受信フレーム構成

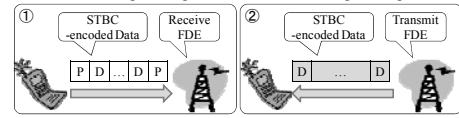


図2. 伝送モデル

### 3. 計算機シミュレーション

$N_c=256$ ,  $N_g=32$ ,  $N_d=8$ , QPSK 変調を用い、 $L=16$  パスの等電力遅延プロファイルを有するブロックレイリーフェージングチャネルを仮定する。パイロット信号の最小循環遅延  $\Delta=32$  とし、第  $n_{MS}$  番目の端末アンテナから送信されるパイロット信号の循環遅延量を  $\Delta \times n_{MS}$  としている。

図3に、 $(N_{BS}, N_{MS})=(4,4)$  のときの平均ビット誤り率(BER)特性を示す。横軸は平均送信(下り)および受信(上り)ビットエネルギー対雑音電力スペクトル密度比( $E_b/N_0$ )である。正規化最大ドップラー周波数  $f_D T_s (=f_D(N_c+N_g)T_s)=0.001$  及び  $0.05$  としている。ここで、 $T_s$  はシンボル長である。チャネル変動の比較的緩慢な  $f_D T=0.001$  では、理想チャネル推定からの上りリンク伝送特性劣化量を約  $1.5\text{dB}$  にまで抑えられる( $1\text{dB}$  のパイロット挿入損失含む)。しかし、下りリンク伝送は外挿補間によるチャネル時変動への追従性が低いため、理想チャネル推定から約  $2\text{dB}$  特性が劣化する。 $f_D T=0.05$  になるとチャネル変動への追従性能の劣化と STBC 符号の直交性の崩れの影響が大きくなり、上下リンク伝送ともに理想チャネル推定から大幅に特性が劣化する。

図4に、 $(N_{BS}, N_{MS})=(2,2)$  及び  $(4,4)$  のときについて、平均送信/受信  $E_b/N_0=5\text{dB}$  のときの  $f_D T$  対平均 BER を示す。 $f_D T < 0.01$  では上下リンク伝送ともに特性劣化を抑えられるが、 $f_D T > 0.01$  では大幅に特性が劣化している。しかし例えば搬送波周波数が  $2\text{GHz}$ 、帯域幅が  $20\text{MHz}$  の場合、 $f_D T=0.01$  は  $250\text{km/h}$  の高速移動に相当し、TDD SC-STBCダイバーシチは実用的な移動速度の範囲内で優れた伝送特性を実現できると言える。

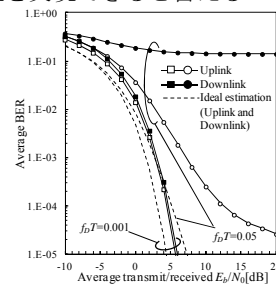


図3.  $E_b/N_0$  対平均 BER 特性

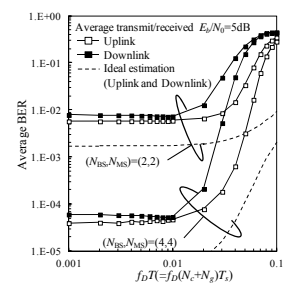


図4.  $f_D T$  対平均 BER 特性

### 4. まとめ

本稿では CDP-CE を用いる TDD SC-STBC ダイバーシチについて検討した。計算機シミュレーションにより、実用的な移動速度の範囲内で優れた伝送特性を実現できることを示した。

[1] F. Adachi, et al, Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley, Nov. 2011, doi:10.1002/wcm.1212. [2] T. Fujimori, et al, IEICE Trans. Commun., Vol.E91-B, No.9 Sept. 2008. [3] 武田, 安達, 信学会総合大会, B-5-99, 2010年3月. [4] D. Chu, IEEE Trans. on Inf. Theory, Vol.18, No.4, pp.531-532, Jul. 1972.