

## ターボソフト干渉キャンセラを用いる OTFS 変調のブロック誤り率特性

## B-5 BLER Performance of OTFS Modulation Using Turbo Soft Interference Canceller

井田 匠海<sup>†</sup>      阿南 光隆<sup>†</sup>      岸山 祥久<sup>††</sup>      佐和橋 衛<sup>†</sup>  
 Takumi Ida<sup>†</sup>,      Mitsutaka Anan<sup>†</sup>,      Yoshihisa Kishiyama<sup>††</sup>,      Mamoru Sawahashi<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 東京都市大学  
 Tokyo City University

<sup>††</sup> 株式会社 NTT ドコモ  
 NTT DOCOMO, INC.

## 1. まえがき

本稿では、Orthogonal Time Frequency Space (OTFS) 変調[1]に、ターボソフト干渉キャンセラ(SIC: Soft Interference Canceller)を適用した場合のマルチパスフェージングチャネルにおけるブロック誤り率(BLER: Block Error Rate)特性を計算機シミュレーションにより評価する。

## 2. OTFS 変調

図 1 に OTFS 変調の送信部構成を示す。OTFS 変調は、情報シンボルを遅延 - ドップラ領域のリソースエレメント(RE: Resource Element)にマッピングし、Symplectic fast Fourier Transform (SFFT)により、時間 - 周波数領域の信号に変換する[1]。本稿では、LTE のサブフレーム構成を仮定した[2]。サブキャリア間隔は 15 kHz とし、1 ms 長のサブフレームは 14 OFDM シンボルを含む。信号帯域は、48 サブキャリアから構成される 4 リソースブロック(RB: Resource Block) (= 720 kHz)とした。チャンネル符号化後のビットを QPSK マッピングし、シンボルを遅延 - ドップラ領域の RE にマッピングした。遅延軸の 1 RE 幅を表す  $\Delta\tau$  は  $\Delta\tau = 1/(N_f \Delta f)$ 、ドップラ軸の 1 RE 幅を表す  $\Delta\nu$  は、 $\Delta\nu = 1/(N_t \Delta t)$  で表わせる。ここで、 $\Delta f = 15$  kHz、 $N_f = 48$  サブキャリア、 $\Delta t = 1/\Delta f$ 、 $N_t = 14$  OFDM シンボルである。次式に示すように、SFFT により遅延 - ドップラ領域の RE  $x(m, n)$  を時間 - 周波数領域の RE  $X(k, l)$  に変換した[1]。

$$X(k, l) = \sum_{m=0}^{N_f - N_t - 1} \sum_{n=0}^{N_t - 1} \exp\left(-j2\pi\left(\frac{lm}{N_f} - \frac{kn}{N_t}\right)\right) x(m, n) \quad (1)$$

$X(k, l)$  を、従来の OFDM と同様に、Inverse FFT (IFFT) により、時間領域信号に変換した。IFFT のサイズは、1024 ポイントとした。OTFS 変調では、遅延 - ドップラ領域の RE にマッピングされた情報シンボルは、時間 - 周波数領域では、周波数領域では信号帯域幅、時間領域では 1 サブフレーム区間に拡散されるため、OFDM に比較して大きな周波数ダイバーシチ、及び時間ダイバーシチ効果を得ることができる[1]。従って、特にドップラ周波数が高くなる高速移動環境等で OFDM に比較して BLER の改善効果が期待できる。

## 3. ターボ SIC 構成

チャンネル符号化に符号化率  $R = 3/4$  及び拘束長 4 ビットのターボ符号を用いた。OTFS 変調では、伝搬路の変動がない場合には、時間 - 周波数領域で拡散されたシンボル間の直交性は維持される。しかしながら、時変のマルチパスフェージングチャネルでは、Inverse SFFT (ISFFT) 処理後の各シンボルは、他シンボルからのシンボル間干渉(ISI: Inter-Symbol Interference)を受ける。従って、ターボ SIC で ISI を除去する[3],[4]。図 2 に示す時間 - 周波数領域で受信信号から ISI を差し引く構成のターボ SIC を提案する。ターボ SIC の第 1 ステージでは、FFT 処理後の時間 - 周波数領域の RE に対して、平均 2 乗誤差最小(MMSE: Minimum Mean Square Error)フィルタで ISI を抑圧後、ISFFT で遅延 - ドップラ領域のシンボルに変換した。その後、情報シンボルの各ビットの対数尤度比(LLR: Log-Likelihood Ratio)を計算し、LLR をデインタリーブ後、Max-Log-MAP 復号器で復号した。復号器出力の LLR からシンボル推定値を生成し、SFFT により、時間 - 周波数領域信号に変換した。他のシンボルの時間 - 周波数領域の各 RE にチャンネル応答を乗算後の推定値を信号から差し引くことにより ISI を除去した。

## 4. 計算機シミュレーション評価

図 3 に OTFS 変調の平均受信 SNR に対する平均 BLER 特性を示す。伝搬チャネルモデルは、9 パス Extended Vehicular-A (EVA) チャネルモデル[5]を用いた。 $N_{Rx} = 2$  アンテナの受信ダイバーシチを用いた。最大ド

ップラ周波数を  $f_D = 500$  Hz とした。図より、ターボ SIC のステージ数  $N_{TSIC} = 3$  で平均 BLER の改善がほぼ飽和している。 $N_{TSIC} = 3$  のとき、受信ダイバーシチ無し( $N_{Rx} = 1$ )及び有り( $N_{Rx} = 2$ )のとき、OTFS 変調の平均 BLER が  $10^{-2}$  を満たすための所要平均受信 SNR は、OFDM に比較してそれぞれ約 2.0, 0.7 dB 低減できている。

## 5. まとめ

本稿では、OTFS 変調の 9 パス EVA チャネルモデルにおける平均 BLER を評価した。シミュレーション結果より、ターボ SIC のステージ数  $N_{TSIC} = 3$  で平均 BLER の改善がほぼ飽和し、このとき、 $N_{Rx} = 1$  及び 2 の場合、平均 BLER が  $10^{-2}$  を満たすための所要平均受信 SNR を OFDM に比較してそれぞれ約 2.0, 0.7 dB 低減できることを示した。

## 参考文献

[1] R. Hadani, et al., Proc IEEE WCNC2017, Mar. 2017. [2] 3GPP TS 36.211, V13.2.0, June 2016. [3] T. Abe and T. Matsumoto, Proc. IEEE VTC2001-Fall, Sept. 2001. [4] J. Wang and S. Li, Proc. PIMRC2007, Sept. 2007. [5] 3GPP TS 36.104 V12.5.0, Sept. 2014.

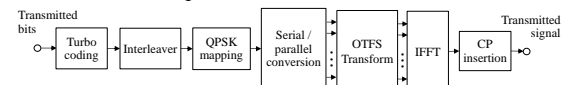


図 1 OTFS 変調の送信部構成

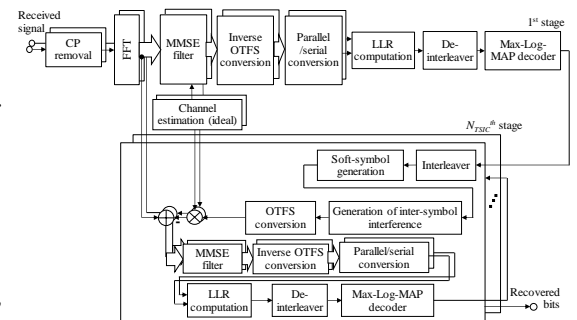


図 2 OTFS 変調における提案のターボ SIC 構成

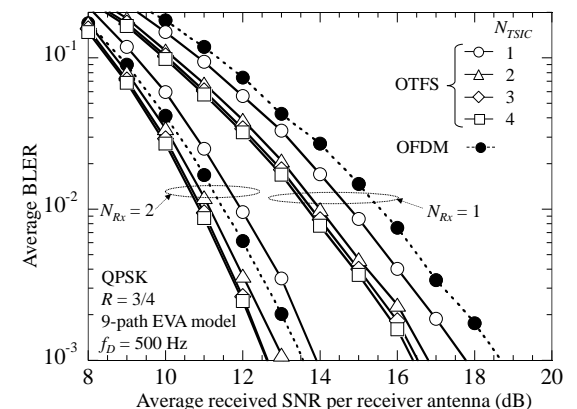


図 3 OTFS 変調の平均受信 SNR に対する平均 BLER 特性