

# OFDMにFTNを用いたときのターボソフト干渉キャンセラにおける 軟判定シンボル推定値の生成法の検討

B-5

## Study on Soft-symbol Generation Method of Turbo SIC for OFDM Using Faster-than-Nyquist Signaling

鄭 斌<sup>†</sup>  
Bin Zheng

山田 雄基<sup>†</sup>  
Yuki Yamada

齊藤 敬佑<sup>††</sup>  
Keisuke Saito

佐和橋 衛<sup>†</sup>  
Mamoru Sawahashi

<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 Frequency Division Multiplexing (OFDM) に Faster-than-Nyquist (FTN) を適用したときのシンボル間干渉 (ISI: Inter-Symbol Interference) 及びサブキャリア間干渉 (ICI: Inter-subcarrier interference) を除去するためのターボソフト干渉キャンセラ (SIC: Soft Interference Canceller) の軟判定シンボル推定値の生成法について検討する.

### 2. Faster-than-Nyquist (FTN) の送信部構成

FTN は ISI 及び ICI を許容して, 情報シンボルをナイキストレートより高速に多重することにより周波数利用効率を向上する [1]. 送信部では, ターボ符号化後のビット系列をインタリーブ後, 変調マッピングし, 直列/並列変換して OFDM シンボルを生成する. OFDM シンボル長を  $T$  で表す. FTN では OFDM シンボルを  $T_A T$  間隔で多重する. 時間領域の OFDM シンボルの圧縮率  $T_A$  を 1 より小さくすることにより, 周波数利用効率を向上できる.  $T_A$  の逆数は時間領域のリソースエレメント圧縮を用いた場合の周波数利用効率の改善ファクタ  $\gamma$  である. FTN 信号の生成には, FTN 信号を OFDM シンボルにマッピングして生成する方法 [2] を用いた. サブキャリア  $k$  及びシンボル  $l$  位置の FTN シンボルが, サブキャリア  $m$  の OFDM シンボル  $n$  に与える ISI 及び ICI を表すマッピング係数, すなわち射影係数  $C_{k,l,m,n}$  をそれぞれの時間領域波形の内積により計算した.

### 3. ターボ SIC を含む受信部構成

図 1 に FTN を用いたときのターボ SIC [3],[4] の構成を示す. FTN デマッピング部では, 送信部と同じ射影係数を用いて OFDM シンボルから FTN シンボルを生成する (ただし, 受信部の射影係数の正規化係数は送信部とは異なる). 初回繰り返しでは, 他の FTN シンボルからの ISI 及び ICI が除去されていない状態で, 受信信号と情報シンボルレプリカとの最小 2 乗ユークリッド距離から, 情報ビットが "0", 及び "1" になる事後確率を求め, 事後 LLR (*a posteriori* LLR) を計算する. 事後 LLR をデインタリーブ後, Max-Log-MAP 復号器に入力する. Max-Log-MAP 復号器出力の外部 LLR (extrinsic LLR), あるいは事後 LLR を用いて軟判定シンボル推定値を生成する (図 1 には事後 LLR を用いた場合を示す). 一般には, 復号器出力の各ビットの外部 LLR を用いて軟判定シンボル推定値を生成する [3],[5]. しかしながら, Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 多重において干渉レベルが高い場合には, 各ビットの事後 LLR を用いて軟判定シンボル推定値を生成した方が, 外部 LLR を用いる場合に比較して良好な誤り率が得られることが示されている [5],[6]. 着目する情報シンボルに対して, ISI 及び ICI を与える全てのサブキャリア位置の情報シンボルの軟判定シンボル推定値を生成する. この ISI 及び ICI を与える軟判定シンボル推定値に FTN マッピングを行い, 各 OFDM シンボル位置の ISI 及び ICI 成分を生成する. 全ての FTN シンボルに対して, ISI 及び ICI 成分の除去後, FTN デマッピング, LLR の計算, 復号を行う. 2 回目以降の繰り返しでは, FTN デマッピング後の信号から生成した事後 LLR, あるいは事後 LLR から前段の事前 LLR を差し引いた外部 LLR を Max-Log-MAP 復号器に入力する. OFDM 軟判定シンボル推定値の生成, FTN マッピング, ISI 及び ICI 成分の生成の処理を  $N_{TSC}$  回繰り返す.

### 4. 計算機シミュレーション評価

変調方式は QPSK, ターボ符号は符号化率 1/2, 拘束長 4 ビットの符号を用いた. 伝搬チャネルモデルは, GSM 6パス Typical Urban チャネルモデル [7] を用い, 最大ドップラ周波数を 5.55 Hz とした. 受信機では, 理想チャネル推定を仮定した. 図 2 に FTN を用いた場合の平均受信 SNR に対する平均

ブロック誤り率 (BLER: Block Error Rate) 特性を示す.  $N_{TSC} = 5$ , 及び  $\gamma = 16/14$  とした. 図 2 より, Max-Log-MAP 復号器出力の各ビットの事後 LLR を用いて軟判定シンボル推定値を生成し, 2 回目以降の繰り返しループにおいて, FTN デマッピング後の信号から計算した事後 LLR を Max-Log-MAP 復号器に入力する方法が最も良好な平均 BLER 特性を実現できている. この場合の平均 BLER が  $10^{-2}$  を満たすための所要平均受信 SNR の Cyclic prefix (CP) を用いる OFDM からの劣化は, 約 2 dB に抑えられている.

### 5. まとめ

本稿では, OFDM に FTN を適用した場合に, ターボ SIC において復号器の各ビットの事後 LLR を用いて軟判定シンボル推定値を生成し, 2 回目以降の繰り返しループにおいても, FTN デマッピング後の信号から計算した事後 LLR を復号器に入力する構成が適していることを示した.

### 参考文献

- [1] J. E. Mazo, *BSTJ*, vol. 54, no. 8, pp. 1257-1264, 1975. [2] D. Dasalukunte, F. Rusek, and V. Öwall, *IEEE Trans. on Circuits and Systems-I (TCAS-I)*, vol. 58, no. 4, pp. 827-838, Apr. 2011. [3] T. Abe and T. Matsumoto, *Proc. IEEE VTC2001-Fall*. [4] J. Wang and S. Li, *Proc. PIMRC2007*. [5] M. Witzke, et al., *Proc. IEEE Globecom 2003*, Dec. 2003. [6] B. Ning, et al., *Proc. ISWCS2012*, Aug. 2012. [7] 3GPP TS 45.005 (V11.3.0), March 2013.

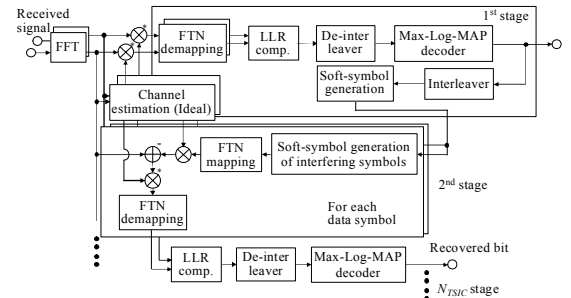


図 1. FTN を用いたときのターボ SIC の構成

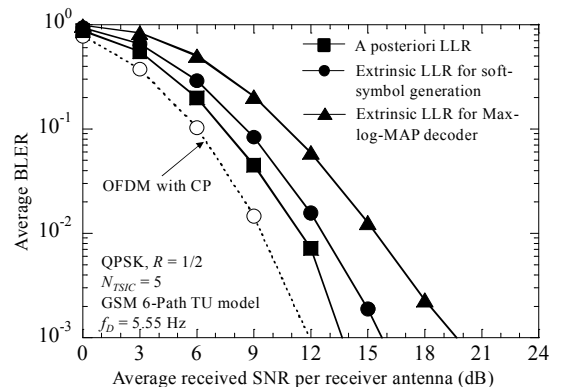


図 2. OFDM に FTN を用いた場合の平均受信 SNR に対する平均 BLER 特性