

# Faster-than-Nyquist信号の生成法の検討

## B-5 Study on Generation Methods of Faster-than-Nyquist Signaling

阿南 光隆 Mitsutaka Anan  
 福島 佑樹 Yuki Fukushima  
 佐和橋 衛 Mamoru Sawahashi  
 東京都市大学 Tokyo City University

### 1. まえがき

Faster-than-Nyquist (FTN)は、ナイキストレートより高速レートでシンボルを多重することにより、ナイキストレート伝送に比較して周波数利用効率を向上することができる[1]。本稿では、FTN信号の生成法の特徴を比較評価し、FTNを用いた場合のブロック誤り率(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. FTN信号の生成法の比較

FTN信号の生成法として、3種類の方法が提案されている[2]。①FTNマッピングを用いてFTN信号をOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)信号にマッピングして生成する方法[3]、②複数のIFFT (Inverse Fast Fourier Transform)を用いる方法[4]。③Fractional IFFTを用いる方法[2]である。表1に3種類のFTN信号生成法の特徴を示す。FTNマッピング法は、送信部で、FTNマッピング係数を用いてFTNシンボルからOFDMシンボルへのマッピングを行い、以降はOFDMと同じ処理を行う。受信部では、OFDM信号を送信部で用いたFTNマッピング係数を適用してFTN信号を再生するFTNデマッピング処理を行う。複数のIFFTを用いる方法は、時間領域のOFDMシンボル間隔をナイキスト間隔より短くしたFTN信号を直接生成する方法である。Fractional IFFTを用いる方法は、OFDMの周波数領域のサブキャリア間隔を短くした信号を生成することにより周波数領域の高密度多重を実現する方法である。複数のIFFTを用いる方法は他の2つの方法に比較して、IFFT及びFFTの演算量が増大する。また、同一システム帯域内のFTN信号とOFDM信号の混在を考慮した場合におけるOFDM信号生成とのコモナリティはFTNマッピング法、及び複数のIFFTを用いる方法が優れている。FTNマッピング法は、時間及び周波数領域の非直交多重を実現するFTN信号を生成するのに優れた方法であるが、受信部におけるFTNデマッピング処理では、FTNシンボル毎の振幅情報が必要になる。従って、信号空間配置に応じて振幅が変化するQAMの場合には一般に適用が困難である。

### 3. 計算機シミュレーション評価

QAMへの拡張性を考慮して、時間領域のOFDMシンボルの非直交多重を実現できる複数のIFFTを用いる方法のマルチパスフェージングチャネルにおける平均BLER特性を計算機シミュレーションにより評価した。図1に複数のIFFTを用いるFTN信号生成法を適用した場合の受信部構成を示す。送信部では、ターボ符号化を行った送信ビットはビットインタリーブ後、変調マッピングを行う。OFDMシンボル間隔を圧縮したFTNシンボルを複数のIFFTで生成し、IFFT出力信号の時間領域信号を加算する。受信部では、オーバーラップしたFTNシンボルタイミング毎にFFT処理を行う。FTNシンボルには、シンボル間干渉(ISI: Inter-Symbol Interference)、サブキャリア間干渉(ICI: Inter-subCarrier Interference)が含まれているため、ターボソフト干渉キャンセラ(SIC: Soft-Interference Canceller)を用いてISI、ICIを低減する。図2にFTNを用いた場合のFTN周波数効率比 $\gamma$ に対する平均BLERが $10^{-2}$ を満たすための所要平均受信SNR特性を示す。FTN周波数効率比 $\gamma$ はサブフレーム内のOFDMシンボル数に対するFTNシンボル数の比を示す。基本検討としてQPSKを用い、ターボ符号の符号化率は $1/2$ とした。ターボSICの繰り返し回数 $N_{TSC} = 10$ とした。比較のため8PSK、16QAMを用いたときのCyclic prefixを付加した場合のOFDMの特性も示す。図より $\gamma$ を増大するに従って残留ISI、ICIに起因して所要平均受信SNRは増大している。RF無線回路の劣化要因を考慮しない場合は、FTNを適用するこ

とにより8PSKに比較して周波数利用効率は改善するものの、16QAMに比較して周波数利用効率の改善効果は小さくなっている。

### 4. まとめ

本稿では、FTN信号の生成法の検討を行った。QAMへの拡張性を考慮して複数のIFFTを用いる生成法を用いた場合の平均BLERが $10^{-2}$ を満たす所要平均受信SNR特性を取得し、周波数利用効率の改善効果よりFTN信号の生成法の妥当性を確認した。

### 参考文献

- [1]F. Rusek and J.B.Anderson, Proc. IEEE ISIT2005. [2]D. Dasalukunte, *et al.*, "Faster than Nyquist Signaling," Springer, 2014. [3] D. Dasalukunte, *et al.*, IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap., vol. 58, 2011. [4]P.N.Whatmough, *et al.*, Proc. IEEE ISCAS2011. [5]3GPP TS 36.104 (V12.5.0), Sept. 2014.

表 1 FTN 信号生成法の特徴の比較

FTN信号生成法	高密度化	演算量 (OFDMとの比較)	OFDMとのコモナリティ	多値変調(QAM)の適用性
① FTNマッピング法	OFDMシンボル間隔/サブキャリア間隔	やや増大	大きい	非常に低い
② 複数のIFFTを用いる方法	OFDMシンボル間隔	増大	大きい	高い
③ Fractional IFFT法	サブキャリア間隔	やや増大	小さい	高い

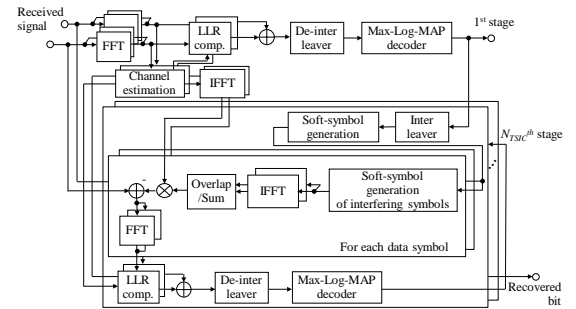


図 1 複数の FFT を用いる FTN の受信部構成

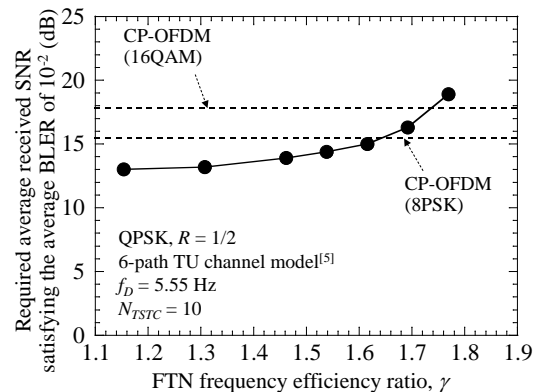


図 2 FTN 周波数利用効率に対する平均 BLER が  $10^{-2}$  を満たすための所要平均受信 SNR 特性