

OFDM 伝送を用いた鉄道信号システムの FPGA 実装に関する検討 FPGA Implementation for Railway Signaling System Using OFDM Transmission method

○樋口 凌¹, 望月 寛²*Ryo Higuchi¹, Hiroshi Mochizuki²

Abstract: At present, railway signaling systems in which control information is transmitted via rails have been deployed in many applications, such as automatic train control (ATC) systems in Japan. Here it is difficult to increase the transmission speed due to the transmission characteristics of rails. To overcome this problem, we have proposed a new transmission method using an orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), and evaluated the detailed composition in which data judgment using majority decision was applied for improving the bit error rate (BER) characteristics. In this paper, we described FPGA implementation of our proposed method. And we evaluated the performance on the implemented devices.

1. はじめに

現在, ATC(Automatic Train Control)システムなどに代表される軌道回路(レール)を用いた鉄道信号システムが広く用いられている. 軌道回路を伝送媒体として用いることは無線方式に比べて妨害波への配慮が容易であるなど安全性の点で優位性を持つ一方で, 列車が持つ特有の鉄道雑音の影響が強いことや, 可聴周波数帯を用いた伝送のため伝送速度を高くできないという問題がある. この問題に対して, サブキャリア間を狭めることで限られた周波数内に多くのキャリアを重畳することが可能な OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送を軌道回路に導入する手法について検討している^[1]. 先行研究においては, OFDM 伝送を適用した鉄道信号システムを実現する上で, ビット誤り率(Bit Error Rate: BER)特性を向上させるためのデータ割当て手法を明らかにしている^[2].

これを踏まえて本研究では, 実際にプログラマブルなデバイスである FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた実装について検討した. 具体的には, OFDM 伝送のキーとなる FFT(Fast Fourier Transform), 及び IFFT(Inverse FFT)を実装した際の評価を行うとともに, OFDM 信号発生部を構築, その出力特性についてあわせて評価した.

2. 軌道回路を用いた伝送の特徴

軌道回路は 10kHz 以上の高域で大きく減衰する特性を有するため, 一般の無線通信のような周波数帯を用いることができず可聴周波数帯での伝送となる. また, 雑音に関して, 一般的に対象とする白色雑音とは異なり, 帰線電流に含まれている商用周波数の高調波成分を多く含んだ雑音となっている. 図 1 に鉄道雑音のスペクトラム分布の一例を示すが, この図より商用周波数の 6 次高調波つまり 300Hz の通倍でピークを持

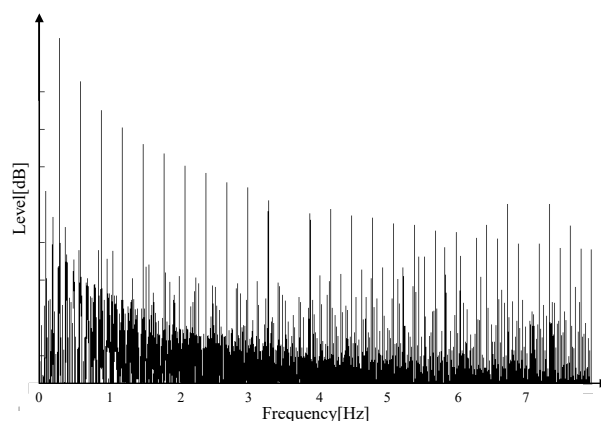


Figure 1. Spectral distribution of rail noise.

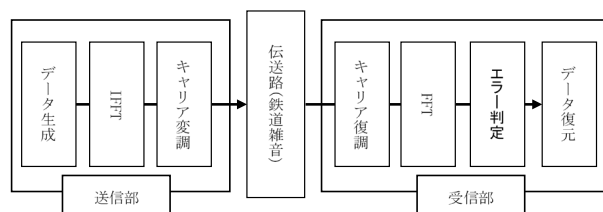


Figure 2. Block diagram of OFDM transmission model for railway signaling system.

つ雑音が支配的であることが分かり, またに, 時間的に変動することも特徴として挙げられる.

3. OFDM 伝送を用いた鉄道信号システム

前節に示した軌道回路伝送の特徴を踏まえて, OFDM 伝送を用いた鉄道信号システムのブロック図を図 2 に示す. OFDM 伝送は多数の搬送波を用いるマルチキャリア方式の一つであり, サブキャリア間の伝送帯域が重なっても直交関係により干渉しない. そのため, 周波数利用率を高めることが可能となり, 狭帯域伝送路において有効であると考えられる. また, 特定の周波数にピークを持つような鉄道雑音に対しては, 複数のキャリアに同じデータを乗せることで, ビット誤

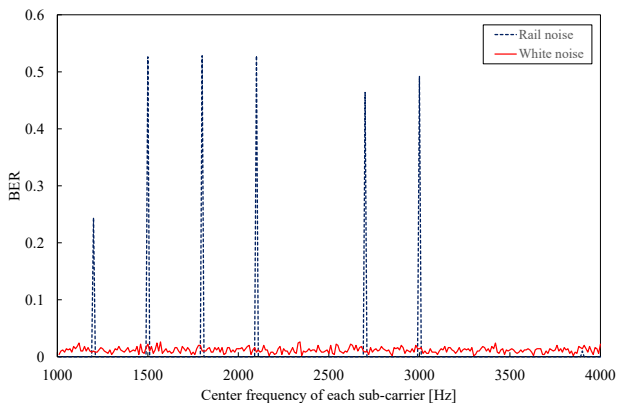


Figure 3. BER characteristics versus each sub-carrier.

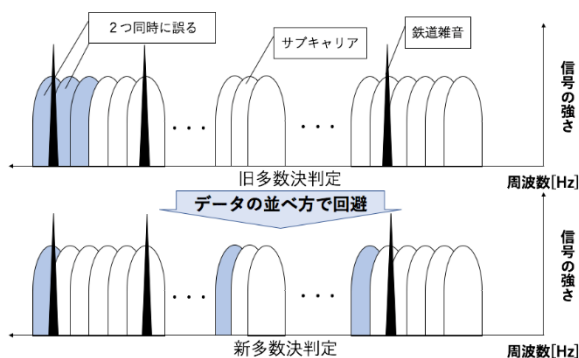


Figure 4. Improvement of data allocation method.

り率(Bit Error Rate: BER)特性を向上できる可能性がある。図 3 には鉄道雑音と白色雑音を付加した際の各サブキャリアにおける計算機シミュレーションを実施した際の BER 特性を示すが、この図より白色雑音では各サブキャリアに均等に誤りが発生しているのに対して、鉄道雑音では、特定のサブキャリアにビット誤りが集中していることが確認できた。さらに実際には商用周波数が変動することが考えられるため、そのことを考慮し、図 4 のように高調波成分の周波数間隔とは異なる間隔を持つサブキャリアに対して同じデータを割当ててことで、鉄道雑音の周波数変動があった場合でも誤りが起こらないような構成とし、実際に計算機シミュレーションによって、従来の割当てよりも BER 特性が改善できることを確認した。

4. FPGA 実装に関する検討と評価

これまでの成果に基づいて、実際に FPGA 実装を行うこととした。ここで、今回の計算機シミュレーションにおいては、MATLAB/simulink によって検討を行ってきたので、このモデルを生かして HDL (Hardware Description Language)を生成し、それをベースに FPGA 実装を行うこととした。図 5 には MATLAB/Simulink の計算機シミュレーションモデルと FPGA に実装したモデルとの出力比較を行ったものを示す。具体的には、

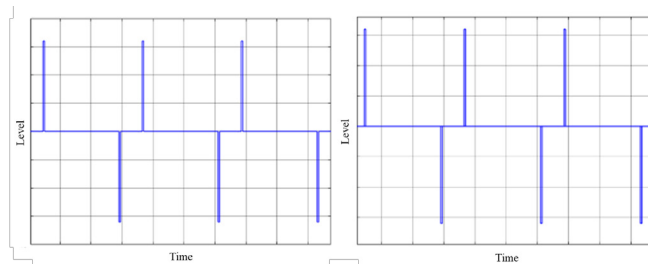


Figure 5. Comparison of MATLAB/Simulink-based FFT and FPGA-based FFT.

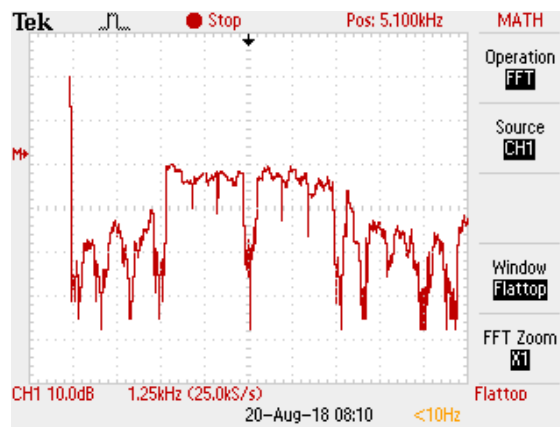


Figure 6. An example of spectral distribution at the transmitter.

ある一つのサブキャリアにデータを与えた時、該当するサブキャリアに対して虚数部の正の出力と共役となる箇所に虚数部の負の出力がされる。このことを踏まえて図 5 を見ると、固定小数点変換などの変更を行った FPGA 実装モデルにおいても、MATLAB/Simulink モデルと同様の出力を得られることが確認できた。さらに、219 個のサブキャリアにデータを与えた OFDM 送信器を FPGA に実装、図 6 に示すような OFDM 信号スペクトラムを得られることがあわせて確認できた。

5. まとめ

今回、我々が提案する OFDM 伝送を用いた鉄道信号システムについて、実際に FPGA へ実装した際の性能評価を行った。今後、受信器部を含めた FPGA 実装について実施するとともに、実際のフィールド試験による性能評価も行い、更なる研究の深度化を図りたい。

参考文献

- [1] 岩本他, “軌道回路を用いた鉄道信号システムへの OFDM 伝送方式の導入に関する一検討”, 平成 29 年電気学会全国大会, 5-174 (2017)
- [2] 樋口他, “鉄道信号システムのための OFDM 伝送方式に関する一検討”, 第 61 回日本大学理工学部学術講演会, G-12 (2017)