

鉄道信号システムのための OFDM 伝送方式に関する一検討

A Study on OFDM Transmission method for Railway Signaling System

○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 proposed a new transmission method using an orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). In this study, we described the detailed composition in which data judgment using majority decision was applied for improving the bit error rate (BER) characteristics. And we evaluated the performance of the proposed method by conducting computer simulation.

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挙げられる. 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ねることが可能な OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送方式を軌道回路に導入する手法について検討している^[1]. 本研究では, 軌道回路の伝送特性について示した後, 実際に OFDM 伝送方式を適用したシステムの具体的な構成について明らかにし, その性能を計算機シミュレーションで評価した.

2. 軌道回路を用いた伝送の特徴

まず, 今回の伝送媒体である軌道回路の特徴について述べる. 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. そのため, 現在実用化されているデジタル ATC システムの伝送速度は 300bps 程度に制限されている. 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. 例えば, 商用周波数 50Hz の三相交流を用いた電車における雑音のスペクトラム分布を図 1 に示すが, 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つ雑音が支配的であることが分かる. さらに, 時間的に変動することも特徴として挙げられる.

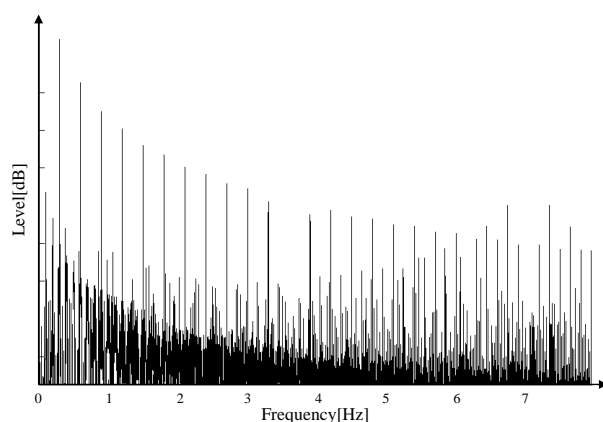


Figure 1. Spectral distribution of rail noise.

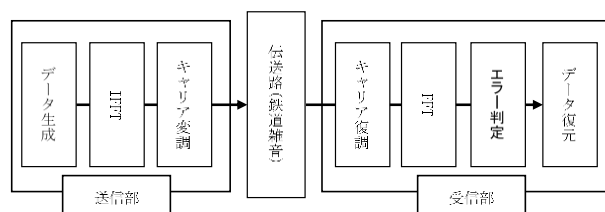


Figure 2. Block diagram of OFDM transmission model for railway signaling system.

3. 鉄道信号システムへの OFDM 伝送方式の適用

前節に示した軌道回路伝送の特徴を踏まえて, ここでは実際に OFDM 伝送方式を鉄道信号システムに適用する具体的な手法について説明する. 図 2 にそのブロック図を示すが, OFDM 伝送方式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, 周波数利用効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,

Table 1. Specifications of computer simulation.

| | |
|--------------|-------------------|
| 変調方式 | BPSK |
| サブキャリア数 | 300 |
| キャリアあたりの伝送速度 | 10bps |
| 搬送周波数 | 5kHz |
| 伝送帯域 | 1kHz~4kHz(SSB 伝送) |

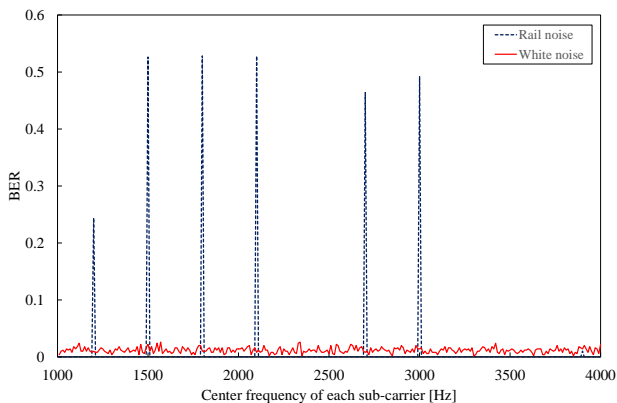


Figure 3. BER characteristics versus each sub-carrier.

複数のキャリアに同じデータを乗せることで、ビット誤り率(Bit Error Rate: BER)特性を向上できる可能性があると考えた。

以上を踏まえて、実際に表 1 に示したシミュレーション諸元に基づいたモデルを用いて基本的な性能評価を行った。ここで、OFDM では搬送波周波数を軸に上下に対称のスペクトラムが発生することから、SSB(Single Side Band)伝送を採用することとし、また SSB 伝送を実現するためにフィルタを挿入する関係で、搬送周波数付近の周波数帯を使用せず 1kHz~4kHz の帯域を採用した。

計算機シミュレーションの結果として、まず、雑音を付加しないモデルにおいて、正しく送受信ができることを確認した上で、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 BER 特性を比較した。図 3 にその結果を示すが、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。また、伝送速度の向上を目的として 1 回の伝送で同時に 2 ビットを伝送可能な QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)についても検討を行い、現在までに BPSK と同様の結果が得られていることを確認している。

4. BER 特性向上のためのデータ割当て手法と評価

前節で OFDM 伝送方式の適用に関する基本的な性能評価について示したが、ここでは、BER 特性向上の

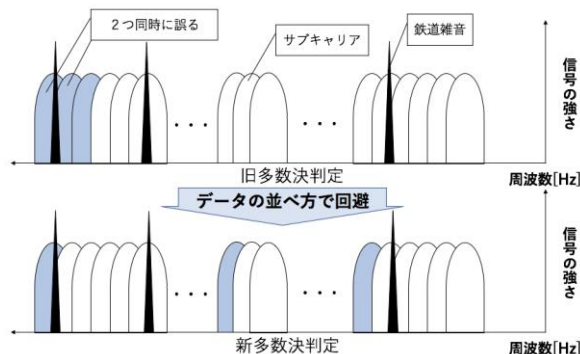


Figure 4. Improvement of data allocation method.

ための各サブキャリアへのデータ割当て手法について検討した。まず、図 4 の上部のように隣りあう 3 つのサブキャリアに同じデータを割り当てて、その多数決判定によりデータを決定する手法について検討した。その結果、300Hz の通倍の高調波成分を有する鉄道雑音に対して隣り合う 2 つのサブキャリアが同時に誤ることがなかったため、多数決判定により誤りなく伝送できることを確認した。

しかし、実際には商用周波数変動することが考えられるため、そのことを考慮した計算機シミュレーションを実施した結果、隣り合う 2 つのサブキャリアが同時に誤る事象があることを確認した。これは、高調波成分とサブキャリアの中心周波数が一致しない場合、隣り合う 2 つのサブキャリアのメインローブに影響を与えてしまうためである。これに対して、図 4 下部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ることで、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た。そして、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。

5. まとめ

今回、鉄道信号システムへの導入を目的とした OFDM 伝送方式の構成について検討し、基本性能を計算機シミュレーションで評価するとともに、サブキャリア間の BER 特性の不均一性を考慮した BER 特性向上手法について明らかにした。今後、実際の軌道回路を用いた試験などを実施し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)