

軌道回路を用いた鉄道信号システムの伝送特性向上に関する一検討

A Study on Improvement of Transmission Characteristics for Railway Signaling System via Track Circuit

○左太貴¹, 望月寛²Taiki Hidari¹, Hiroshi Mochizuki²

Abstract: Railway signaling systems that transmit information via track circuits (rails) have been deployed in many applications, for example, automatic train control (ATC) systems for controlling train speed. However, the track circuit as a transmission medium has some disadvantages such as rail noise based on harmonic wave of commercial frequency, and strong attenuation at frequencies above about 10 kHz. To overcome these problems, we attempted to employ spread spectrum (SS) transmission method. In this study, we proposed SS-based track circuit transmission method with a notch filter and adaptive filter for improving transmission performance.

1. はじめに

現在、軌道回路（レール）を用いて列車の制限速度などに関連した情報を伝送している ATC システムが首都圏の在来線や新幹線で用いられており、現在では、デジタル伝送をベースとしたデジタル ATC システムに関する研究も行われている¹⁾。ここで、伝送媒体である軌道回路は、10kHz 以上の周波数で大きく信号レベルが減衰する低周波通過特性や、商用周波数の高調波成分を多く含む鉄道雑音などが存在しており、これらの影響を受けにくい伝送方式が必要である。

以上のことを踏まえて本研究では、拡散符号を用いて広帯域にスペクトラムを拡散することにより耐雑音性向上などを図るスペクトラム拡散（Spread Spectrum: SS）伝送方式をベースとして、そこにノッチフィルタや適応フィルタを加えた構成を提案、計算機シミュレーションによる評価を行った。

2. 軌道回路を用いた伝送の特徴

軌道回路とは、区間別に列車の有無を判断する装置のことであり、軌道回路は、信号送信用の電源及び、信号受信用の受信機器（リレー）で構成され、電源から送られた電流が受信機器のリレーを作動するのが基本的な仕組みであるが、それ以外に列車を制御するための情報伝送を地上から車上に行く伝送路としても用いられている。

ここで、伝送媒体である軌道回路の特徴として「低周波数通過特性」「電気車雑音」の 2 つが挙げられる。具体的には以下の通りである。

①低周波通過特性

レールインダクタンスやレール間キャパシタンスにより、10kHz 以上の高域で減衰する特性を持つ。さら

に減衰量軌道回路長に依存するため、特に地方線区に存在する 10km オーダーの長大軌道回路では、その減衰が顕著となる。

②電気車雑音

一般の通信系の白色雑音とは異なり、電源周波数の 6 次高調波である 300Hz の通倍でピークを持つような特性がある。さらに、時間的変動も大きいという特徴も有している。

3. SS 伝送方式による耐雑音性向上手法の提案

前述の通り、軌道回路を伝送媒体とした場合の伝送特性を考慮する必要がある。これに対して SS 伝送方式の持つ拡散符号の処理利得を生かした耐雑音性向上手法を提案した。図 1 にその基本構成を示すが、この図より送信側では、数 bps 程度の情報に対して数百から数千の符号長を持つ拡散符号をかけることで広帯域にスペクトラムを拡散させる。一方、受信側では、拡散符号をもう一度かける逆拡散を行うことでデータを受信する構成となるが、単に逆拡散をしてしまうと鉄道雑音のスペクトラムが伝送帯域に拡散してしまい、結果として耐雑音性が向上しないという問題がある。そのため逆拡散する前に特定周波数成分を除去するノッチフィルタを挿入することで鉄道雑音のピークが除去でき、結果として耐雑音性が向上すると考えた。

4. 計算機シミュレーションによる評価

前節での提案を踏まえて、実際に計算機シミュレーションモデルを構築し、有用性の評価を行った。なお、今回の計算機シミュレーションにおいて、搬送周波数を 3kHz、伝送速度を 5bps とし、拡散符号には符号長 511 の M 系列を用いた。図 2 にノッチフィルタの有無

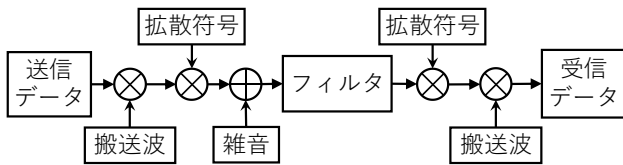


Figure 1. Composition of SS-based transmission method for railway signaling system.

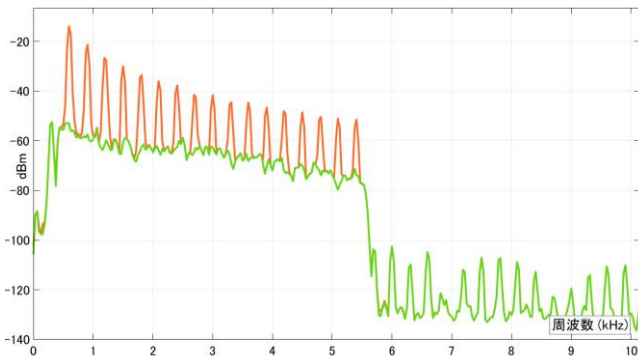


Figure 2. Spectral distribution in the proposed method.

によるスペクトラム分布の比較結果を示す。この図より、ノッチフィルタを用いることで、信号成分を大きく減衰させずに鉄道雑音を除去できることを確認した。そして、図3に受信器における出力波形の一例を示す。ここで、上段は送信データ波形、中段がバンドパスフィルタのみを用いた時の受信波形、下段がバンドパスフィルタとノッチフィルタを用いた時の波形である。この図より、ノッチフィルタを用いることでデータを正しく抽出できることを確認した。

また、従来の搬送周波数から高くすることで、信号の減衰が激しくなる一方、鉄道雑音の影響も小さくなり、白色雑音が支配的になるのでSS伝送方式の処理利得をあげることで伝送可能であると考えた。図4に搬送周波数を従来の3kHzから高くした9.6kHzにし、また、符号長1023のM系列を用いた際の出力波形の一例を示す。この図より、搬送周波数を高くすることにより鉄道雑音の影響が小さくなり、結果としてノッチフィルタを挿入しなくてもデータを正しく抽出できる可能性を示した。

5. SS伝送の多重化と適応フィルタへの応用

これまでSS伝送方式が軌道回路伝送に有効であることを示したが、同じ周波数帯に複数の信号を重畳する多重化が可能であるという特徴を有している。ここでは、この多重化した信号を伝送特性に応じてフィルタ係数を最適化する適応フィルタへ応用する手法について述べる。前述の通り、軌道回路伝送では特に高周波での減衰特性があり、さらに地方線区などで使用されている長大軌道回路ではその特性が顕著である。ま

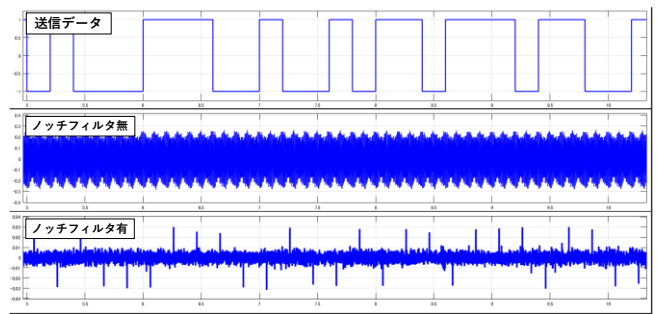


Figure 3. Comparison of waveform applying a notch filter.

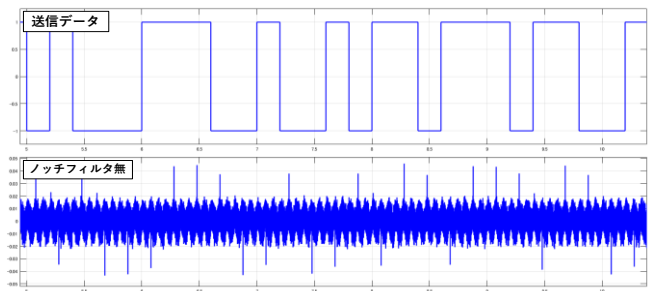


Figure 4. Output waveform using carrier frequency at 9.6 kHz.

た、前節で述べた従来の搬送周波数から高くし、ノッチフィルタを用いないシステム構成においても、この減衰特性が伝送性能に大きく影響を与えることが考えられる。以上を踏まえて、適応フィルタによって減衰した信号の等化を試みる。一般的に適応フィルタでは送信データの一部にトレーニング信号を付加し、その受信状態から伝送路の特性を推定し、それに応じてフィルタ係数を最適化するが、今回対象とする鉄道信号システムでは、その伝送速度が数bps程度と非常に低速であるため、従来の方法を用いると十分な伝送速度を確保できない、また、最適化に時間がかかるといった問題が生じる。そこで、多重化した信号の一方に常時トレーニング信号を伝送することにより、前述の問題を解決できると考えた。以上、計算機シミュレーションによってSS多重化信号からトレーニング信号を抽出可能であることを確認している。

6. まとめ

今回、軌道回路の伝送特性を考慮したSS伝送をベースとした方式について検討し、計算機シミュレーションによる評価を行った。今後、フィールド試験などを実施し研究の深度化を図りたい。

参考文献

[1] 伊藤裕希他, “軌道回路伝送を目的としたCDM-QAM伝送装置の開発と評価”, 電学論D, Vol.135, No.7, pp.444-450 (2015)