

鉄道信号システムへの適応フィルタの適用に関する一検討

新井 宏之*, 望月 寛 (日本大学), 石川 了, 佐野 実, 西田 賢史 (京三製作所),
中村 英夫 (日本大学)

Application of Adaptive Digital Filter for Railway Signaling Systems

Hiroyuki Arai*, Hiroshi Mochizuki (Nihon University)

Ryo Ishikawa, Minoru Sano, Satoshi Nishida (Kyosan Electric Mfg. Co., Ltd.)

Hideo Nakamura (Nihon University)

Abstract

Adaptive digital filter (ADF) is a digital filter with a self-adapting function of filter coefficients to output desired signal, and is recently employed to many applications such as a wireless communication. In this paper, we studied about application of ADFs for railway signaling using track circuits. We proposed an application of an ADF on railway signaling system using spread spectrum (SS) technology, and described a result of computer simulation. In addition, we studied on a composition method including definition of filter coefficients considered about a composition of track circuits.

キーワード：適応フィルタ, 鉄道信号, スペクトラム拡散
(adaptive digital filter, railway signaling, spread spectrum)

1. はじめに

デジタル ATC(Automatic Train Control:自動列車制御)システムに代表される軌道回路を伝送媒体とした鉄道信号システムにおいては、近年、システムの高機能化を目的として、その多情報化に関する研究が盛んに行われている。筆者らもスペクトラム拡散 (Spread Spectrum:SS) 通信や SS 通信によって実現される CDMA(Code Division Multiple Access:符号分割多重接続)、さらには位相と振幅の両方の成分を用いてデジタル伝送を実現する QAM (Quadrature Amplitude Modulation:直交振幅変調) を用いた手法について検討している⁽¹⁾⁽²⁾。他方、現在のデジタル無線通信ではビット誤り率特性の向上などを目的として、マルチパスフェージングなどを含んだ伝送路の逆特性を推定し、受信信号の等化を行う適応フィルタ (Adaptive Digital Filter) が広く用いられている。このような点を踏まえて本研究では、適応フィルタを軌道回路伝送を前提とした鉄道信号システムへと応用する手法について検討する。まず、SS 通信を用いた鉄道信号システムについて、適応フィルタに用いるトレーニング信号生成部を含んだ構成について提案し、計算機シミュレーションによる評価結果を報告する。また、筆者らの提案手法である CDMA-QAM 方式を用いた鉄道信号用多情報伝送方式の概要を示した上で、伝送媒体が軌道回路であることを考慮したフィルタ係数の設定などについて提案する。

2. SS 通信を用いた鉄道信号システムへの適応フィルタの適用

SS 通信は、送信機で PSK(Phase Shift Keying:位相シフトキーイング)などのデジタル変調を行った後、伝送速度

に比して非常に高速な拡散符号を用いた拡散変調によって変調波を広帯域に拡散する手法であり、耐雑音性の向上が図れる他、互いに直交な拡散符号を選択すれば、同一周波数帯に複数のチャネルを重畳できる CDMA を実現することができる。

図 1 は適応フィルタを含んだ SS 式鉄道信号システムのブロック図である。なお、SS 通信で用いる拡散符号として直交符号を採用した。この図より、送信側において送信データを +1、-1 の交番信号である直交符号 2 列目を用いて拡散変調を行ったものをチャネル 1(CH1) とする。一方、軌道回路部分の周波数特性を推定するために直交符号 2 列目以外の直交符号系列をチャネル 2(CH2) とし多元接続する。受信側では、軌道回路からの受信データを CH2 で 1 ビット遅延させて元のデータとの和をとる。送信側の CH1 で用いている拡散符号は交番信号であることから、この操作により、CH1 をキャンセルすることができる。従って、適応フィルタ入力部では、送信側の CH2 の拡散符号を 1 ビット遅延させて元のデータとの和を取ったもののみが残り、これをトレーニング信号として用いる。適応フィルタにおける適応アルゴリズムは LMS(Least Mean Squares:最小二乗法)を用いてフィルタ係数の修正を行う。この適応フィルタにおける平均二乗誤差が最小時のフィルタ係数を CH1 のフィルタ係数に用いることで劣化した受信信号を波形整形した後、逆拡散させるという手法を用いた。図 2 に計算機シミュレーションによって得られた送受信波形を示す。この図より、適応回数を増やすことにより受信データが送信データに追従することを確認した⁽³⁾。

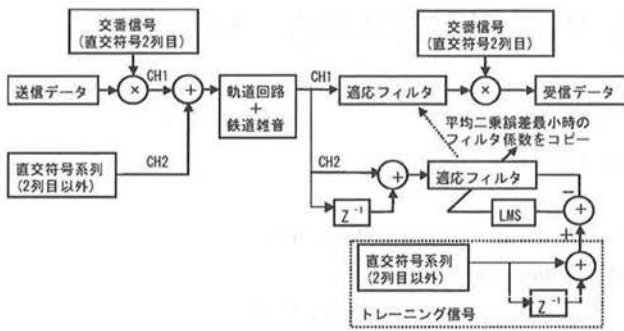


図 1 適応フィルタを含んだ SS 式鉄道信号システムのブロック図

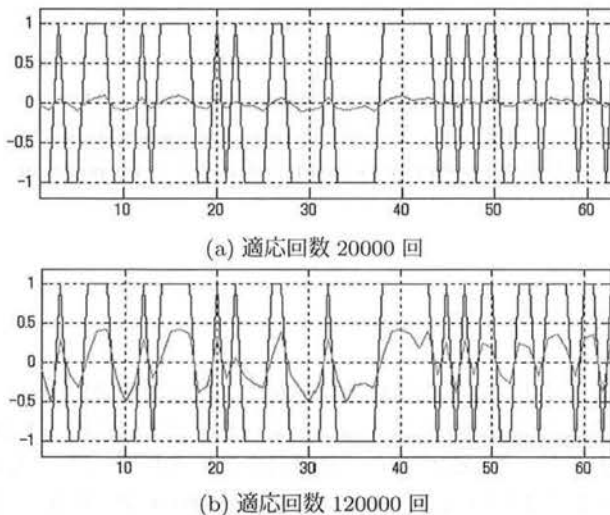


図 2 計算機シミュレーションで得られた送受信波形

3. 軌道回路を伝送媒体とした CDMA-QAM 式鉄道信号システムへの適応フィルタの適用手法

(3・1) CDMA-QAM 方式の特徴を考慮した適応フィルタの適用に関する考察 現在、筆者らは鉄道信号システムの多情報化を目的として CDMA-QAM 方式を用いた鉄道信号システムについて検討している。図 3 にブロック図を示すが、本方式では QAM 送受信機の I/O に CDMA モジュール (SS 送受信モジュール) が接続されている構成となっていることが分かる。ここで、図 3 中で実際に伝送路である軌道回路に接続されているのは QAM 部のみであるため、CDMA-QAM 式鉄道信号システムへの適応フィルタの適用を検討する際は、QAM 信号の等化のみについて検討すれば良い。

(3・2) 軌道回路を考慮したフィルタ係数の決定手法 ここでは、軌道回路伝送の特徴を踏まえた上でフィルタ係数を決定する手法について検討する。一般の無線通信系においては、マルチパスフェージングなど時々刻々と伝送路の特性が変化する。それに対して、軌道回路を用いた伝送においては、天候などの変化に対して軌道回路定数が変動するものの、各軌道回路が有する周波数特性の時間的変動は一般の無線通信系に比して小さく、また、列車位置は軌道回路により検出可能であるという特徴も有する。他方、

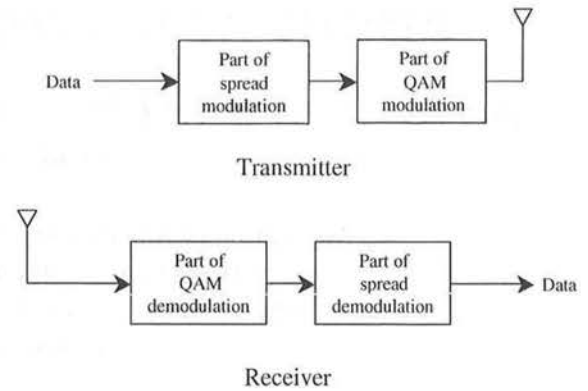


図 3 CDMA-QAM 方式のブロック図

鉄道信号システムでの伝送速度は数百 bps と少ないことや同一の軌道回路を走行する時間が短いことより、少ない適応回数でフィルタ係数を最適化できる手法が求められる。

以上のことを踏まえて具体的なフィルタ係数の決定手法として、試運転などの走行時に既知の信号に対して適応フィルタによる等化を行う手法を提案する。この手法により実際の走行におけるデータ伝送では、あらかじめ算出したフィルタ係数を初期値として採用した上で適応フィルタによる等化を行うことにより、従来手法に比して迅速なフィルタ係数の最適化を図れる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、軌道回路を伝送媒体とした鉄道信号システムへの適応フィルタの適用手法について検討した。SS 式鉄道信号システムに対しては、SS 通信の拡散符号として交番信号となる直交符号 2 列目を採用し、これを用いてトレーニング信号を生成する構成を提案した。計算機シミュレーションの結果として、適応回数に応じて、受信波が送信波に追従することを確認した。一方、CDMA-QAM 式鉄道信号システムへの適応フィルタの適用に関する考察として、QAM 信号の等化のみを検討すれば良いことを明らかにした。さらに、マルチパスフェージングなどを含む一般の無線通信系と異なり、軌道回路の伝送特性が大きく変動しないことを利用したフィルタ係数の決定方法を提案した。今後、今回提案したフィルタ係数の決定方法について、計算機シミュレーションなどによる有用性検証を行うとともに、DSP(Digital Signal Processor) を用いたハードウェア開発を行う予定である。

参考文献

- (1) 望月寛, 浅野晃, 佐野実, 高橋聖, 中村英夫:「軌道回路を用いたスペクトラム拡散通信式多情報伝送システムの開発」, 電学論 D, Vol. 126, No. 3, pp. 345-351 (2006)
- (2) 望月寛, 浅野晃, 佐野実, 高橋聖, 中村英夫:「CDMA-QAM 方式の鉄道信号システムへの適用に関する一検討」, 電学論 D, Vol. 126, No. 3, pp. 337-344 (2006)
- (3) 平本匡寛, 望月寛, 高橋聖, 中村英夫:「適応フィルタを用いた SS 通信式長大軌道回路に関する一検討」, 平成 17 年電気学会全国大会, 5-190 (2005)