

デジタル ATC 信号波の帯域制限に関する一検討

A study of band limitation of digital ATC signals

○高橋将平¹, 小篠大輔², 望月寛³, 高橋聖³, 中村英夫³*Shohei Takahashi¹, Koshino Daisuke², Hiroshi Mochizuki³, Sei Takahashi³, Hideo Nakamura³

Abstract: Automatic train control (ATC) systems for controlling train speed. At present, there have been many studies on digital ATC that transmits train control information by using digital signals based on phase shift keying (PSK), and these systems are employed in some railway lines. In previous studies, the QPSK modulation scheme in digital wave modulation method. However, the QPSK-modulated wave with a variety of problems.

So I made a band limitation QPSK modulated wave is used as a digital signal wave.

1. はじめに

日本における鉄道の一部線区では、列車間隔に応じて車上速度を自動的に制御する自動列車制御 (Automatic Train Control: ATC) システムが採用されている。最近では列車の高速化、高密度化等の機能向上を意図し、デジタル符号を情報とするデジタル ATC を代表とした研究が盛んに行われている^[1]。

先行研究における同一搬送波上に振幅成分を含まないデジタル変調波と、アナログ変調波を混在させたデジタルアナ信号では、デジタル信号の変調方式として QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 変調方式を用いた。しかし、QPSK 変調波は多くの高調波成分を含んでいるため、レールを伝搬する際 QPSK 変調波のスペクトルに現れる高次のサイドローブが、他のチャンネルに影響を与える恐れがある。そのため、この QPSK 変調波に含まれるサイドローブのレベルを抑え、帯域を制限することが望ましい。

そこで本研究では、先行研究のデジタル ATC システムにコサインロールオフフィルタを適用することにより、デジタル ATC 信号波の帯域制限に関する検討を行う。

2. デジタル ATC

(1) 概要

既存のアナログ ATC は、地上からその区間で安全に走行可能な許容速度をレールを介して車上に伝送する。そして、走行速度が許容速度よりも速ければ自動的にブレーキをかけ減速し、遅ければ緩和する。これに対しデジタル ATC は、地上から先行列車までの距離情報をデジタル信号で伝送し、速度パターンを計算する。そして、車上で個々の列車性能の範囲でブレーキを制御し確実に停止させる。

アナログ ATC は速度制御信号のみをアナログ信号にて地上から車上に伝送する。これに対し、デジタル ATC はデジタル符号により変調された信号を伝送するため、より多くの情報を得ることができる。

(2) QPSK 変調方式

デジタル信号波の生成に QPSK 変調方式を採用した。この方式は、デジタル符号 2 ビットの 4 値を搬送波の位相に割り付けて情報を表現し、位相を細かく分割することで情報量を増やすことが可能である。また、搬送波の振幅変化と位相変化の両方を活用した QAM (Quadrature amplitude modulation) 方式への応用も可能なため、将来的な列車の機能向上に伴う情報量の増加にも対応できると考えられる。

しかし、QPSK 変調波の周波数スペクトルには、搬送波周波数のメインローブを中心とした高次のサイドローブが現れる。鉄道信号システムの伝送媒体であるレールは、その伝送特性から利用できる周波数帯が限られている。また、速度情報以外にも様々なチャンネルが存在するため、他のチャンネルに悪影響を及ぼす恐れがある。そのため、あらかじめデジタル信号の高調波成分を除去し、サイドローブのレベルを抑えた QPSK 変調波を生成する必要がある。

3. 帯域制限

デジタル信号波の狭帯域化を実現する方法として、コサインロールオフフィルタを適用する。まず、入力されるデジタル信号に対して 8 倍のオーバーサンプリングを施す。このデータ長を引き延ばした信号に 0 を補完することで、前後の入力信号が干渉を起こすのを防ぐ。次に、オーバーサンプリングされた個々の入力信号にフィルタ係数を乗算し、最終的に足しあわせることによりデジタル信号の帯域を制限する^[2]。

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・院・電子 3 : 日大理工・教員・子情

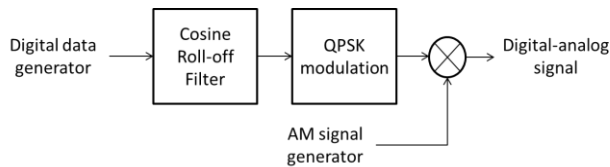


Figure 1. Measurement diagram

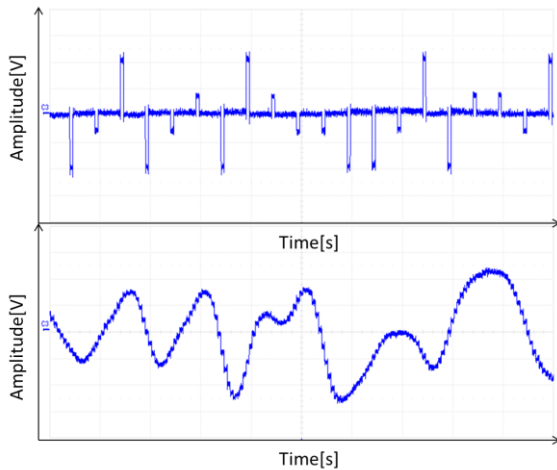


Figure 2. Band limitation of digital data

4. 評価

(1) コサインロールオフフィルタの適応

先行研究で提案されたデジアナ ATC システムの送信プログラムに、コサインロールオフフィルタの機能を DSP にて加えた。構成図を Figure 1. に示す。

(2) デジタル信号への帯域制限

8 倍のオーバーサンプリングを行い、零補完を施した 4 値のデジタル信号に対してコサインロールオフフィルタによる帯域制限を行った。フィルタ次数は 49 個とし、フィルタ係数は先行研究と同様の値を用いた。観測された制限前の波形と制限後の波形を Figure 2. に示す。

コサインロールオフフィルタのフィルタリングによりデジタル信号の波形が変化し、高調波成分が除去されている。

(3) QPSK 変調波の観測

コサインロールオフフィルタにより帯域制限を行ったデジタル信号を用いて、QPSK 変調波を生成した。評価する上で搬送波周波数は 3150[Hz] に設定し測定を行った。Figure 3. に QPSK 変調波の波形と周波数スペクトルの観測結果を示す。

図中上部が帯域制限前の QPSK 変調波と周波数スペクトルであり、図中下部が帯域制限後の観測結果である。搬送周波数 3150[Hz] のメインローブを中心とし、広い周波数範囲にわたって存在していたサイドローブのレベルが抑えられていることがわかる。

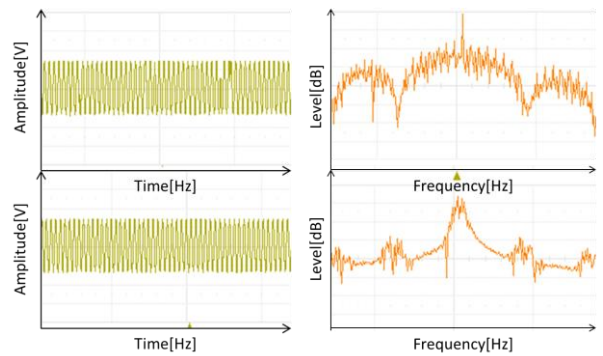


Figure 3. QPSK modulation wave and frequency spectrum

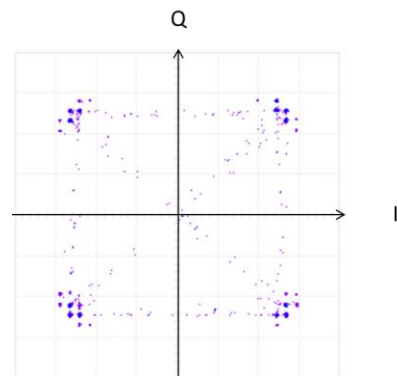


Figure 4. Constellation characteristics after QPSK demodulation

(4) コンスタレーションの観測

受信器のコスタスループによって QPSK 変調波の同期を行い、Figure 4. に示すような良好なコンスタレーションが得られることを確認した。

5. まとめ

先行研究では、従来多く利用されているアナログ ATC システムから、デジタル ATC システムへの移行をスムーズに行うため、同一搬送波上にデジタル信号波とアナログ信号波を混在させたデジアナ信号波を提案した。今回は、提案されたデジアナ ATC システムにコサインロールオフフィルタの機能を適用することで、デジアナ信号波の生成に用いられるデジタル信号波の帯域制限を行った。今後は最適なフィルタ次数、係数等の検討を進めていく。

6. 参考文献

- [1] 石川了, 佐野実, 望月寛, 中村英夫: 「アナログ ATC からデジタル ATC への移行を容易にする列車制御用デジアナ信号波の検討」, 電気学会論文誌 D, Vol.131, No.7, pp914-916, 2011.
- [2] 三谷政昭, 辻井重男: 「デジタルフィルタデザイン」, 昭晃堂, pp21-26, 1988.