

2115 デジタル・アナログ混在型信号を用いた鉄道信号システムの 実用化に向けた検討

○高橋 将平 (日本大) 正 [電] 望月 寛 (日本大)
正 [電] 中村 英夫 (日本大) 正 [電] 高橋 聖 (日本大)
正 [電] 西田 賢史 (京三製作所) 正 [電] 佐野 実 (京三製作所)
正 [電] 石川 了 (京三製作所)

Realization of novel railway signaling systems using mixed digital and analog signals

Shohei Takahashi, Hiroshi Mochizuki, Hideo Nakamura, Sei Takahashi, Nihon Univ. 7-24-1, Narashino-dai, Funabashi City
Satoshi Nishida, Minoru Sano, Ryo Ishikawa, Kyosan Electric Mfg. Co., Ltd.

Automatic train control (ATC) systems are employed 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). However, it is difficult to install digital ATC because it is impossible to ensure another transmission band for digital ATC signals due to the existing track circuit configuration and interoperability conditions. To overcome this restriction, we proposed a digital-analog ATC system using mixed digital and analog methods. We developed a device for digital-analog ATC systems using DSP. And we evaluated the transmission characteristics by conducting a basic experiment.

Keywords : ATC, digital-analog signal, DSP

1. はじめに

近年、鉄道保安システムの一つである自動列車制御装置(ATC: Automatic Train Control)のデジタル化が検討され、既に一部路線では高機能な列車制御を実現している。各鉄道事業者は統一仕様の ATC により広範囲な相互直通運転を実現してきたが、このような路線では ATC のデジタル化に伴う全線全列車一斉の機器更新と新たな周波数選定が困難となる。我々はこの点に着眼し、鉄道信号に用いられる搬送波として振幅変化を伴わない QPSK(Quadrature PSK)デジタル変調波を採用し、それをアナログ情報で AM 変調することで同一搬送波上にデジタル及びアナログ情報を組み合わせるデジタル・アナログ混在型鉄道信号を提案している。

本研究では DSP(Digital Signal Processor)を用いて開発した伝送装置に、現行のアナログ車両に搭載された帯域通過フィルタ(BPF)相当回路を実装することでアナログとデジタル受信器双方における基礎試験を実施した。本稿ではこれらの検証結果について述べる。

2. 伝送方式の概要

既存のアナログ ATC システムの信号波は、オーディオ周波数帯の搬送周波数を利用し、AM 変調波の包絡線成分を情報とするものである。したがって、既存方式と同等の包絡線成分を復調できるのであれば、搬送波を正弦波とする必要はない。

そこで図1に示すように、振幅と位相の両方を用いて情報伝送する QAM の概念を応用して、振幅変化を伴わない QPSK デジタル変調波をアナログ ATC システムの搬送波と

して採用し、振幅成分には列車速度情報に対応するアナログ信号で AM 変調することで、双方の ATC システムが両立可能な伝送方式を実現する。

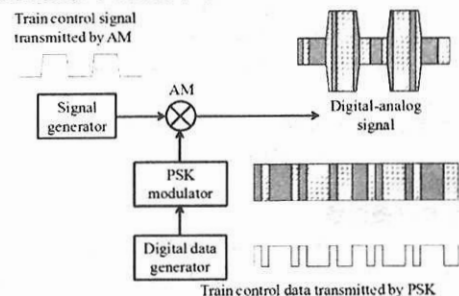


Fig.1 Generation of digital-analog signal.

3. DSP による送受信器の開発

仕様を表1のように定め、提案する鉄道信号の伝送装置を DSP により開発した。システムの構成図を図2に示す。まず、信号発生器により列車制限速度に対応するアナログ信号を送信器へと入力する。送信器内部では、デジタル ATC に伝送すべきデジタルデータを同相成分、直交成分に割り当て、従来のアナログ ATC で用いられている搬送周波数を使用し QPSK デジタル変調波を生成する。最後に、入力されたアナログ信号と乗算することでデジタル・アナログ混在型鉄道信号を生成する。

送信器より伝送された鉄道信号は、受信器に実装した車両の BPF 相当回路を通過後、デジタル成分は DSP 内部での同期検波により抽出される。また、アナログ情報

である包絡線成分は、PC によって模擬された受信器に BPF 通過後の鉄道信号を DSP から分配することで検出される構成とした。

Table 1 Specifications of digital-analog ATC.

Parameter	Values
Carrier frequency	3,150Hz
AM signal frequency	35Hz
QPSK transmission speed	400bps
BPF passband width	180Hz
BPF stopband width(40dB)	500Hz

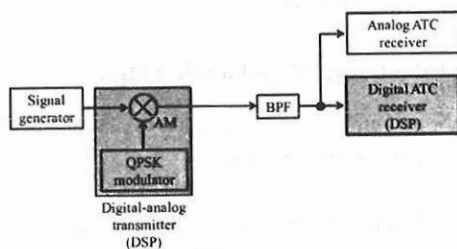


Fig.2 Configuration of Digital-Analog ATC.

3. BPF 通過後の鉄道信号

アナログ及びデジタル双方の ATC に対する情報伝送を実現するデジタル・アナログ混在型鉄道信号は、搬送波にデジタル信号を採用することから、従来のアナログ信号波よりも周波数占有帯域が広がる。そのため、妨害波の除去と信号の周波数選別を目的として車両に設置された BPF での帯域制限の影響により、出力される信号は不要な包絡線成分を誘発する。図 3 に BPF 通過後の鉄道信号波形を示す。

アナログ ATC での不要包絡線成分に対する受信対策は、振幅制限回路によって行われる。必要包絡線成分の -6dB 以下の成分を抑圧する例が多数であることから、不要成分の大きさは少なくとも必要成分の -10dB 以下であることを最小要件とする¹⁾。また、デジタル ATC においても変調時のデジタルデータに変形が生じるため、各々の受信器を用いてその特性を評価する。

4. 特性評価

4.1 アナログ受信器

従来のアナログ ATC と同等の機能を有するものを LabVIEW で構築し、包絡線成分の周波数スペクトラム分布を観察した。その結果、図 4 のような特性を得た。前述したが、デジタル・アナログ混在型鉄道信号の周波数占有帯域は、デジタル成分の影響により従来のアナログ信号よりも広帯域となるため、BPF の影響により不要な包絡線成分を誘発する。これは QPSK デジタル変調波の伝送速度が高速になるほど顕著に現れ、必要なアナログ情報の検出が困難となる恐れがある。

しかし、伝送速度 400bps での測定においては、必要包絡線成分である 35Hz が他の周波数成分に比して約 16dB 程度のレベル差があることから、-10dB 以下という要件を満たし、アナログ受信器において信号周波数に応じた制限速度情報が検出可能であることを確認した。

4.2 デジタル受信器

一方、狭帯域な BPF を通過し振幅成分の除去を行ったデジタル信号の復調評価として、受信器での同期検波により変調時の同相成分、直交成分の抽出を行った。復調時のシンボル点配置を図 5 に示す。この結果から、生成されたデジタルデータの波形は BPF の帯域制限の影響

により変形するものの、変調時に割り当てられた位相情報に基づく良好なコンスタレーションが得られることを確認した。

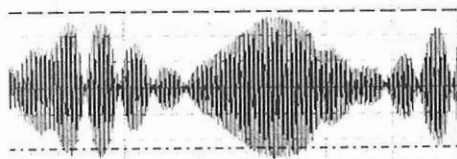


Fig.3 Digital-analog signal waveform after passing through the BPF.

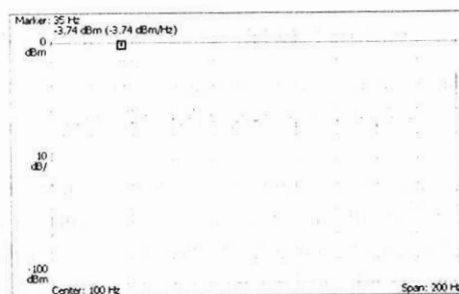


Fig.4 Spectral distribution of AM demodulation.

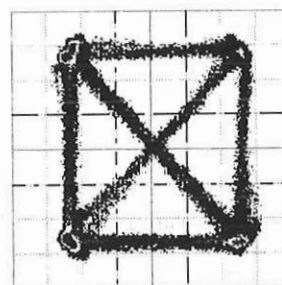


Fig.5 Constellation characteristics after QPSK demodulation.

5. まとめ

デジタル ATC システムへの容易な移行を実現するために、同一搬送波上にデジタル信号とアナログ信号を混在させたデジタル・アナログ混在型鉄道信号を提案した。実際の伝送装置においては、DSP による鉄道信号送信器及びデジタル受信器の開発を行った。また、実際の車両環境を考慮して現行アナログ ATC に搭載された BPF 相当回路をデジタル受信器に実装し、アナログ受信器並びにデジタル受信器における基礎試験を実施した。

その結果、従来のアナログ ATC 受信器相当の機能を有する疑似アナログ受信器で包絡線成分を検波した際、送信した AM 信号周波数に対応した制限速度情報が得られることを確認した。またデジタル受信器においては、復調時に不要な振幅成分の除去やコストスループによる同期捕捉の機能によって、良好なコンスタレーション特性が得られることを確認した。今後は提案した鉄道信号に実際のレール雑音を付加し、実装した BPF の通過周波数帯域に基づく BER(Bit Error Rate)特性などの定量的評価を実施する予定である。

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, 平成 23 年度電気学会論文誌 D, Vol.131, No.7, pp914-916, 2011