

DSP を用いたデジアナ ATC の開発と性能評価

小篠 大輔* 望月 寛 高橋 聖 中村 英夫 (日本大学)
石川 了 佐野 実 (京三製作所)

Development and Evaluation of Digital-Analog ATC using DSPs
Daisuke Koshino*, Hiroshi Mochizuki, Sei Takahashi, Hideo Nakamura, (Nihon University)
Ryo Ishikawa, Minoru Sano, (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.

キーワード： ATC, デジアナ信号, DSP
(Keywords, ATC, digital-analog signal, DSP)

1. はじめに

日本の鉄道における列車制御の代表例として、軌道回路を伝送媒体とした自動列車制御 (Automatic Train Control :ATC) システムが挙げられる。現在、AM 変調をベースとしたアナログ信号を用いて各列車へ制限速度情報を送信しているアナログ ATC が多くの線区で採用されているが、より高度な列車制御を行うために、地上装置と車上装置が PSK などのデジタル変調方式を用いて列車制御のためのデータ伝送を行うデジタル ATC システムの研究が盛んに行われている^[1]。

しかし、新設の一部の線区でデジタル ATC が採用されている一方で、既存線区における従来のアナログ ATC からデジタル ATC への移行に関しては、信号設備の構成や相互乗り入れの関係により十分に進んでいないのが現状である。

そこで本研究では、デジタル ATC へのスムーズな移行を実現するために筆者らは、帯域制限のない PSK などの振幅成分の含まれていないデジタル信号を搬送波とし、そこに AM 変調をベースとしたアナログ信号を重畳する方法を提案した。これにより同一周波数帯にデジタルとアナログ双方の信号を混在させることが可能となり、これを“デジアナ信号”と呼んでいる。本研究では、このデジアナ信号を用いた ATC システムの送受信器を DSP によるハードウェア化を行い、その性能を基礎試験により評価する。

2. 概要

図 1 にデジアナ信号生成のブロック図を示す。まず、列車に伝送すべきデジタルデータから PSK 変調を行った信号を生成する。ここで、搬送周波数は従来のアナログ ATC で用いられている周波数を使用する。次に、生成したデジタル信号を搬送波とし、それとアナログ信号を掛け合わせることでデジアナ信号を生成している。

以上がデジアナ信号生成の構成であるが、図 2 にはデジアナ送受信器の概要を示す。この図より、デジアナ送信器により前述の手順で生成されたデジアナ信号は、受信側である列車が持つ BPF を通った後、デジタル ATC 用受信器とアナログ ATC 受信器とに分けられる構成とした。

3. デジアナ ATC の開発と性能評価

(3-1) DSP を用いた伝送装置の開発

前述の通り図 2 のような構成でデジアナ信号を用いた ATC システムを構築するが、本研究では実際の伝送装置の開発として DSP を用いたデジアナ ATC 送受信器を開発した。仕様を表 1 にまとめる。ここで、デジタル ATC 受信器では、アナログ信号に割り当てている AM 成分が不要のため、デジタル復調を行う前に受信信号の振幅成分を正規化する機能を付加した。また、搬送波との同期捕捉を実現するためにコストスループを採用した。以上、これらの機能をソフトウェアによって構築し、DSP へと実装した。

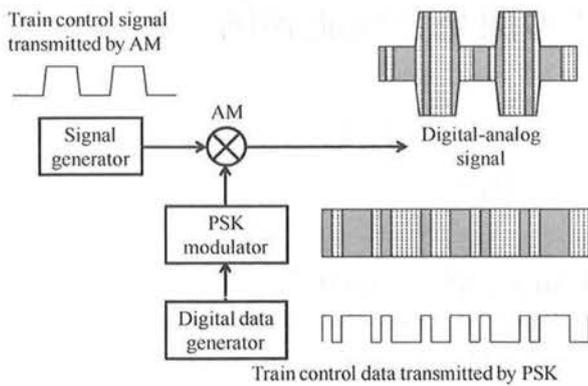


図 1 デジアナ信号の生成

Fig.1 Generation of digital-analog signal.

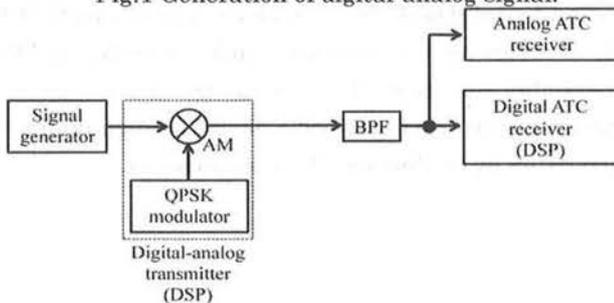


図 2 デジタル・アナログ ATC の構成図
Fig.2 Configuration of Digital-Analog ATC.

表 1 デジアナ ATC の仕様

Table 1 Specifications of digital-analog ATC.

Parameter	Values
Carrier frequency	3,150Hz
AM signal frequency	35Hz
QPSK transmission speed	400bps
BPF center frequency	3,150Hz
BPF passband width	150Hz
BPF stopband width (40dB)	250Hz

(3.2) デジアナ ATC 用伝送装置の特性評価

表 1 に示した仕様に基づいたデジアナ ATC について、送受信器をオーディオケーブルで接続し、アナログ・デジタル双方の基本的な機能が実現できるかを確認するために、基礎試験を実施した。

まず、従来のアナログ ATC 受信器にデジアナ信号を入力した際の特性について評価した。図 3 にアナログ ATC 受信器で復調後のスペクトラムを示す。表 1 より今回の AM 信号周波数は 35Hz であるが、図 3 より、信号周波数以外の成分についても全体的な上昇を示している。しかし、信号周波数成分と他の周波数成分とのレベル差は非常に大きく、実際のアナログ ATC 受信器により動作確認を行った結果、信号周波数に対応した制限速度情報が得られた。

一方、DSP により開発したデジタル ATC 受信器に関しては、AM 信号成分除去を目的とした振幅成分の正規化、およびコストスループによる同期捕捉特性の評価を目的として、

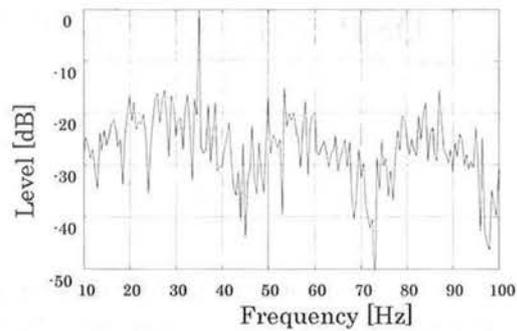


図 3 アナログ ATC 受信器におけるスペクトラム評価
Fig.3 Spectral distribution of AM demodulation.

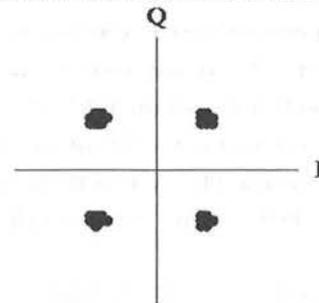


図 4 コンスタレーションの観察
Fig.4 Constellation characteristics after QPSK demodulation.

コンスタレーション特性とビット誤り率(BER)特性の評価を行った。図 4 に QPSK のコンスタレーション特性を示すが、この図より AM 信号成分の影響を除去し、良好なコンスタレーションを得られることを確認した。また、BER 特性を測定した結果、誤りなく伝送できることを確認し、正しい同期捕捉が行われていることを明らかにした。

4. まとめ

デジタル ATC システムへのスムーズな移行を目的とし、同一周波数にデジタル信号とアナログ信号を混在させたデジアナ信号を提案した。実際デジアナ送受信器においては DSP による伝送装置の開発を行った。送受信器をオーディオケーブルで接続し、伝送装置の基本性能を確認するための基礎試験を実施した。その結果、従来のアナログ ATC 受信器で復調した結果、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、AM 信号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や BER 特性が得られることを確認した。今後は、実際の軌道回路や雑音環境下でのフィールド試験によって BER 特性などの評価を実施する予定である。

文 献

(1) 望月寛 他：「CDMA-QAM 方式の鉄道信号システムへの適用に関する一検討」, 電気学会論文誌, Vol.126-D, No.3 pp.337-334 (2006.3)