

G-1

レールを伝送媒体とした鉄道信号システムの多情報化に関する検討

A study on high-speed data transmission for railway signaling systems employing rail as a transmission medium

○伊藤裕希<sup>1</sup>, 望月寛<sup>2</sup>, 高橋聖<sup>2</sup>, 中村英夫<sup>3</sup>

\*Yuuki Itou<sup>1</sup>, Hiroshi Mochizuki<sup>2</sup>, Sei Takahashi<sup>2</sup>, Hideo Nakamura<sup>3</sup>

Abstract: In railway signaling system as Automatic train Control (ATC) Digital system that can be controlled by giving the information for brake control is widely employed. In the ATC system, the rail is employed as a transmission medium. But it is difficult to ensure high-speed data transmission due to narrow frequency band. In previous research, CDMA-QAM transmission scheme in which CDMA (Code Division Multiple Access) and QAM (Quadrature Amplitude Modulation) are combined was proposed for realizing high-data transmission. In this paper, we configured the BER (Bit Error Rate) measurement environment of CDMA-QAM transmission and verified the effectiveness of the proposed method.

1. はじめに

自動列車制御装置(Automatic Train Control:ATC)などに代表される鉄道信号システムでは、その高機能化を目的として、ブレーキ制御に必要な情報を与えることによって車上で制御可能なデジタル方式が広く利用されている。また、信号を車上に伝送する際の伝送媒体には長年利用されている軌道回路(レール)を使用することにより、高い安全性を確保している。しかし、軌道回路は高周波通過特性に劣ることから、現行の ATC システムでの伝送速度は 300[bps]程度となってしまう。

これを踏まえ先行研究では、携帯電話で利用されている多重伝送方式である CDMA(Code Division Multiple Access)と無線 LAN に用いられているデジタル変調方式の一種である QAM(Quadrature Amplitude Modulation) とを併用した CDMA-QAM 伝送方式を考案することにより、低周波数帯域での多重伝送を可能としている<sup>[1]</sup>。

そこで、本研究では先行研究で提案した CDMA-QAM 伝送方式を DSP 及び FPGA により開発し、ビット誤り率(Bit Error Rate:BER)特性などから、その実用性を検証する。

2. CDMA-QAM 伝送方式

(1) CDMA-QAM 伝送方式の概要

CDMA-QAM 伝送方式では、CDMA により多重化された信号を QAM による変調を施し、伝送を行う方式を採用した。具体的には、図 1 に示すように送信データをパラレルデータに変換し、各チャンネルで拡散処理を行い、多重化する。また、多重化された信号を QAM による変調を行い送信信号とする。受信部では、QAM 復調を施した後に多重化された信号を復調するための逆拡散処理を行い、シリアルデータに変換することに

よって送信データを受信する。ここで本方式において、QAM の各シンボルに割り当てられているのは、送信データそのものではなく、CDMA によって生成された多重化信号としている、そのため、受信部での QAM 復調時にシンボル判定を誤ったとしても、CDMA の逆拡散処理によって吸収できる範囲内であれば、送信データは誤りなく受信できる特長を有している。

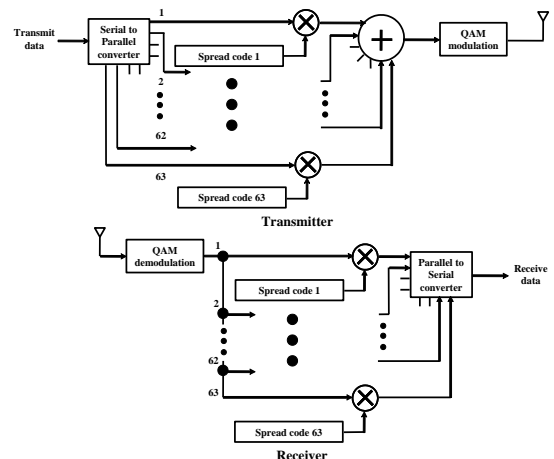


Figure 1. Block diagram of CDMA-QAM.

(2) DSP と FPGA による開発

実際に DSP と FPGA を用いて図 2 に示すような構成で CDMA-QAM 送受信器を開発した。また、表 1 に本伝送装置の仕様を示す。

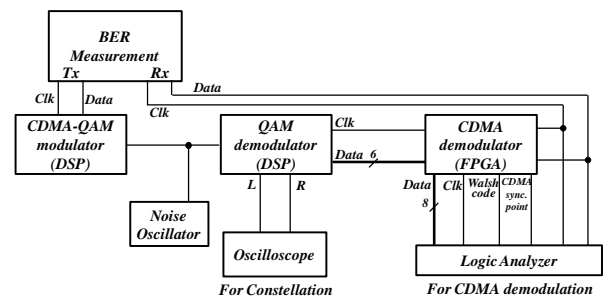


Figure 2. Configuration of CDMA-QAM transmission.

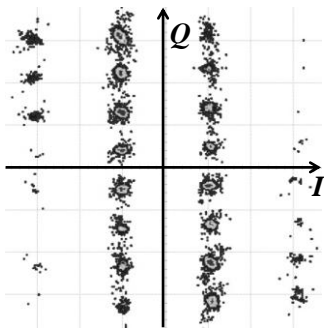
1 : 日大理工・院・情報 2 : 日大理工・教員・情報 3 : 日大理工・教員・電子

**Table1.** Specification of CDMA-QAM transmission

Parameter	Values
Carrier frequency	3000Hz
The number of multiple access	64
Transmission speed for each channel	23.4375bps
Total transmission speed	1500bps
Sampling frequency	48kHz

3. QAM 復調後のコンスタレーション

図 3 に図 2 の構成で観察した QAM 復調後のコンスタレーション特性を示す。図 3 から良好なコンスタレーションを確認し、シンボル判定に誤りが発生していなかったことを確認した。

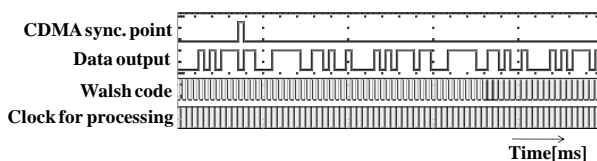


**Figure 3.** Constellation characteristics.

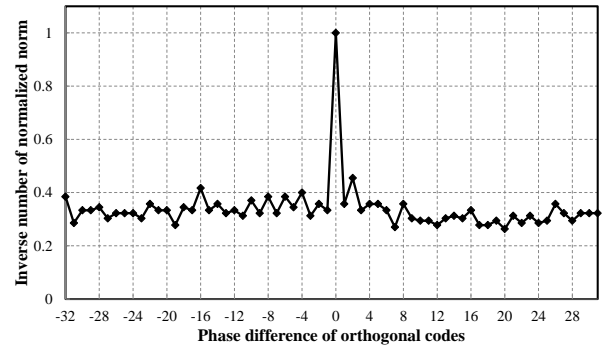
4. CDMA 受信器の性能評価

図 4 に QAM 復調により得られた多重化信号を入力した時の出力特性を示す。図 4 より、得られたデータ出力においてビット誤りが発生していなかったことから、正しく復調できていることを確認した。

さらに、復調過程における多重化信号と拡散符号の同期捕捉手法を提案した。具体的には、各チャネルのデータ判定における結果に基づき、多重化信号の真値を推定する手法を採用した。この手法により、同期不確立時の多重化信号の真値が実測値と大きく異なる性質を持つため、同期捕捉に利用できると考える。また、図 5 に雑音が存在した場合の符号位相差に対するノルム特性を示す。なお、実際には正規化したノルムの逆数によって評価した。この結果より、符号位相差が無い時、他の任意の符号位相差に比して異なる特性が得られるため、同期捕捉を行うことが可能となる。



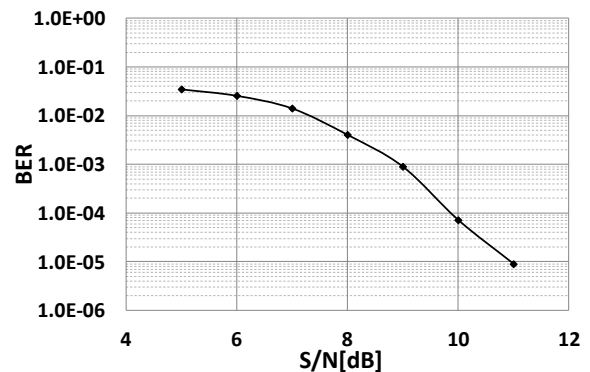
**Figure 4.** Output of CDMA receiver



**Figure 5.** Normalized norm characteristics.

5. BER における測定結果

図 6 に各 S/N における BER の測定結果を示す。ここで、鉄道における BER の目安は  $10^{-5}$  とされており、図 6 から S/N が 11[dB]以上ではこの目安を満足する結果となり、デジタル ATC 受信器として求められる仕様を満足していることを確認した。



**Figure 6.** BER measurement result

6. まとめ

現在の鉄道信号システムには、デジタル ATC システムが採用されており、伝送媒体として軌道回路を採用している。それを踏まえ、先行研究では CDMA と QAM を組み合わせた新たな伝送方式を提案した。

本研究では提案された伝送方式を DSP と FPGA を用いて開発し、その伝送特性についてコンスタレーションや出力データの観察を行い、BER 特性を評価した。その結果、現行のデジタル ATC システムを満足する仕様となっていることを確認した。

今後は、送信信号における狭帯域化等の詳細な検討をし、更なる研究の深度化を図りたい。

7. 参考文献

[1] 石川他, 鉄道信号システムの高機能化を実現する伝送方式の検討, 電気学会論文誌 C, Vol. 130, No. 7, pp.1125-1131 (2010)