

CDMA-QAM 伝送方式を用いた鉄道信号用伝送装置の定量的評価

Quantitative evaluation of CDMA-QAM transmission devices for railway signaling

○伊藤裕希¹, 高橋将平², 望月寛³, 高橋聖³, 中村英夫³

*Yuuki Itou¹, Shohei Takahashi², Hiroshi Mochizuki³, Sei Takahashi³, Hideo Nakamura³

Abstract: Currently in Japan, ATC(Automatic Train Control) has been introduced as automatic train control system .And digital ATC calculating the optimal speed pattern from the distance information has been attracting attention in recent years .In the ATC system ,the rail is used to control signal transmission medium .But rail transit is inferior to the high-frequency characteristics .So transmission is difficult in the high frequency band .

In previous research ,CDMA-QAM transmission scheme combined CDMA(Code Division Multiple Access) used by mobile phone and QAM (Quadrature Amplitude Modulation) used by Wireless LAN was devised .

So I verify the feasibility of the CDMA-QAM by BER(Bit Error Rate) and constellation .

1. はじめに

現在の日本の鉄道信号システムでは、自動列車制御装置(Automatic Train Control : ATC) が広く導入されている。近年では距離情報から最適な速度パターンを計算するデジタル ATC が注目されている。また、現在使用されているデジタル ATC システムでの伝送速度は 300bps 程度となっている^[1]。

これを踏まえ先行研究では、携帯電話などに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 など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、低周波数帯域を用いた多重伝送を可能としている。

そこで本研究では CDMA-QAM 伝送装置について、ビット誤り率(Bit Error Rate : BER)特性などによる定量的な評価やコンスタレーションの観察を実施し、その実用性を検証する。

2. 概要

(1) デジタル ATC

デジタル ATC は、地上から先行列車までの距離情報や自列車の位置情報をデジタル信号で伝送し、車上に搭載されたデータベースに基づき速度制御を行う。また、伝送媒体にレールを用いることで安全性を確保しているが、高周波通過特性に劣るため、高周波数帯を用いた高速伝送を行うことが困難となる。そのため、伝送出来る情報量が制限されてしまい、予め車上に速度パターンを格納したデータベースを搭載する必要が

ある。

(2) CDMA-QAM 伝送方式

CDMA-QAM 伝送方式では、CDMA により多重化された信号を QAM の各シンボルに割り当てて伝送を行う方式を採用した。具体的には、Figure1 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変調を行い、多重化を行う。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 復調を施した後に逆拡散処理を行い、パラレルデータから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とで通信を行っている。ここで本方式において、64QAM 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、拡散変調によって多元化された CDMA 信号であるので、仮に受信部での QAM 復調時にシンボルを誤ったとしても、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^[1]。

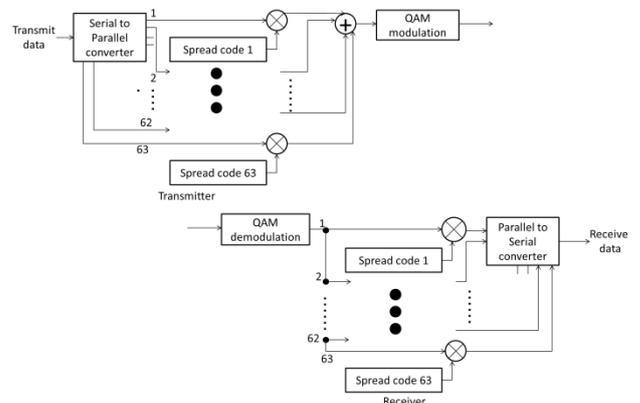


Figure1 Block diagram of CDMA-QAM

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

3. QAM 復調後のコンスタレーション

Figure2 に Figure3 の構成で測定した QAM 復調後のコンスタレーション特性を示す. また, 本測定では送信信号として BER 測定器における PN 符号を用いた.

Figure2 から, QAM 復調器において CDMA-QAM 変調信号にレール雑音(610.0mV_{p-p})を付加した状態では Q 相シンボルの誤りが大きくなるのが分かった. しかし, Q 相シンボルの誤りであれば, CDMA の逆拡散処理によってシンボル誤りを吸収することが出来るため, 送信データは正しく復調できていることを確認した.

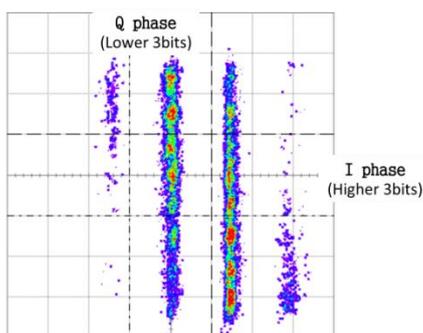


Figure2 Constellation characteristics

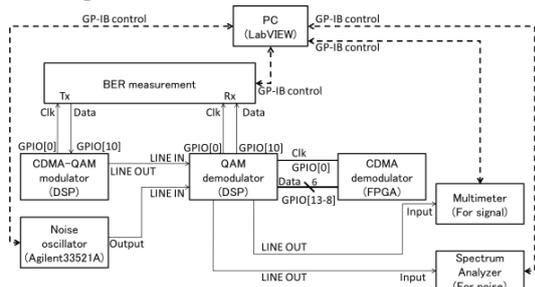


Figure3 Block diagram of automatic measurement system

4. 定量的な評価

(1) 自動計測系の構築

Figure3 に示すような構成で自動計測系を構築した. 具体的には, Figure4 に示すように, マルチメータとスペクトラムアナライザを用いることによって, 受信器から出力された信号とノイズのレベルを測定する. そして, マルチメータ及びスペクトラムアナライザの測定値から S/N 比を算出することで, PC 側で任意に設定した範囲における各 S/N 比に対する BER を測定する.

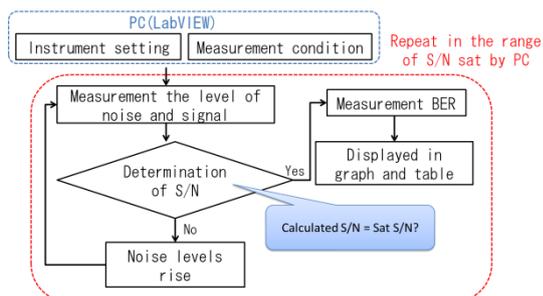


Figure4 algorithm of automatic measurement system

(2) BER における測定結果

Figure5 に Figure3 の構成で測定した各 S/N 比における BER を示す. ノイズ測定の際には CDMA-QAM 変調波のメインローブの帯域幅である 1.5kHz~4.5kHz で測定を行った. また, SN 比の測定は SN 比を 18 から測定を行ったが, 14~18 の範囲では BER が 0 となった.

また, 鉄道における BER の目安は 10^{-5} とされている. Figure5 から, SN 比が 13 以上ではこの目安を満足する結果となった. しかし, 本測定ではレール雑音の帯域制限の定義が不十分であることに加えて, 雑音を低減するために設置された BPF(Band-pass filter)を考慮していない. さらに, 逆拡散処理での QAM 復調後のデータと拡散符号との同期補足を手動で行ったため, 十分な測定結果になっていない. そのため, 今後の測定ではレール雑音の帯域幅における定義といった測定環境の整備を進めていき, BPF 等の実用環境を考慮した信頼性ある結果を追及していきたい.

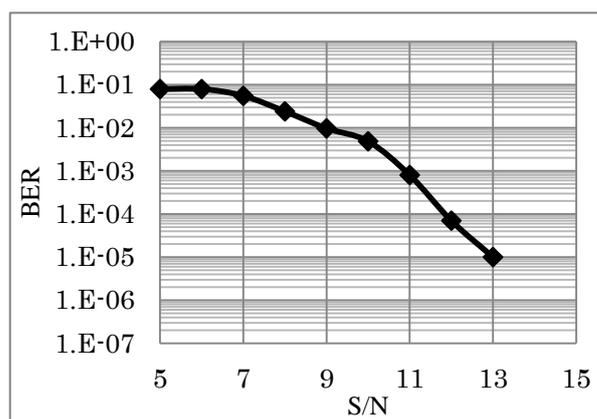


Figure5 BER measurement result

5. まとめ

先行研究では, デジタル ATC における高速伝送を目的とし, 同一周波数帯に複数の情報を重畳し一度に送信する CDMA-QAM 伝送方式を考案した.

そこで, 本研究では CDMA-QAM 伝送方式の実用性を BER 特性による定量的な評価とコンスタレーションの観察から, 検証することを目的とし, BER の自動計測系を構築した. また, ノイズを付加した時のコンスタレーション及び各 S/N 比に対する BER の測定を行うことが可能となった. 今後は, CDMA 復調器における同期補足機能の実装, BPF やレール雑音における帯域制限の検討を行う.

6. 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).