A Study on Railway Signal System to Apply CDMA-QAM Method

Hiroshi Mochizuki Student Member (Nihon University, mochi@bit.ecs.cst.nihon-u.ac.jp)

Akira Asano Non-member (Kyosan Electric Mfg Co, Ltd.)

Minoru Sano Member (Kyosan Electric Mfg Co, Ltd.)

Sei Takahashi Member (Nihon University)

Hideo Nakamura Member (Nihon University)

Keywords: QAM, CDMA, railway signal system, track circuit, synchronous acquisition

Recently, QAM (Quadrature Amplitude Modulation) is paid to attention in digital modulation method, and it has been used for wireless LAN and digital broadcasting. QAM is a modulation method that puts information on carrier amplitude and phase. So QAM can achieve high-capacity data transmission that the use efficiency of frequency band is good. But QAM has a bad characteristic that is weak to the noise and the interference because distance between each symbol is short. On the other hand, CDMA (Code Division Multiple Access) can transmit two or more signals to the same frequency band, and this can be achieved by spread spectrum (SS). Moreover, because this is good also in the characteristic to noise, this is a technique widely used.

Then we propose the method that not transmission data but CDMA signal, obtained after transmission data is modulated by spread code and multiplexed, is given to each symbol of QAM. Figure 1 shows Block diagram of CDMA-QAM method. According to this figure, in transmitter, the transmission data of the serial is converted into parallel data of the number of multiple-access. After that, this data is modulated by spread codes. And, when the number of multiple-access is 63, because 64 values from 0 to 63 are taken as amplitude of CDMA since each channel is added, this is allocated in each symbol of 64QAM. In receiver, received signal is first

demodulated by QAM, this is demodulated by spread codes afterwards. Here, because not transmission data but amplitude of CDMA is allocated in each symbol of 64QAM in this method, if it is possible to recover by demodulation using spread codes even if there is an error in the symbol of QAM, it is possible to transmit correctly without mistaking the transmission data. In addition, when a high-order bit is allocated in I channel and the low-order bit is allocated in Q channel, because the influence that I channel has on BER characteristic is large, the constellation map of QAM is made the one that amplitude of I channel was enlarged more than that of Q channel.

Basing on above, we studied about railway signal system on track circuit as a sample to apply this method, we named it CDMA-QAM rail transmission system. Figure 2 shows BER characteristic as the result of computer simulations. According to this figure, we verified that BER characteristic is able to be improved as the amplitude of I channel enlarged more compared with that of Q channel.

In addition, we studied about the method of a synchronous acquisition. As the result of computer simulations, we established a good method by giving the same data for a synchronous acquisition to some channels.

Fig. 1. Block diagram of CDMA-QAM method

Fig. 2. BER characteristic of CDMA-QAM rail transmission system

CDMA-QAM方式の鉄道信号システムへの適用に関する一検討

学生員 望月 寛* 非会員 浅野 晃**
 正員 佐野 実** 正員 高橋 聖*
 正員 中村 英夫*

A Study on Railway Signal System to Apply CDMA-QAM Method

Hiroshi Mochizuki*, Student Member, Akira Asano**, Non-member, Minoru Sano**, Member,
 Sei Takahashi*, Member, Hideo Nakamura*, Member

Recently, QAM (Quadrature Amplitude Modulation) transmission is paid to attention in digital modulation method, and it has been used for wireless LAN and digital broadcasting. QAM is a modulation method that puts information on carrier amplitude and phase. So QAM can achieve high-capacity data transmission that the use efficiency of frequency band is good. But QAM has a bad characteristic that is weak to the noise and the interference because distance between each symbol is short. Then we propose the method that not transmission data but CDMA signal, obtained after transmission data is modulated by spread code and multiplexed, is given to each symbol of QAM. And we studied about railway signal system on track circuit as a sample to apply this method. As result of computer simulations, we verified to be able to achieve the improvement of signal to noise ratio by optimizing the constellation map of QAM. We report with the method of a synchronous acquisition.

キーワード：QAM, CDMA, 鉄道信号システム, 軌道回路, 同期捕捉

Keywords: QAM, CDMA, railway signal system, track circuit, synchronous acquisition

1. まえがき

近年、列車制御の更なる高度化を目的として、軌道回路を用いた鉄道信号システムの多情報化が注目されている。軌道回路は無線方式などと比べて、情報のセキュリティ確保や意図的な外乱対策などシステムの安全性確保への配慮が比較的容易にとれるといった利点を持ち、また、レールという既存のインフラを用いるため、増設する設備が比較的軽微であるというコスト面での優位性も持っている。ただ、軌道回路を伝送媒体として考えた時、それが持つ電気車雑音や狭帯域特性など、一般の通信と比べて極めて劣悪な環境下であり多情報化への妨げとなっている。

今回、この問題に対して筆者らは、搬送波の位相と振幅の両方を用いて情報伝送を行う変調方式として、現在、無線 LAN やデジタル放送などで広く用いられている QAM

(Quadrature Amplitude Modulation：直交振幅変調)に注目する。この QAM については、実際によく用いられている 16QAM を例にすると、1 シンボルの伝送で 4 ビットのデータ伝送を実現することができるため、単位周波数あたりの利用効率が良いという利点を持っている。しかし、各シンボル間の距離が短いため、その他のデジタル変調方式と比べ、雑音や干渉に弱いという欠点も持っているため、その実用範囲は、SN 比が比較的高い環境下での使用に限られているのが現状である。

一方、CDMA (Code Division Multiple Access：符号分割多元接続)は、スペクトラム拡散 (Spread Spectrum：以下 SS) 通信技術により実現可能な多元接続方式であり、具体的には、互いに直交な拡散符号を用いることにより、各チャネル間で干渉なくデータ伝送を行うことが可能で、かつ、その受信は拡散符号の相関処理により実現されているため、耐雑音性に優れた手法である。

今回、筆者らは QAM の各シンボルに従来の送信データそのものを割り当てるのではなく、送信データを SS 通信技術によって拡散変調し多元化した CDMA 信号を割り当てる方式 (以下 CDMA-QAM 方式) を提案する。本方式では、QAM でのシンボル誤りがあった時に、CDMA の相関処理により、それを吸収することが目的で、結果として、

* 日本大学大学院理工学研究科
 〒274-8501 船橋市習志野台 7-24-1
 Graduate School of Science and Technology, Nihon University
 7-24-1, Narashinodai, Funabashi 274-8501

** 京三製作所
 〒230-0031 横浜市鶴見区平安町 2-29-1
 Kyosan Electric Mfg Co, Ltd.
 2-29-1, Heian-cho, Tsurumi, Yokohama 230-0031

QAM の SN 比特性の向上が期待できる。また、本方式では、CDMA の多元接続数によらず単一の QAM 変復調器のみで構成可能なため、大幅な回路削減が実現可能であるという利点も有している。

以上、筆者らが提案する CDMA-QAM 方式について、その最適シンボル配置を検討するとともに、軌道回路を用いた鉄道信号システムへ適用した時の性能評価を、計算機シミュレーションにより行う。

さらに、CDMA で重要となるシステムの同期捕捉手法については、CDMA の幾つかのチャンネルに同期捕捉用データを与えて実現する手法について提案し、その性能についても評価する。

2. QAM の原理

QAM とは、振幅変調と位相変調の両方を組み合わせた変調方式であり、今、搬送波周波数を f_c [Hz] とした時、QAM 信号 $s(t)$ は以下の (1) 式で表わされる。

$$s(t) = a_I(t) \cos(2\pi f_c t) + a_Q(t) \sin(2\pi f_c t) \cdots \cdots (1)$$

このように、位相が $\pi/2$ rad 異なるような直交する二つの

図 1 16QAM のシンボル配置

Fig. 1. Constellations of 16QAM.

図 2 16QAM のブロック図

Fig. 2. Block diagram of 16QAM.

搬送波 $\cos(2\pi f_c t)$ 及び $\sin(2\pi f_c t)$ を使い、また、 $a_I(t)$ 及び $a_Q(t)$ に送信データに応じた振幅を与える。この振幅に与えるビット数に応じて、16QAM, 64QAM, 256QAM などが存在する。図 1 は 16QAM におけるシンボル配置の一例である。図 1 では、I チャンネル、Q チャンネル共にシンボルを等間隔となるように配置した例である。このように、16QAM の各シンボルは I チャンネルと Q チャンネルそれぞれ 4 値の組み合わせにより決定され、結果として、4 ビットを 1 シンボルとしてデータ伝送することが可能である。

図 2 は、実際、16QAM による伝送を行う時のブロック図である。図 2 より、送信機では、4 ビットデータをシリアル-パラレル変換し、上位 2 ビット及び下位 2 ビットといったような 2 組に分割して、それぞれを I チャンネル及び Q チャンネルに与える。その後、信号変換回路により、各チャンネルでベースバンド信号を生成し、直交変調を行い送信する。一方、受信機では、各チャンネルで復調し LPF を通した信号を 4 値に判定した後、2 ビットデータに変換し、それらをパラレル-シリアル変換によって結合し、受信データを得ることができる。

3. CDMA-QAM 方式の概要

〈3・1〉 CDMA CDMA は多元接続の一種であり、SS 通信技術を用いることにより実現できる。図 3 は、一般的に良く用いられている DS (Direct Sequence: 直接拡散) 方式のブロック図である。本方式では、送信機でまず搬送波による狭帯域変調を行う。その後、拡散符号による拡散変調を行うことにより、信号のスペクトラムを広帯域に拡散する。一方、受信機では、受信した広帯域信号に送信機との符号同期を取った上で逆拡散を行うことにより、元の狭帯域信号に戻し、搬送波による復調を経てデータを得るような構成となっている。

ここで、図 3 中の拡散符号について、もし、選択した複

図 3 SS 通信のブロック図 (DS 方式)

Fig. 3. Block diagram of SS communication (DS system).

数の拡散符号間で、相互相関特性が十分に小さければ、これらのチャネルは同一周波数帯で多元化しても干渉することなくデータを伝送することが可能である。これを CDMA と呼ぶ。

実際、CDMA の実現については、拡散符号として直交符号が採用されている方式がある。この符号は、以下の (2) 式に示すアダマール行列により生成される。

$$H_1 = [1]$$

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N-1} & H_{N-1} \\ H_{N-1} & -H_{N-1} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2)$$

この (2) 式によって生成された行列の各行が直交符号として用いられる。今、符号長 32 の直交符号 32 個について、任意の自己相関及び相互相関特性を図 4 及び図 5 に示す。これらの図より、この符号の特徴としては、任意の符号位相差における自己相関及び相互相関特性は CDMA の拡散符号としてよく用いられている M 系列や Gold 符号に比べ悪い特性となるが、同期確立時における任意の符号間の相互相関特性が全てゼロとなり極めて良好な特性になるという特徴を持っている。また、符号数については符号長の数だけあるので、全てのチャネルを同期して送信する同期式 CDMA という条件下で、多元接続により一般のデジタル変調と比較して情報速度の飛躍的向上を望める⁽¹⁾。

〈3・2〉 CDMA-QAM 方式の基本構成 今回、筆者らが提案する CDMA-QAM 方式のブロック図を図 6 に示す。

図 4 符号長 32 の直交符号の自己相関特性

Fig. 4. Auto-correlation characteristics of length 32 orthogonal code.

図 5 符号長 32 の直交符号の相互相関特性

Fig. 5. Cross-correlation characteristics of length 32 orthogonal code.

図 3 で示した SS 通信のブロック図とは異なり、送信部では、63 のパラレルデータに変換された送信データは、まず、拡散符号によって拡散変調される。そして、各チャネルを足し合わせた結果、振幅値として 0~63 までの 64 値をとり得るので、これを 2 進数表現した時の上位 3 ビットを I チャネル、下位 3 ビットを Q チャネルとして、図 7 のように 64QAM の各シンボルに割り当て、送信信号とする。受信部でも、まず、64QAM の復調を行った後、拡散符号により逆拡散を行い、パラレル-シリアル変換して受信データとする。

この方式では、64QAM の各シンボルに割り当てられているのは、送信データで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

図 6 CDMA-QAM 方式のブロック図

Fig. 6. Block diagram of CDMA-QAM method.

図 7 CDMA-QAM 方式における各シンボルの振幅データ割り当て

Fig. 7. Amplitude data allocation of each symbol in CDMA-QAM method.

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という特徴を持っている。また、伝送対象として1対1を想定した時、図3の構成では、搬送波による変復調器が多元接続数だけ必要になるのに対して、図6の構成では、多元接続数によらずQAMの変復調器が1つだけあれば良いため、大幅な回路削減を実現することもできる。

〈3・3〉 CDMA-QAM方式のシンボル配置 CDMA-QAM方式のシンボル配置を決定するにあたり、まず、送信部において拡散変調後、各チャンネルを足し合わせた時の振幅値について解析を行う。その頻度分布を図8に示す。こ

図8 拡散変調後の振幅値の頻度分布

Fig. 8. Frequency distribution of amplitude after spread modulation.

図9 CDMA-QAM方式のシンボル配置

Fig. 9. Constellations of CDMA-QAM method.

こで、筆者らが提案するCDMA-QAM方式の多元接続数を63とすると、振幅値として取り得る値は、先ほども述べたように0~63の64値である。それを踏まえると図8より、振幅値は最大値のほぼ半分となる32を中心とした不均一な分布になっていることが分かる。

以上のことより、QAMのシンボル配置について検討すると、今回、上位3ビットをIチャンネル、下位3ビットをQチャンネルとして各シンボルに図7のように割り当てているので、図8のような不均一な分布の時、Q軸付近のシンボルに集中する。一方で、Iチャンネルは上位ビットを割り当てている。具体的には、Qチャンネル側へ1シンボル誤った時には、振幅値の変動分が1であるのに対して、Iチャンネル側へ1シンボル誤った場合には振幅値の変動分が8と大きくなる。そのため、IチャンネルはQチャンネルに比べてシステム全体のビット誤り率特性に与える影響が大きい。したがって、QAMのシンボル配置として図9のように、Iチャンネルのシンボル間隔をQチャンネルのそれよりも広くとるような配置とすることにより、システム全体の電力を極端に大きくすることなく、ビット誤り率特性を向上させることができると考えられる。

4. 鉄道信号システムへの適用

〈4・1〉 背景 新幹線のブレーキ扱いの効率化や乗り心地向上を意図したデジタルATC (Automatic Train Control) の実用化、さらには、在来線での無線による列車制御システムATACS (Advanced Train Administration and Communications System) の実験など、近年、列車制御の高度化を目的とした取り組みがなされている⁽²⁾⁽³⁾。しかし実際は、情報速度という点でまだ十分でない。例えば、デジタルATCに関しては300 bps、また、ATACSに関してはシステム全体としては9600 bpsであるものの、それを制御対象列車数で分割するため1列車あたりの情報速度は大きくないのが現状である。そこで、筆者らは提案したCDMA-QAM方式について、軌道回路を伝送媒体とした鉄道信号システム (以下CDMA-QAM式レール伝送システム) への適用を行い、既存技術の情報速度よりも十分に大きい2000 bps程度の情報速度の実現可能性について検討する。

〈4・2〉 レールを用いたデータ伝送の特徴 今回、伝送媒体として軌道回路を用いるが、これは送電線路や通信線路と同じように図10のような分布定数回路として考えることができる。ここで R をレール抵抗、 L をレールイン

図10 軌道回路の等価回路

Fig. 10. Equivalent circuit of track circuit.

図 11 軌道回路の周波数特性

Fig. 11. Frequency response of track circuit.

ダクタンス, G を漏れコンダクタンス, C を静電容量と呼び, これらは軌道回路定数と呼ばれている。実際の軌道回路は数 100 m から 1 km 程度の長さでその周波数特性は数 kHz 程度で大きく減衰する低周波通過特性を持っている。したがって, 一般の通信系と異なり高周波を使うことができないという特徴を持っている⁽⁴⁾。今回の計算機シミュレーションにおいては, 文献(5)に基づいた軌道回路の代表的な特性をデジタルフィルタで表現し, 検討を行うこととする。図 11 に周波数特性を示す。

また, 電気車雑音に関して, 今回対象として考えている直流電化区間においては, 一般の通信系の白色雑音とは異なり, 電源周波数の 6 次高調波である 300 Hz 周期で大きなピークを持つような特性を有しており, さらに時間的変動も大きいという特徴も持っている。なお, 本研究での計算機シミュレーションによる評価については, 直流電化区間で実際に測定されたデータを用いている。

このように, レールを用いたデータ伝送では, 低周波通過特性に起因して情報速度を大きく取れないことや電気車雑音への配慮が必要といった固有の問題がある。

しかし, ATC システムに代表される列車制御というフェールセーフ性が要求されるシステムへの適用においては, 情報のセキュリティ確保や意図的な外乱対策などシステムの安全性確保への配慮が比較的容易にとれるといった利点も持っている。また, 新たな設備を増設する必要性もないので, コスト面でも有利である。

今回, 筆者らが提案する CDMA-QAM 式レール伝送システムにおいては, 現行のデジタル ATC と同じ構成を取り, 送受信部における変調方式を変更しているだけであるため, 現行と同等のフェールセーフ性を有している。また, 異なる軌道回路からの信号の回りこみなどに対しても, 明確に弁別できる必要があると考えており, これについては, 同期をずらしたり拡散符号の選択に配慮したりするといった対応法が考えられる。さらに, CDMA における拡散変調

表 1 CDMA-QAM 式レール伝送システムの仕様
Table 1. Specification of CDMA-QAM rail transmission system.

Parameter	Values
Carrier frequency	4096Hz
Spread code	The code that takes exclusive-OR of orthogonal code and the sequence that added M sequence to "1" as balance chip
Code length	64
The number of multiple access	63
Transmission speed for each channel	32bps
Total transmission speed	2016bps
Track circuit length	1km
Rail noise	Measured data

図 12 CDMA-QAM 式レール伝送システムのビット誤り率特性

Fig. 12. BER characteristic of CDMA-QAM rail transmission system.

は, 多重化の他に, 実データに対して拡散符号による一種の暗号化を施している側面も合わせ持っているため, 情報のセキュリティ確保や意図的な外乱対策という点では, 現行方式より優れた特性を有している。

そして, 本システムで実現した情報量の増加は, 指令情報の伝達や在来線では踏切制御状況に関する情報の伝達といった, 現在システムの枠外とされている機能を取りこめる他, 旅客案内などのサービス情報の提供といった機能拡充にも利用できると考えられる。

〈4・3〉性能評価 CDMA-QAM 式レール伝送システムの仕様を表 1 に示す。ここで, 表 1 の拡散符号については, 拡散変調時のスペクトラムを効率的に拡散させることを目的として, 直交符号と 64 チップ目に 1 を加えた M 系列との排他的論理和をとった符号を採用する。軌道回路長に関しては図 11 に示した軌道回路の周波数特性を算出する際に用い, また, 電気車雑音は直流電化区間で実際に測定されたデータを用い, その雑音レベルを変動させて, 計算機シミュレーションに反映させている。

この仕様に基づいて、計算機シミュレーションによる性能評価を行った。IチャネルとQチャネルとのシンボル間隔比を1:1から4:1まで変化させた時のSN比に対するビット誤り率特性を図12に示す。図12より、シンボル間隔比を大きくするにつれて、ビット誤り率特性が向上していることが分かり、その比が3:1及び4:1の時、鉄道通信の基準である 10^{-5} のビット誤り率⁶⁾を得られることが分かり、筆者らが提案したCDMA-QAM方式におけるシンボル配置の有効性が検証された。

また、受信信号と実際のシンボルとのずれを評価するためにEVM (Error Vector Magnitude)を導入する。具体的には、受信信号より得られたシンボルのIチャネル成分及びQチャネル成分を y_I 及び y_Q 、また、実際のシンボルを a_I 及び a_Q とする時、EVMを以下に示す2つの式で定義する。

$$\bar{e}_I = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n |y_{I,m} - a_{I,m}| \dots\dots\dots (3)$$

図13 EVM特性 (Iチャネル)
Fig. 13. EVM characteristic (I channel).

図14 EVM特性 (Qチャネル)
Fig. 14. EVM characteristic (Q channel).

$$\bar{e}_Q = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n |y_{Q,m} - a_{Q,m}| \dots\dots\dots (4)$$

(3)式及び(4)式より得られたEVM特性をIチャネルは図13、Qチャネルは図14にそれぞれ示す。これらの図より、シンボル間隔比が大きくなるにつれて、Iチャネル及びQチャネルに割り当てられる電力の偏りが大きくなるため、Qチャネルに関してはEVM特性が悪くなっているが、ビット誤り率特性に大きな影響を与えるIチャネルに関しては、その特性が改善されていることが分かる。

5. 同期捕捉手法

ここでは、CDMA-QAM方式の同期捕捉手法について検討する。図6に示したCDMA-QAM方式のブロック図中の受信部において、各チャネルでの拡散符号による逆拡散の結果として得られる出力は、自己相関値と相互相関値との和である。そこで、図15のように、63チャネルで得られる全出力の絶対値の和を符号長と同じ長さ64のシフトレジスタへ符号位相差毎に順次加算していく。そして、これのある一定のサイクル数分だけ繰り返し、シフトレジスタ内の最大値を検出して、それを同期捕捉点とする。

図15の構成で得られるシフトレジスタ出力を図16に示す。図16より、符号位相差がゼロの同期捕捉点で出力が最大となっているが、その他、同期捕捉点でない任意の符号位相差で一様に出力が大きくなってしまうため、通信系の雑音などによって、同期捕捉を誤ってしまう可能性がある。

そこで、筆者らは送信側であらかじめCDMAの幾つかのチャネルに同期捕捉用データとして同じデータを与え、受信側でそれらのチャネルに関してデータ判定を行い、全てのデータが一致した時のみ、63チャネルで得られる全出力の絶対値の和をシフトレジスタへ加算する手法を提案する。これを、一致判定ゲートを加えた同期捕捉部と呼び、そのブロック図を図17に示す。そして、図17の構成で得られる、シフトレジスタ出力を図18に示す。図18より、

図15 同期捕捉部のブロック図
Fig. 15. Block diagram of synchronous acquisition part.

図 16 同期捕捉部での符号位相差対出力特性

Fig. 16. Output characteristic to phase difference of codes in synchronous acquisition part.

図 17 一致判定ゲートを加えた同期捕捉部のブロック図

Fig. 17. Block diagram of synchronous acquisition part that added agreement judgment gate.

図 18 一致判定ゲートを加えた同期捕捉部での符号位相差対出力特性

Fig. 18. Output characteristic to phase difference of codes in synchronous acquisition part that added agreement judgment gate.

符号位相差がゼロの同期捕捉点で出力が最大となっている点は前に示した図 16 と同じであるが、その他、同期捕捉点でない任意の符号位相差で一様に出力が小さく抑えることができ、結果として、耐雑音性の向上を図れ、良好な同期捕捉を行えることが分かる。

6. むすび

今回、QAM におけるビット誤り率特性の向上を目的として、筆者らは、各シンボルに割り当てるデータについて、従来の送信データそのものではなく、送信データを SS 通信技術によって拡散変調し多元化した CDMA 信号を割り当てた方式である CDMA-QAM 方式について提案し、その最適なシンボル配置も含めて検討を行った。そこで、2 進数表現された振幅値の上位 3 ビットを I チャンネル、下位 3 ビットを Q チャンネルとして各シンボルに割り当て、システム全体のビット誤り率特性に与える影響が大きい I チャンネルのシンボル間隔を Q チャンネルのそれよりも広くとるような配置とした。これにより、ビット誤り率特性を向上できるだけでなく、CDMA における拡散変調後の振幅値の頻度分布が不均一で Q 軸付近のシンボルに集中するため、システム全体の電力が極端に大きくならないことも示した。

そして、この CDMA-QAM 方式の適用例として、軌道回路を伝送媒体とした鉄道信号システムを挙げ、CDMA-QAM 式レール伝送システムについて性能評価を行った。

その結果、代表的な軌道回路特性と実際に計測された電気車雑音を取り入れた計算機シミュレーションにより、I チャンネルのシンボル間隔を大きくするようなるシンボル配置でのビット誤り率特性の向上を確認し、実用化への見通しを検証した。

さらに、CDMA-QAM 方式の同期捕捉手法については、各チャンネルでの拡散符号による逆拡散の結果として得られる出力の絶対値の和をシフトレジスタへ符号位相差毎に順次加算していく手法に加え、筆者らは、送信側で CDMA の幾つかのチャンネルに同期捕捉用データとして同じデータを与え、それらを受信側で一致判定し、全てのデータが一致した時のみ、63 チャンネルで得られる全出力の絶対値の和をシフトレジスタへ加算する一致判定ゲートを加えた手法を提案し、結果として、耐雑音性の向上を図れ、良好な同期捕捉が行えることを確認した。

現在までに、今回の提案手法の送受信部を構成し、実際に伝送路を用いて計算機シミュレーションの成果の確認を行っている。今後は、CDMA-QAM 方式におけるシンボル配置などの深度化を図ると共に、実際の軌道回路、電気車雑音の下で安定稼働できることの検証を行いたい。

(平成 17 年 6 月 28 日受付, 平成 17 年 10 月 3 日再受付)

文 献

- (1) H. Harada and R. Prasad: Simulation and Software Radio for Mobile Communications, Artech House (2002)
- (2) S. Irie and T. Hasegawa: "A study on the Railway Signalling System using Spread Spectrum Communication", IEICE Technical Report, Vol.93, No.89, pp.43-48 (1993-6) (in Japanese)
入江章二・長谷川孝明:「鉄道信号へのスペクトル拡散通信の適用に関する一検討」, 信学技報, Vol.93, No.89, pp.43-48 (1993-6)
- (3) ATACS システム評価委員会:「ATACS システム評価委員会 報告書」, 日本鉄道電気技術協会 (2005)
- (4) 電気鉄道における教育調査専門委員会: 最新鉄道電気工学, コロナ社 (2000)

-
- (5) 信号保安協会：鉄道信号ハンドブック, 信号保安協会 (1969)
(6) 渡辺郁夫・高重哲夫：「デジタル ATC の情報伝送」, 日本鉄道電気技術協会, 鉄道と電気技術, Vol.6, No.2, pp.10-14 (1995-2)

望 月 寛 (学生員) 1978 年 10 月 16 日生。2001 年日大・理工・電子工学卒。2003 年同大学院博士前期課程電子工学専攻了。現在, 同大学院博士後期課程電子工学専攻在学中。鉄道信号システムに関する研究に従事。電子情報通信学会学生会員。

浅 野 晃 (非会員) 1957 年 5 月 7 日生。1981 年東京電機大・工・電気工学卒。現在, (株)京三製作所に勤務。鉄道信号システムの開発に従事。

佐 野 実 (正員) 1962 年 8 月 28 日生。1986 年東京電機大・理工・電気工学卒。現在, (株)京三製作所信号事業部信号技術部システムグループ課長。列車制御のシステム設計に従事。

高 橋 聖 (正員) 1968 年 8 月 18 日生。1991 年日大・理工・建築卒。1993 年同大学院博士前期課程建築学専攻了。現在, 同大電子情報工学科専任講師。博士 (工学)。鉄道信号システム, ソフトコンピューティングの産業応用に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本信頼性学会, 日本建築学会各会員。

中 村 英 夫 (正員) 1948 年 7 月 12 日生。1971 年国鉄中央鉄道学園大・電気卒。1972 年鉄道技術研究所, 1978 年日大・委託研究員, 1986 年東京理科大・工 II・電気卒, 1990 年鉄道総合技術研究所室長, 1990 年同退職, 日大・理工助教授, 現在, 同大教授。博士 (工学)。ディペンダブルシステム, 情報応用交通工学の研究に従事。電子情報通信学会 DC 研究専門委員会委員, 信頼性学会会長, 電気学会論文委員。電子情報通信学会, 日本信頼性学会, 安全工学会, IEEE 各会員。