A Development of the High-capacity Data Transmission System on Track Circuit Using Spread Spectrum Communication

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: spread spectrum, track circuit, rail noise, orthogonal code, synchronous acquisition

This paper describes the high-capacity data transmission system for advanced ATC (Automatic Train Control) System on track circuit. A conventional ATC system is very high safety, but this system has a problem that the high-capacity data transmission is very hard. It is because track circuit, the object of the data transmission, have some differences with a general communication system, such as the rail noise. On the other hand, spread spectrum (SS) can achieve CDMA (Code Division Multiple Access) that can transmit two or more signals to the same frequency band. Moreover, because this is good also in the characteristic to noise, this is a technique widely used. Then we develop the high-capacity data transmission system using SS communication this time, and we call it SS rail transmission system.

Figure 1 shows SS rail transmission system. 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 carrier and spread codes, and it is transmitted to track circuit as transmission signal. In receiver, transmission signal to which rail noise is added, and attenuated by track circuit is demodulated by spread code and carrier. Here, orthogonal code is used as spread code. It has the characteristic that there is no cross-correlation under the conditions of synchronisation established between code sequences. Therefore, in SS rail transmission system, CDMA can be achieved by orthogonal code, and the number multiple-access is 63 this time. And SS rail transmission system achieves at about 2000 bps as a whole as about 30 bps a channel.

Basing on above, we carried out computer simulations changed the transmission speed about this system. Figure 2 shows BER characteristic as the result. According to this figure, we verified to be able to take BER of 10^{-5} that is the standard of a communication for a railway signal when transmission speed is about 2000 bps that increased to about ten times that of a conventional ATC system.

In addition, we studied about the method of a synchronous acquisition. And we established a good method by giving the same data for a synchronous acquisition to some channels. As a result, we verified to be able to take synchronous acquisition time of about 300 ms that is a practical level in ATC system.

Fig. 1. Block diagram of SS rail transmission system

Fig. 2. BER characteristic of SS rail transmission system

軌道回路を用いたスペクトラム拡散通信式 多情報伝送システムの開発

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 Development of the High-capacity Data Transmission System on Track Circuit Using Spread Spectrum Communication

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

This paper describes the high-capacity data transmission system for advanced ATC (Automatic Train Control) System on track circuit. A conventional ATC system is very high safety, but this system has not realized the high-capacity data transmission because of the high return current noise. Therefore, we develop the high-capacity data transmission system using spread spectrum communication in consideration of the characteristic of track circuit. And we verified to be able to take about 2000 bps, with the result that we carried out computer simulations changed the transmission speed about this system. In addition, we studied about the method of a synchronous acquisition. As a result, we established a good method by giving the same data for a synchronous acquisition to some channels. We report this method with result of computer simulations.

キーワード：スペクトラム拡散，軌道回路，電気車雑音，直交符号，同期捕捉

Keywords: spread spectrum, track circuit, rail noise, orthogonal code, synchronous acquisition

1. まえがき

京浜東北線などで導入されているデジタル ATC (Automatic Train Control) ⁽¹⁾ のように、機能の高度化を図った保安装置の実用化が行われているが、そのベースに情報量の拡大が寄与している。この情報量がさらに拡大すれば、指令業務の伝達や設備の状態を反映させた列車制御など従来の保安制御の概念を大きく変える可能性がある。開発が進んでいる無線による列車制御システム ATACS (Advanced Train Administration and Communications System) ⁽²⁾ も情報量は拡大しているが、1 列車あたりの情報量にすると極端に増大しているわけではない。

筆者らは、現行のデジタル ATC で限界とされている 200～300 bps の約 10 倍となる 2000 bps 程度の情報速度を実現す

るという目標を立て、その手法について検討を行った。当然のことながら、鉄道信号システムはフェールセーフ性の確保が必須である。その点では高周波通過特性に劣るなど高速伝送に不利な条件があるものの、無線方式に比べ、情報のセキュリティ確保や妨害などに対する対策も容易で、フェールセーフ性に実績があり、かつ、システム構成そのものを大きく変えることなく実現できる軌道回路を用いたデジタル ATC 型の情報速度の向上というアプローチが妥当であると考えた。

そこで、軌道回路を用いた情報伝送の向上というアプローチに関して、同一周波数帯でも任意の拡散符号間の直交性を利用することにより多元接続を行う CDMA (Code Division Multiple Access) を実現できるスペクトラム拡散 (Spread Spectrum: 以下 SS) 通信に着目する。そして、今回の伝送対象が、携帯電話で用いられている時のようなマルチユーザではなく、あくまで地上対車上の 1 対 1 であることから、それらを考慮し軌道回路に適した拡散符号の選定などを行い、SS 通信によるレール伝送システム (以下 SS 式レール伝送システム) を提案した。本システムが実用され、2000 bps の伝送が可能となれば、より高度な保安制御の実現に供する他、指令変更を反映した制御や、災害や異常時を含め機

* 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

器、現場設備の状態に応じた制御など、新しい列車制御の概念を切り拓く可能性を持っていると考えている。

ATC システムの多情報伝送を目的とした SS 通信による伝送システムの研究については既に誘導線路を用いた研究報告があるが⁽³⁾、レール間に伝送路を設備せねばならない問題がある。本研究では、MATLAB を用いた計算機シミュレーションにより、情報速度をパラメータとした時のビット誤り率特性で拡散符号の選択や利用周波数帯域の設定などを含めた SS 式レール伝送システムを評価し、実用可能なシステムを提案する。

また、システムの同期捕捉手法については、今回対象とする伝送が地上対車上の 1 対 1 の同期式 CDMA であることに着目し、幾つかのチャンネルに同期捕捉用データを与えて行う手法について提案し、その性能についても検討する。

2. レールを用いたデータ伝送の特徴

〈2・1〉 軌道回路 軌道回路は、図 1 のようにある一定区間でレールを絶縁し、軌道回路送電側（軌道変圧器）と受電側（軌道リレー）によって作られる閉回路であり、列車検知センサとしての役割を持つ。

レールには、軌道回路で用いる信号電流の他に大電流の電気車電流が流れている。信号電流は軌道回路種別により多様で商用周波数の 1/2 の 25Hz から 20kHz の AF 帯域が用いられる。また、実際のレールでは、絶縁継目部にインピーダンスボンドを付加する。これにより、信号電流に対してはトランスの働きをして、各軌道回路が独立閉回路を構成する。一方、電気車電流に対してはバイパス路として働き、全ての軌道回路が連続した 1 本の帰線を構成する。

図 1 軌道回路
Fig. 1. Track circuit.

図 2 軌道回路の等価回路
Fig. 2. Equivalent circuit of track circuit.

この軌道回路は送電線路や通信線路と同じように図 2 のような分布定数回路として考えることができる。軌道回路は 4 端子回路網として扱うことが一般的であるが、本論文では軌道回路計算の簡単化を図るため、図 2 に示すような T 型回路の形を採用する⁽⁴⁾。ここで R をレール抵抗、 L をレールインダクタンス、 G を漏れコンダクタンス、 C を静電容量と呼び、これらを軌道回路定数といい、その一例を表 1 に示す。また、この軌道回路定数は、気象条件により大きく変動する。特に、漏れコンダクタンスはその変動が激しく、降雨、積雪、氷結の時は漏れコンダクタンスが大きく、晴天の時は漏れコンダクタンスが小さい。

実際の軌道回路は数 100 m から 1 km 程度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⁽⁵⁾。このため通常の SS 通信をそのまま用いることはできない。

今回、計算機シミュレーションにより検討を行う際には、この軌道回路をデジタルフィルタにより表現した。その設計に関しては、図 2 に示すような T 型回路の形で、表 1 に示した軌道回路定数を用いて、周波数毎の減衰量を計算し、その計算結果を満足するようなフィルタ係数を求めた。その周波数特性を図 3 に示す。

以上、軌道回路について述べてきたが、本研究では、直

表 1 軌道回路定数の一例

Table 1. A sample of track circuit constant value.

f kHz	R Ω/km	L mH/km	G S/km	C $\mu\text{F}/\text{km}$
0.5	1.26	1.46	0.173	2.63
1	1.74	1.38	0.174	1.56
2	2.39	1.32	0.176	1.03
3	2.83	1.30	0.178	0.86
4	3.12	1.30	0.180	0.74
5	3.36	1.30	0.180	0.72

図 3 軌道回路の周波数特性

Fig. 3. Frequency response of track circuit.

流電化区間のみを対象としている。

〈2・2〉 電気車雑音 電気車雑音として、まず、電気車電流雑音が挙げられる。これは、今回対象として考えている直流電化区間において、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。

その他、列車の床下に搭載した各機器などから漏洩する磁束が、軌間に配置した信号設備と結合して影響を与える直達雑音や、車軸とレール路面の間のアークにより発生するホイールアーキング雑音も電気車雑音として挙げられる⁽⁶⁾。

〈2・3〉 レールを伝送媒体とすることの利点 今まで述べてきたように、レールを用いたデータ伝送には、低周波通過特性に起因する情報伝送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、デジタル ATC 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ある。また、基本構成は現行のデジタル ATC と同じであるので、提案システムの送受信部のみを設計すればよく、増設する設備が比較的軽微である点からコスト面でも有利である。

以上、筆者らが提案する SS 式レール伝送システムの課題と利点について述べた。

3. SS 通信の概要

〈3・1〉 原理と特徴 図 4 は、SS 通信で一般的によく用いられている DS (Direct Sequence: 直接拡散) 方式のブロック図である。本方式では、拡散符号による拡散変調及び逆拡散操作を行うことにより、耐雑音性の向上、通信の秘匿性、CDMA が実現可能といった特徴がある⁽⁷⁾。

〈3・2〉 拡散符号に求められる特性 SS 通信における拡散符号の選択は非常に重要な課題である。拡散符号に求められる特性としては、以下のようなものが挙げられる。

- (1) 自己相関特性が符号位相差ゼロで鋭いピークを持ち、それ以外の任意の符号位相差について絶対値が十分に小さいこと。
- (2) 任意の二つの符号について、その相互相関値の絶対値が全ての符号位相差について十分に小さいこと。
- (3) 上記条件を満たす符号数が多いこと。

このことを踏まえて、SS 通信に用いられる各種拡散符号の比較を表 2 に示す。ただし、表中の ( ) 内は同期確立時における特性である。表 2 より各種拡散符号の比較を行なう。

まず、M 系列 (M sequence) について考えると、これは、ある長さのシフトレジスタと原始多項式に基づいたフィードバックによって生成される最長の周期となる符号系列である。この符号の特徴としては、他の符号に比べ、任意の符

図 4 SS 通信のブロック図 (DS 方式)

Fig.4. Block diagram of SS communication (DS system).

表 2 各種拡散符号の比較

Table 2. Comparison of each spread code.

Spread code	Auto-correlation characteristics	Cross-correlation characteristics	The number of codes
M sequence	○ (◎)	○ (○)	×
Gold code	△ (◎)	△ (△)	◎
Orthogonal code	× (◎)	× (◎)	◎

( ): Characteristics under the conditions of synchronisation established between code sequences

号位相差における自己相関及び相互相関特性が良好であることが挙げられる。ただ、その符号数は非常に少なく、また符号長を長くしたとしても、その数は必ずしも多くなるとは限らないので、多元接続による情報速度の向上が望めない。

一方、Gold 符号 (Gold code) は、符号長の等しい 2 つの M 系列の加算により得られる合成符号である。この符号の特徴としては、任意の符号位相差において、ある程度良好な相関特性を持っている点が挙げられる。また、符号数は (符号長 + 2) 個あり、これは M 系列に比べて多い。ただ、同期確立時における任意の符号間の相互相関特性がゼロでないため、これらの符号の全てまたはその多くを採用した多元接続は、ビット誤り率特性の劣化を招くという欠点を持っている。

それらと比較して、直交符号 (orthogonal code) について考えると、これは、以下に示すアダマール行列により生成される。

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$$

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

この(1)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5及び図6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前に述べた2つの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おり、また、符号数については符号長の数だけあるので、全てのチャンネルを同期して送信する同期式CDMAという条件下で、多元接続による情報速度の向上が望める。

以上、各種拡散符号の比較を行ったが、実際には、それぞれの伝送における制約条件に合った拡散符号を選択する必要がある。

〈3・3〉 レール伝送におけるSS通信の有効性 現在、レール伝送に用いられているMSK変調では、時間的変動の多い電気車雑音が入ってきた場合、ビット誤り率特性が劣化してしまう。一方、SS通信では電気車雑音の時間的変動があっても、これを拡散符号との相関処理によって、使用帯域外へ拡散し、BPFによりカットすることにより、S/N比特性の向上を図ることが可能である。また、多情報化という点から考えると、軌道回路の持つ低周波通過特性から十分な帯域が確保できないため、同一周波数帯に複数の信号を伝送することが可能なCDMAを用いるのが有効である。

図5 符号長32の直交符号の自己相関特性

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

図6 符号長32の直交符号の相互相関特性

Fig. 6. Cross-correlation characteristics of length 32 orthogonal code.

これらを踏まえて、SS式レール伝送システムに適した拡散符号について検討する。今回の伝送対象が、携帯電話で用いられている時のようなマルチユーザではなく、あくまで地上対車上の1対1である。したがって、同期式CDMAを用いることが可能である。表2の各種拡散符号の比較によると、直交符号は同期確立時に完全直交性の特徴を持ち、かつ、符号数が多いため、狭帯域での多情報化を実現できる可能性がある。以上のことより、拡散符号として直交符号を採用する。

さらに、鉄道信号システムはフェールセーフ性の確保が必須である。これについて検討すると、本研究で提案するシステムの基本構成は、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工夫しているだけでも考えられるので、系としては、現行と同等のフェールセーフ性を有していると考えられる。ただ、それに加えて、SS通信における拡散変調は、スペクトラムを広帯域に拡散させて実データに拡散符号による一種の暗号化を施している利点もあるので、その点では、現行方式より優れている特長を有している。

以上、レール伝送におけるSS通信の有効性を述べたが、利用周波数帯域の設定など、具体的な設計は次節で述べる。

4. SS式レール伝送システム

〈4・1〉 概要 今回検討するSS式レール伝送システムのブロック図を図7に示す。具体的には、送信データをパラレルデータに変換し、MSK変調及び拡散変調して、それら全てを足し合わせたものを送信信号として軌道回路へ流す。軌道回路では、電気車雑音が付加され、さらに軌道回路の持つ低周波通過特性により送信信号は減衰する。受信機では、この信号を各ブロックで逆拡散及びMSK復調し、それらのパラレルデータをシリアルデータに変換し

図7 SS式レール伝送システムのブロック図

Fig. 7. Block diagram of SS rail transmission system.

表 3 SS 式レール伝送システムの仕様

Table 3. Specification of SS rail transmission system.

Parameter	Values
Primary modulation	MSK
Carrier frequency	3150 Hz
Spread code	Orthogonal code
Code length	64
The number of multiple access	63
Track circuit length	1 km
S/N rate	17 dB

図 8 SS 式レール伝送システムのビット誤り率特性

Fig. 8. BER characteristic of SS rail transmission system.

て受信データとする。以上、図 7 に示す本システムはシンプルな構成ながら、前に述べた耐雑音性、秘匿性といったような SS 通信の優位性を含んでいる。

拡散符号は直交符号を採用しているが、ここで、その符号長について検討する。ビット誤り率特性のみを考慮すると、雑音をより拡散させるために符号長はできるだけ長くすべきである。しかし一方で、システムの同期捕捉は、拡散符号のサイクル数に依存する。直交符号では、符号長と同じ数で多元接続し多情報化を図るため、1 チャンネルあたりの情報速度は符号長に反比例する。したがって、同期捕捉に関しては符号長が短い方が有利となる。これらのことを踏まえて、500 ms 程度での同期捕捉を実現した上で、本論文でターゲットとしているシステム全体で 2000 bps 程度の情報速度とするためには、1 チャンネルあたり 30 bps 程度の 64 チャンネルによる CDMA が最適であると考えられるので、符号長も 64 とする。ただ実際の多元接続は、直交符号の中に全て 1 という符号が含まれているため、それを除外して 63 チャンネルとする。

以上のことを踏まえて、SS 式レール伝送システムの仕様を表 3 に示す。

〈4・2〉 計算機シミュレーションによる評価 今まで行った様々なパラメータの検討の中で、設計された図 7 や表 3 に基づいた SS 式レール伝送システムに関して、ここでは、ビット誤り率特性より、その性能を計算機シミュレーションにより評価する。ただし、本シミュレーションにおいては送受信間の同期が確立しているものとする。

結果として、情報速度をパラメータとした時のビット誤り率特性を図 8 に示す。図 8 より情報速度を現行システムの約 10 倍となる 2000 bps 程度とした時、鉄道通信の基準である 10^{-5} のビット誤り率⁽⁸⁾ となっていることが分かる。

5. 同期捕捉手法

ここでは、SS 式レール伝送システムの同期捕捉手法について検討する。表 2 にも示したように、今回、拡散符号として採用した直交符号は同期確立時には、極めて良好な自己相関及び相互相関特性を持っている一方で、それ以外の任意の符号位相差については、それらの相関特性が良好でないため、システムの同期捕捉については、M 系列のように受信信号と拡散符号との相関特性で行なう手法は採用できず、別の方法を検討する必要がある。

筆者らは、SS 式レール伝送システムの対象とする伝送が地上対車上の 1 対 1 の通信で、かつ、それが同期式 CDMA で多元接続されていることに着目し、幾つかのチャンネルを組み合わせて、システム全体としての同期捕捉を行なう手法について検討した。具体的には、幾つかのチャンネルに同じ送信データを伝送し、これを以後、同期捕捉用データと呼ぶ。受信側では、それらのチャンネルに関して任意の符号位相差で逆拡散操作を行い、同期捕捉用データの一致判定を行なう。この時、各チャンネルの同期捕捉用データで不一致が生じた場合、この不一致を符号位相差ごとにカウントする。そして、この操作を同期捕捉用データ 1 ビットを 1 サイクルとして繰り返していき、ある符号位相差における同期捕捉用データ不一致が一定のしきい値を超えた時、その符号位相差は同期点でないと判定し同期捕捉点の候補から削除する。結果として、唯一、データ不一致が一定のしきい値を超えなかった符号位相差を同期捕捉点として採用する。

ここで、同期捕捉用チャンネルの直交符号の選択については、同期がとれていない任意の符号位相差において、できる限りデータの不一致が起りやすいような組み合わせを採ることが望ましい。そこで今回、その指標としてビット誤り指数を定義する。これは 0~100 までの値で、送信時に与えた同期捕捉用データに対して誤りなしは 0 (非反転出力)、全て誤りは 100 (反転出力) とする。

このことを踏まえて、今、例として直交符号 2, 31, 38, 47 番目を同期捕捉用チャンネルとした時のビット誤り指数の一例を表 4 に示す。表 4 より、同期捕捉点でない任意の符号位相差において、max-min 値が大きい、つまり、データの不一致が起りやすいということが分かり、短時間で同期捕捉を実現することができる。実際、この組み合わせは 4 つの直交符号の組み合わせについて全検索した結果、同期捕捉点以外の任意の符号位相差における max-min 値の最小値が一番大きくなるような組み合わせである。言い換えると、最もデータの不一致が起る組み合わせであるので、短時間での同期捕捉の実現が期待できる。

ところで、表 4 より、この組み合わせにおける、max-min

表 4 ビット誤り指数の一例
Table 4. A sample of bit error index.

Phase difference of codes	Orthogonal code No.				max	min	max-min
	2	31	38	47			
0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	31	70	45	100	31	69
2	0	60	45	60	60	0	60
3	100	67	39	56	100	39	61
:	:	:	:	:	:	:	:
31	100	40	24	57	100	24	76
32	0	0	100	100	100	0	100
33	100	31	30	66	100	30	70
:	:	:	:	:	:	:	:
60	0	65	83	60	83	0	83
61	100	64	41	58	100	41	59
62	0	64	47	66	66	0	66
63	100	40	76	44	100	40	60

図 9 同期捕捉サイクル数の頻度分布

Fig. 9. Frequency distribution of the number of synchronous acquisition cycle.

値の最小値は符号位相差 61 の時であるが、この時のデータ一致確率は全てのビット誤り指数の積と等しく約 0.152 となる。ここで、本システムでは 1 チャンネルあたり約 30 bps で 500 ms 程度の同期捕捉をターゲットとしているので、それを実現するための拡散符号サイクル数は 15 サイクルとなる。ここで、同期捕捉点の候補から削除するデータ不一致のしきい値を 5 とすると、15 サイクル内でデータ不一致がしきい値の 5 回未満である確率は、二項定理より約 7.5×10^{-7} となり、十分小さな値になる。したがって、しきい値はこの値を採用する。

以上、ここまで述べてきた条件を基に、計算機シミュレーションで得られた同期捕捉サイクル数の頻度分布を図 9 に示す。図 9 より、平均 9 サイクル、つまり 300 ms で、また、最悪でも 15 サイクル以内となっているので、500 ms 以内での同期捕捉が可能であることを確認した。

6. むすび

列車制御システムの性能向上を意図して、軌道回路を用いた対列車情報伝送の伝送速度向上について検討した。既存の情報伝送速度の限界が 200~300 bps 程度であるのに対し、筆者らは 2000 bps を目標とした。伝送方式には SS 通信方式を採用し、その仕様を検討した。伝送媒体となるレールは低周波通過特性を持つため軌道回路の信号波は数 kHz を越えると大きく減衰する。さらに、軌道回路には電源周波数の 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電気車雑音流れるという劣悪な環境にある。このような条件を前提とした情報伝送においても、符号長 64 の直交符号を拡散符号とした 63 チャンネルの CDMA を採用することにより、現在、実用化段階にあるデジタル ATC の約 10 倍となる 2000 bps 程度の情報速度を確保できる可能性があることを軌道回路特性と実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おいて、ビット誤り率特性より確認し、実用化の見通しを検証した。これにより、より高度な保安制御の実現や新しい列車制御の概念を実現できる可能性を示すことができた。

また、システムの同期捕捉手法については、今回対象とする伝送が地上対車上の 1 対 1 の同期式 CDMA であることに着目し、幾つかのチャンネルに同期捕捉用データを与えて行なう手法について提案し、その性能を評価した結果、筆者らが提案した、ビット誤り指数に基づき算出した同期捕捉用チャンネルである直交符号 2, 31, 38, 47 番目を選択することにより、実用レベルである 500 ms 以下での同期捕捉が可能であることが確認された。

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、この成果に基づき DSP などによるハードウェア化の最適化を図り、フィールド試験により性能評価を行いたい。

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

文 献

- (1) 寺田夏樹:「デジタル ATC」, 日本鉄道電気技術協会, 鉄道と電気技術, Vol.9, No.7, pp.16-17 (1998-7)
- (2) 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)
- (3) 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, 93, No.89, pp.43-48 (1993-6)
- (4) 信号保安協会: 鉄道信号ハンドブック, 信号保安協会 (1969)
- (5) 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)
- (6) 日本鉄道電気技術協会:「昭和 61 年度 信号ゼミナール 第 2 編 電車雑音と信号設備への影響」, 昭 61 信号ゼミナール論文集 (1986)
- (7) H. Harada and R. Prasad: "Simulation and Software Radio for Mobile Communications", Artech House (2002)
- (8) 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。

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。

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。

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, 同年同退職, 日大・理工助教授, 現在, 同大教授。博士(工学)。ディベンダブルシステム, 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。

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。