

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560358

研究課題名(和文) 高効率・低価格を実現するCDMA方式

研究課題名(英文) On ZCZ-CDMA Systems With High Performance

研究代表者

松藤 信哉 (MATSUFUJI SHINYA)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00173873

研究成果の概要(和文)：複数移動ロボットや車々間を瞬時に結ぶ高度移動体無線ネットワークシステムは、今後、大きな市場を生み出すものと考えられる。これらへの適用には、瞬時接続可能、リアルタイム伝送可能、複数同時多元接続可能といった性質を持つ通信方式が要求されるが、そのような方式は存在しない。本研究では、それらの性質を有す符号分割多元接続方式(ZCZ-CDMA方式)について検討し、システム性能を明らかにした。さらに、通信プロトコルと実用化のための低価格化を考慮して、送受信回路の基本設計を与えた。

研究成果の概要(英文)：Advanced mobile wireless network systems, that instantaneously connect with mobile robots or motor cars, will invent a big market in the future. However there is no communication device with good properties such that two or more user can connect instantaneously and communicate in real time and simultaneously.

In this study, Code Division Multiple Access systems with the good properties called ZCZ-CDMA systems are discussed and investigated in detail. Furthermore sending and receiving circuits with facilitation of hardware construction are proposed under a newly designed communication protocol.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：近距離無線通信、CDMA、準同期方式、ZCZ符号、干渉除去

## 1. 研究開始当初の背景

複数の移動ロボットや車等の移動体を瞬時に結ぶような高度移動体無線ネットワークへの関心は高まっていくと考えられる。現行の通信規格(方式)では、高速接続によるリアルタイム性、同時多元接続性等の観点から高度移動体無線ネットワークへの適用はまったく不向きである。

研究代表者等は、これらの応用にうまく適用できると期待できるZCZ-CDMA方式を検討している。これは、拡散符号として零相関領域を有するZCZ符号を用い、各送信側では同期制御信号のタイミングに合わせて、ZCZ符号によって拡散された情報フレームを、ほぼ同時に送信する準同期方式を採用している。これにより、他局間干渉除去が

可能となる。つまり、複数多重伝送していても、送受信間はシングルアクセスのように振舞う。また、受信局でも同期制御信号のタイミングに合わせて情報復調するので、フレーム先頭ビットの検出が容易となり、高速にアクセス応答が可能となる。ここでZCZ符号は、研究代表者と中国西南交通大学のPingzh Fan氏が明示し、命名した拡散符号であり、最初に系列数が数学的上界に到達する符号設計を与えている。

一般に変調方式にはPSKが用いられ、議論されている。研究代表者は、光無線通信への適用も考慮に入れ、変調方式にASKを用いたZCZ-CDMA方式の提案とそれに適用可能なZCZ符号について検討している。

しかし、電波がビルや壁からの反射により引き起こされるマルチパスフェージング通信路環境下における復調方式も含めた誤り特性等の詳しいシステム性能は評価されていない。また、実現性を考慮したシステムや送受信回路の設計についても議論されていない。さらに、高速伝送を行う場合、準同期制御が困難となり、また、遅延波による干渉の影響が現れ、それにより伝送効率は低下してしまうという問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、送受信装置のみならず通信システムの簡単化、低価格化を実現し、応答時間の短縮、高速化、高効率化を目指したCDMA方式の最適設計を与えることである。特に、以下の項目に関して検討、考察した。

### (1) ZCZ-CDMAの性能評価

変調方式にBFSKを用いたZCZ-CDMA方式の提案とASK, PSKの場合も含めた性能や特徴を明らかにする。また、ユーザの手元でカスタマイズ出来るFPGAを用いて基本的な送受信回路を試作し、実験による検証を行う。

### (2) 送受信回路の実用化設計

システムおよび送受信回路の容易性を考慮したZCZ符号と全系列の相関を取るマッチドフィルターバンクを設計する。またそれを試作し、検証する。さらに、1対1の通信の手続きであるMACプロトコルの基本設計を考慮した上でシステム設計を行う。

### (3) 高速伝送可能なシステム設計

高速伝送における同期制御の困難さを解決し干渉を完全除去するためには、零相関領域(同期許容時間幅)を広げ、かつ、伝送効率を等しくする符号化・復号化方式について提案、検討する。

## 3. 研究の方法

初年度に、特に、研究の目的における項目(1)-(2)を同時に研究し、基本的な性能評価、性質等を明らかにしていった。次年度以降、

全体が把握できたところで、新たに(3)の研究を進めていった。

研究分担者である松元隆博氏(山口大学)には、特に、送受信回路やマッチドフィルターバンクの設計・試作と実験による検証をしていただいた。中部大学客員教授 畔柳功芳氏には、特に、通信方式とシステム評価に関して、(有)インパルス通信研究所 内藤敏勝氏には、ハードウェア設計に関して研究協力していただいた。また、計算機シミュレーションや回路試作のために各テーマごとに大学院生と共に研究を実施した。

研究の促進や研究のまとめのために、年に1度、研究打合せのために山口大学にて会議を開催した。また、学会等の参加を通じて情報収集するとともに、研究協力者とも複数回意見交換した。

## 4. 研究成果

研究の目的で述べた項目にあわせて、研究成果を以下の通り報告する。

### (1) ZCZ-CDMAの性能評価

①BFSKを用いたZCZ-CDMA方式の送信波形は、2つの周波数の異なるASK信号波として表せる。送信電力はPSKの場合と一定であり、拡散符号はASKと同一のZCZ符号である。

以下に示す各々の性能評価では、公平性のために、ビットレートおよび周波数占有帯域を同一として、信号対雑音電力比に対する誤り特性をシミュレーションと理論式より検討、確認した。

### ②白色ガウス雑音環境下では、コヒーレント

(同期)復調では、PSKに比べ、ASK、BFSKは3dB劣化する。これらは、変調方式により決定される。また、ユーザ数が増加しても、特性はほとんど変化せず、他局間干渉の影響がないことが分かる。また、IQ分離による準同期復調では、2倍の雑音加わるので、どれもが、3dB劣化する。また、ASKの場合、搬送波周波数の同期を必要としないノンコヒーレント復調を適用できるが(さらに3dB劣化)、同時多重通信においては、他局間干渉の影響が大きく現れ、使用できないことが分かった。ASKにおいて、FPGAより試作した同期復調とノンコヒーレント復調において送受信回路を試作し、ほぼ同様の結果になることを検証している。

### ③レイリーフェージング環境下においては、

図1の誤り特性を用いて説明する。ASKはPSKの場合に比べ3dB劣化する。BFSKの場合、二つの搬送周波数におけるレイリーフェージングの影響が相関係数0.9以上と従属している場合、ASKの特性に一致する。しかし、相関係数が0.8になるとPSKと特性は一致する。さらに、0.7以下とフェージングの影響が独立の方向に近づく、PSKより誤り特性は良好になる。ここで、Kはユ

一ザ数を示し、多重化しても他局間干渉は現れないことが分かる。

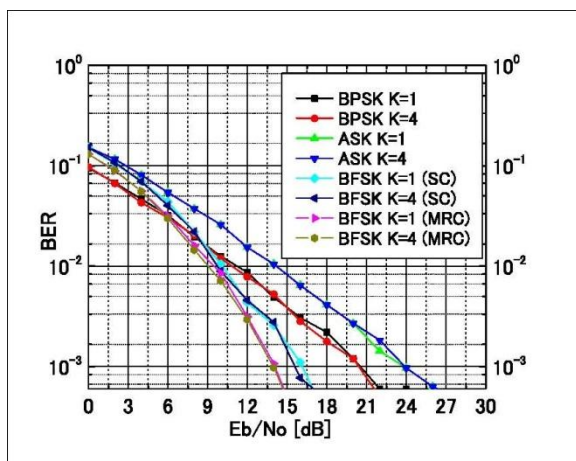


図1. レイリーフェージング環境下での誤り特性

ここで、搬送周波数やチップ間隔を短くするように設定すれば、容易に独立とみなせる状況を作ることができる。

④ 各変調方式におけるZCZ-CDMAを比較すると、以下の通りとなる。ASKの場合は、光無線も含め、シングルアクセス通信として使用されるべきである。PSKは送受信回路が比較的簡素化でき、有効な方式である。一方、BFSKは、二つの搬送周波数を使用するので送受信回路が複雑となるが、近距離無線通信の伝送距離や通信需要に対応して、変調パラメータを選定することにより、フェージングの影響を受けにくいシステムを提供できる。ただし、符号長が半分になる関係で系列数(同時多重できるユーザ数)も半分に減少する。

#### (2) 送受信回路の実用化設計

①同期制御信号を兼用できるZCZ符号を与えれば、送受信回路だけでなく全体のシステムが容易になる。しかし、ZCZ符号の周期相関関数はシフト零近傍のみ零であり、相関出力は、近傍以外のシフトでは一般に大きな相関値が現れる。そこで、単発に同期制御シンボルを送信するような方法にすると、その相関出力は、非周期自己相関関数となる。そこで、それがインパルス特性を有するような系列を含むZCZ符号の設計法を提案した。さらに、相補系列やE系列の性質を利用し、全系列の非周期自己相関が鋭い特性を有すZCZ符号を設計した。また、これに関連した符号の設計に関して検討、考察している。

②ZCZ符号のマッチドフィルタバンクの設計法を示した。これは、論理回路素子を $O(N^2)$ から $O(\log_2 N)$ に少なくすることが可能である。また、FPGAを用いてコンパクトに実現できることを検証した。

③ZCZ-CDMA方式のMACプロトコルの基本設計を行った。本設計は、基本的に、

同期制御信号の間隔ごとにスリーウェイハンドシェイクで通信を確立し、移動していても信頼性を高く送受信できる。また、今までの通信モジュールにはない、まったく、衝突が起こらない通信プロトコルも可能である。実際には、近距離無線通信のZigBeeモジュールを用いてネットワークを構築し、実験、検証することにより、提案のMACプロトコルの設計に辿り着いた。

④MACプロトコルの基本設計を考慮した上で、システムおよび送受信装置の基本設計を示した。同期制御信号にはZCZ符号の中で鋭い非周期自己相関を有す系列を使用し、RTS信号には全ユーザ共通の系列を割り当て、CTS、ACK信号には、相手先の割り当てられた系列を使用する。マッチドフィルタバンクによる送受信一体型のコンパクトな回路設計を与えることができた。これは、ZCZ-CDMA方式の特長である多重通信を行っていてもシングルアクセスとみなせるような条件下では、携帯電話方式のCDMAに見られる非常に複雑な回路から解放されることを意味する。

#### (3) 高速伝送に伴う高信頼化に関する検討

①高速伝送を行う場合、チップ間隔に比例し零相関領域も狭くなり、他局間干渉が現れる。それを解決するためのブロック符号化方式を提案した。これは、 $n$ ビットをインターリーブするように符号化することで、零相関領域を $n$ 倍に広げることが可能となる。また、これは、ハードウェア設計の容易性も考慮している。しかし、復調する場合、自局による符号間干渉が生じてしまう。

②上記の符号間干渉の影響を低減するために、パイロットシンボルを利用した通信路推定による復号化方式を提案し検討した。パイロットシンボルは、零要素をインターリーブした拡散系列を複数回繰り返したものを使用する。この相関出力を通信路推定に利用する。遅延波を含むレイリーフェージング環境下においても、システム性能はほとんど変化しないことを、シミュレーションより確認した。

上記で示したように、リアルタイム性に優れ、同時多元接続が容易であり、ハードウェアコストが低価格化可能なCDMA方式の基本設計を与えることができたと思われる。これは、移動体無線ネットワーク以外にも多くの応用に適用できるものと期待できる。

今後の本研究に関連する重要な課題として、基本プロトコルを基にした詳細な送受信回路のハードウェアシミュレーションによる実用化への道筋をたてることである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計34件)

①Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji

- Tetsuya Kojima, Udaya Parmalli, A Generation Method of an Orthogonal Set of Real-Valued Periodic Orthogonal Sequences from Huffman Sequences, Proc. of AusCTW2011, 査読有, pp.66-70, 2011.
- ② 林田知大, 松元隆博, 松藤信哉, 范平志, E 系列より導かれる ZCZ 符号の性質について, 電子情報通信学会技術研究報, 査読無, WBS2010-68, pp.127-130, 2011.
- ③ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Tetsuya Kojima, Udaya Parmalli, A Generation Method of a ZCZ Set of Real-Valued Periodic Orthogonal Sequences from Huffman Sequences, Proc. of CICC-ITOE2011, 査読有, vol. 2, pp.66-70, 2011.
- ④ Tomohiro Hayashida, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Pingzhi Fan, Binary ZCZ Codes with a Good Aperiodic Autocorrelation Property, Proc. of CICC-ITOE2011, 査読有, vol.2, pp.362-365, 2011.
- ⑤ Ainiwan Abudukeremu, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, On Spreading Sequences for ASK/SS Systems, Proc. of CICC-ITOE2011, 査読有, vol. 2, pp.366-369, 2011.
- ⑥ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, BER Performance of M-ary/ASK-SS System Using Compact Matched Filter Bank for Optical ZCZ Code, Proc. of ICACT2010, 査読有, pp.617-622, 2010.
- ⑦ Takahiro Matsumoto, Yu Suwaki, Shinya Matsufuji, Indoor Experiment of BER Performance of Parallel Transmission Using Optical ZCZ-CDMA System, Proc. of ICACT2010, 査読有, pp.890-893, 2010.
- ⑧ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Compact Bank of Matched Filters for Optical ZCZ Codes Using Fast Algorithm for M-sequence Type Hadamard Matrix, Proc. of NCSP' 10, 査読有, pp.628-631, 2010.
- ⑨ Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, On Logic Functions of Complementary Arrays of Length  $2^n$ , Proc. of AIC' 10, 査読有, pp.208-215, 2010.
- ⑩ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Construction of Optical ZCZ Code Generators With the Smallest Zero Correlation Zone, Proc. of AIC' 10, 査読有, pp.216-220, 2010.
- ⑪ Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Logic Functions of Complementary Arrays International Journal of Applied Mathematics and Informatics, 査読有, Issue 1, Volume 4, pp.9-16, 2010.
- ⑫ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Optical ZCZ Code Generators Using Sylvester-type Hadamard Matrix, International Journal of Communications, 査読有, Issue 1, Volume 4, pp.22-29, 2010.
- ⑬ Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Tomohiro Hayashida, Takafumi Hayashi, Noriyoshi Kuroyanagi, Pingzhi Fan, On a ZCZ Code Including a Sequence Used for a Synchronization Symbol, IEICE Trans. Fundamentals, 査読有, Vol. E93-A, No. 11, pp. 2286-2290, 2010.
- ⑭ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Compact Matched Filter Banks of Optical ZCZ Codes Using Fast Algorithm for M-sequence Type Hadamard Matrix, Journal of Signal Processing, 査読有, Vol.14, No.6, pp. pp.22-29, 2010.
- ⑮ Takafumi Hayashi, Shinya Matsufuji, A Generalized Construction of Optimal Zero-Correlation Zone Sequence Set from a Perfect Sequence Pair, IEICE Trans. Fundamentals, 査読有, Vol. E93-A, No. 11, pp.2337-2344, 2010.
- ⑯ 林田知大, 松元隆博, 松藤信哉, 范平志, 非周期自己相関特性が良好な ZCZ 符号について, 第 33 回情報理論とその応用シンポジウム論文集, 査読無, pp.794-799, 2010.
- ⑰ 平野貴之, 松元隆博, 松藤信哉, 格子型無線アドホックネットワークにおける高速な伝送アルゴリズムの検討, 第 33 回情報理論とその応用シンポジウム論文集, 査読無, pp.841-844, 2010.
- ⑱ Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Matched Filter Implementation on FPGA for Integrand Code Using a Real-Valued Shift-Orthogonal Finite-Length Sequence, Proc. of ICACT2009, 査読有, pp.179-183, 2009.
- ⑲ Takafumi Hayashi, Shinya Matsufuji, A Generalized Construction of Optimal Zero-Correlation Zone Sequence Set from a Perfect Sequence, Proc. of IWSDA' 09, 査読有, pp. 24-27, 2009.
- ⑳ Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Tomohiro Hayashida, Takafumi Hayashi, Noriyoshi Kuroyanagi, Pingzhi Fan, On a ZCZ Code Including a Sequence Useful for Synchronization, Proc. of IWSDA' 09, pp. 28-31, 2009. 査読有
- ㉑ Jincheng Huang, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Noriyoshi Kuroyanagi, Pingzhi Fan, On BFSK-ZCZ-CDMA Systems, Proc. of IWSDA' 09, 査読有, pp. 32-35, 2009.
- ㉒ Takahiro Matsumoto, Yu Suwaki, Shinya

- Matsufuji, Experimental Evaluation of Parallel Transmission Using Optical ZCZ-CDMA System, Proc. of IWSDA' 09, 査読有, pp. 118-121, 2009.
- ②③ Takayuki Hirano, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Koichi Takimoto, Fusanori Miura, On Transmission Characteristics of Lattice Wireless Networks, Proc. of IWSDA' 09, 査読有, pp. 177-180, 2009.
- ②④ Shinya Matsufuji, Pingzhi Fan, Constructions of Factorizable Multilevel Hadamard Matrices, IEICE Trans. Fundamentals, 査読有, Vol. E92-A, No. 12, pp. 3404-3406, 2009.
- ②⑤ Jincheng Huang, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Noriyoshi Kuroyanagi, A Study on ZCZ-CDMA Systems in Short-Range Wireless Communications, Proc. of MICC 2009, pp. 731-735, 2009.
- ②⑥ Takayuki Hirano, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Koichi Takimoto, Fusanori Miura, On Lattice Wireless Network for Autonomous Distributed System, Proc. of MICC 2009, 査読有, pp. 930-934, 2009.
- ②⑦ X Cai, Q C Chen, P Z Fan, Sinya Matsufuji, Enhanced Frequency Offset Estimation Based on Pilot Signal Design over Flat-Fading Channel. Proc. of IET CCWMC2009, 査読有, No. 1149, 2009.
- ②⑧ 林田知大, 松元隆博, 松藤信哉, 非周期自己相関特性の鋭い系列を含む ZCZ 符号の設計, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム論文集, 査読無, pp. 588-591, 2009.
- ②⑨ 松元隆博, 松藤信哉, 光 ZCZ 符号を用いた M-ary/ASK-SS 方式の BER 特性の検討, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム論文集, 査読無, pp. 607-612, 2009.
- ③⑩ 松尾昂英, 松元隆博, 松藤信哉, ZCZ-CDMA 方式における高速伝送の検討, 第 32 回情報理論とその応用シンポジウム論文集, 査読無, pp. 805-808, 2009.
- ③⑪ Yukari TSUCHIYAMA, Shinya Matsufuji, Takahiro Matsumoto, Generalization of Even-Shift Orthogonal Sequences to Multi-Dimension, Proc. of ITC-CSCC2008, 査読有, pp. 1425-1428, 2008.
- ③⑫ Yu SUWAKI, Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Experimental Evaluation of Optical ZCZ-CDMA System, Proc. of ITC-CSCC2008, 査読有, pp. 1809-1812, 2008.
- ③⑬ 佐々木勝士, 松元隆博, 松藤信哉, ZCZ-SS/CDMA 方式の誤り特性の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, WBS2008-39, pp. 55-58, 2008.
- ③⑭ 土山由嘉莉, 松元隆博, 松藤信哉, 多次元偶差直交系列の性質, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, WBS2008-40, pp. 59-62, 2008.
- [学会発表] (計 21 件)
- ① Shinya Matsufuji, Study on ZCZ-CDMA Systems Using Channel Estimation, Technical meeting of Chinese 111 Project, 2010 年 11 月 24 日, 中国 西南交通大学.
- ② 松尾昂英, 通信路推定を適用した ZCZ-CDMA 符号化方式の検討, 第 12 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2010 年 11 月 6 日, 島根大学・島根.
- ③ 田中大輔, ZCZ-CDMA 方式における RTS 衝突発生時のバックオフ時間の検討, 平 22 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2010 年 10 月 23 日, 岡山県立大学・岡山.
- ④ 吉田純也, ZCZ-CDMA 方式の搬送周波数偏移に対する他局間干渉の検討, 平 22 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2010 年 10 月 23 日, 岡山県立大学・岡山.
- ⑤ 黄金城, A Study on Frequency Correlation Characteristics over Rayleigh Fading Channel, 平 22 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2010 年 10 月 23 日, 岡山県立大学・岡山.
- ⑥ 大田晃弘, ZCZ-CDMA 差動符号化方式の検討, 平 22 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2010 年 10 月 23 日, 岡山県立大学・岡山.
- ⑦ 林田知大, パイロットシンボルに兼用できる ZCZ 符号の設計法について, 平 22 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2010 年 10 月 23 日, 岡山県立大学・岡山.
- ⑧ エニワン アブドケレム, ASK 変調を用いたスペクトル拡散通信に適した拡散系列について, 平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2010 年 9 月 2 日, 熊本大学・熊本.
- ⑨ Shinya Matsufuji, Design of a ZCZ-CDMA Module for Ubiquitous Mobile Communication Systems, Technical meeting of Chinese 111 Project, 2009. 9. 21 中国 成都市西南交通大学
- ⑩ 林田知大, 同期信号を兼用可能な ZCZ 符号とその相関器の設計, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009 年 11 月 21 日, 山口大学工学部・山口.
- ⑪ 亀山博紀, 短距離無線通信における性能評価, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009 年 11 月 21 日, 山口

大学工学部・山口.

- ⑫黄金城, BFSK - ZCZ - CDMA 方式の性能評価, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009 年 11 月 21 日, 山口大学工学部・山口.
- ⑬洲脇優, 光 ZCZ-CDMA 方式の並列伝送実験, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009 年 11 月 21, 山口大学工学部・山口.
- ⑭Shinya Matsufuji, Design of a ZCZ-CDMA Module for Ubiquitous Mobile Communication Systems, Technical meeting of Chinese 111 Project, 2009 年 9 月 21 日, 中国成都市西南交通大学.
- ⑮淵野智博, 自律分散システムにおける格子型無線ネットワークの検討, 2009 年電子情報通信学会総合大会, 2009 年 3 月 17 日, 愛媛大学・愛媛.
- ⑯林田知大, 同期制御信号を兼用可能な光 ZCZ 符号の検討, 2009 年電子情報通信学会総合大会, 2009 年 3 月 17 日, 愛媛大学・愛媛.
- ⑰林田知大, 光 ZCZ-SS/CDMA 方式の符号設計について, 第 10 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2008 年 11 月 22 日, 広島産業会館・広島.
- ⑱洲脇優, 光 ZCZ-CDMA 方式を用いた並列伝送の検討, 第 10 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2008 年 11 月 22 日, 広島産業会館・広島.
- ⑲佐々木勝士, ZCZ-SS/CDMA 方式の性能評価, 第 10 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2008 年 11 月 22 日, 広島産業会館・広島.
- ⑳佐々木圭太, 搬送波周波数偏差下における ASK-ZCZ-CDMA 方式の誤り率特性の検討, 第 10 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2008 年 11 月 22 日, 広島産業会館・広島.
- ㉑ Shinya Matsufuji, Three types of multi-dimensional orthogonal sequences and their applications, Technical meeting of Chinese 111 Project, 2008 年 9 月 8 日, 中国成都市西南交通大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: 近似同期 CDMA 通信方式  
発明者: 松藤信哉、松元隆博、畔柳功芳  
権利者: 国立大学法人山口大学  
種類: 特許  
番号: 出願 2009-269881  
取得年月日: H21 年 11 月 27 日  
国内外の別: 国内

名称: 近似同期 CDMA 通信方式  
発明者: 松藤信哉、松元隆博、畔柳功芳

権利者: 国立大学法人山口大学  
種類: 特許  
番号: 出願 2009-270034  
取得年月日: H21 年 11 月 27 日  
国内外の別: 国内

名称: 分散ノード通信システム  
発明者: 松藤信哉、松元隆博、畔柳功芳、大竹孝平

権利者: 国立大学法人山口大学  
種類: 特許  
番号: : 出願 2010-039521  
取得年月日: H22 年 2 月 25 日  
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ: <http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~s-matsu/>

本研究に関連する論文賞受賞

- ① IET Excellent Paper on 2009 IET Communications Conference on Wireless, Mobile and Computing (CCWMC2009), Enhanced Frequency Offset Estimation Based on Pilot Signal Design over Flat-Fading Channel by Xi Cai, Qingchun Chen, Pingzhi Fan and Shinya Matsufuji.
- ② The WSEAS Award the prize of the BEST PAPER of the conference: the 10th WSEAS International Conference on Applied Informatics and Communications (AIC '10), On Logic Functions of Complementary Arrays of Length  $2n$  by Shinya Matsufuji and Takahiro Matsumoto.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松藤 信哉 (MATSUFUJI SHINYA)  
山口大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 00173873

(2) 研究分担者

松元 隆博 (MATSUMOTO TAKAHIRO)  
山口大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 10304495

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

畔柳 功芳 (KUROYANAGI NORIYOSHI)  
中部大学客員教授  
内藤 敏勝 (NAITO TOSHIKATSU)  
(有)インパルス通信研究所 代表取締役