

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04145

研究課題名（和文）長距離伝送と多重通信が可能な海中光無線通信方式の実現

研究課題名（英文）Realization of optical underwater wireless communication capable of long distance and multiple transmission

研究代表者

松元 隆博（Matsumoto, Takahiro）

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：10304495

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海中で、省電力で長距離伝送ができ、かつ複数機器による同時通信が可能な高速光無線通信方式を提案した。この方式では複数の送信局の識別や中継経路の識別を行なうための符号分割多元接続技術と中継途中に並列に配置した複数の中継器を複数のアンテナに見立てたMIMO技術によるダイバーシティ効果によってビット誤り率を低く抑える。本研究ではこの方式に適した光無線通信の新しい拡散符号や時空間ブロック符号を設計し、それらを用いた通信方式を赤色、緑色、青色のLEDやアバランシェフォトダイオード（APD）を用いた通信システムと計算機シミュレーションによって評価し、有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

四方を海に囲まれた島国の日本にとって、海洋資源の調査や開発、発掘は重要な課題であり、海底での状況を海上の船舶にリアルタイムに高解像度の映像を送れることが望まれる。海中で高速通信するためには光を用いることが望ましいが、バッテリーの問題、素子の問題より長距離伝送するのが困難であった。そこで中継機を用いて伝送距離を延ばし、かつ誤りを少なく、かつ高速伝送する通信方式を実現することは重要となる。本研究では光無線通信に適した光符号分割多元接続方式用の拡散系列と複数の中継経路を複数アンテナに見立てたMIMO技術とそのための光無線通信に適した時空間ブロック符号を適用し、上記目的を達成できる見通しを立てた。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have proposed a high-speed and low-power optical wireless communication system that can transmit long distances and multiple access under the sea, and we have manufactured the system constructed by red, green, and blue infrared light emitting diodes (LEDs), avalanche photodiodes (APDs) and a field programmable gate array (FPGA) by way of trials.

The system uses code division multiple access technology to identify multiple transmitting stations and relay paths by multiple repeaters and uses multi-input multi-output (MIMO) technology by multiple repeaters arranged in parallel along the relay route as multiple antennas.

In this research, we proposed new spreading sequences and space-time block codes which is suitable for optical wireless communication and evaluated the proposed communication system using a prototype communication system and computer simulations to clarify their effectiveness.

研究分野：情報通信工学

キーワード：光無線通信 水中通信 光CDMA 光ZCZ系列 ZCZ-CDMA方式

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

四方を海に囲まれた島国の日本にとって、海洋資源の調査や開発、発掘は重要な課題となっている。現在、有人潜水調査艇や自律型無人水中ロボット(AUV)による調査、海底津波計や海底地震計、流向流速計(ADCP)、水質センサなどのセンサによる計測などがなされており、機器間もしくは機器と母船等への通信は、有線、もしくは超音波によって行なわれている。有線通信では長大なケーブルが必要でケーブルが高価となり、更に敷設作業や保守管理が面倒であり、断線事故の発生が懸念される等の問題がある。一方、超音波通信は有線通信での問題を解決でき、長距離通信も可能であるが、伝搬路である水中の特性から帯域を広くとれず、音声通信程度の低速通信しか出来ないことや海中温度変化がもたらす音速分布の不均一性による影響などで通信安定性に問題がある。この他、電波による無線通信では、海中での減衰や、広帯域での通信が困難なことから、今後の海洋開発で必要となる 4K 映像による海底のリアルタイムモニタリング等の高速通信や多くの各種計測データを同時に伝送するための多重通信に対応できないという問題を抱えている。これらの問題解決のため、波長 380-780 nm の可視光による無線通信が近年注目されているが、長距離通信のためにレーザーダイオード(LED)で実現する必要があることから機器の設置期間が長くなる海中調査での利用では消費電力が過大であることが課題となっている。また、数日前に、海洋研究開発機構が LD を用いた場合に、120m で 20Mbps でのデータ伝送に世界で初めて成功したと報じられたが、今後、深海の調査等で深海と海上間の長距離通信を考えた場合、さらに超長距離で伝送する方法が必要となる。また、これは機器間が 1 対 1 での通信であり、今後、通信を行う機器が増加することを想定した場合、多重通信できる必要が生じる。

2. 研究の目的

本研究では近距離の通信しか出来ない省電力の LED を用いた無線通信を多段中継伝送させることで、長距離伝送を可能とする新しい省電力の通信方式の実現可能性について研究を行う。ここでは更に、中継途中に並列に配置した複数の中継器を複数のアンテナに見立てた MIMO(多入力-多出力)通信技術と CDMA(符号分割多元接続)方式の適用により、受信時の SN 比を向上させ BER(ビット誤り率)特性を改善させることに加え、CDMA 方式の適用により多重通信を実現する。

本研究によって、長距離伝送及び多重同時通信が実現できることが実証され、更に省電力でシステムを実現できることが示されれば、省電力海中光無線通信の実用化が大きく前進し、海洋資源の開発等に貢献できると思われる。また、この技術は空間光通信への応用も考えられる。

3. 研究の方法

平成 30 年度は、海中での伝送特性に関する文献調査を行ない、海中無線通信での問題点を明らかにした。また、海中通信での性能評価を行うために、伝送路のモデルを調査した。それらの調査によって明らかになった問題点を考慮して、光 CDMA 技術を適用した多段中継伝送方式を検討した。ここでは特に光 CDMA 方式で用いる光通信に特化した系列の設計とそれを用いた信号設計、中継の際の信号処理(リレー伝送方式)の検討、受信信号の復調方式の検討を行ない、複数経路からの信号の合成によるダイバーシティ効果や系列の相関特性等によって、多段中継伝送時の通信の信頼性向上を目指した。系列設計では送信機の識別と経路の識別ができるような相関特性を有し、かつ系列数が数学的上界を満たす系列を設計した。また、中継方式は代表的なリレー伝送方式である AF(Amplify and forward)方式を適用した場合の通信性能を計算機シミュレーションによって評価した。特に光の波長(色)による違い、通信方向(海面方向、海底方向)による違いを明らかにした。

令和元年度は、提案する光 CDMA 技術を適用した多段中継伝送方式を実現するために、それで用いられる送信機と受信機を FPGA(MMS・MU200-SX)、AD 変換器(MMS・MU200-XAD)、DA 変換器(MMS・MU200-XDA)、LED、APD(浜松ホトニクス・C5331-03)を用いて試作した。LED は、光の波長による性能の比較を行うために、赤色、青色、緑色、及び白色の 4 種類の色の LED を用いた。ここでは特に系列に特化した符号発生器とマッチドフィルタの小規模な構成法の検討を行い、回路を省電力にする構成法を検討し、それぞれ FPGA 上に試作した。送信機と受信機のテストに既存の任意波形発生器(テクトロニクス・AFG3252)とスペクトルアナライザ(キーサイト・N1996A)、光パワーメータ(ADC・8250A)に加え、新規に購入したデジタルオシロスコープ(テクトロニクス・MSOX3034T)を使用した。その結果、伝送実験を行うための送受信機の準備が整った。

令和 2 年度は、前年度に光の波長による性能の比較を行うために、赤色、青色、緑色の 3 種類の色の LED を用いた送信機を試作したが、光度に大きな違いがあったことから再度試作し直した。その後、動作実験を兼ねて、前年度に試作した受信機と今年度試作し直した送信機を用いた空間伝送実験を行った。その結果、近距離ではエラーフリーで通信できることが確認でき、送受信機が正しく動作することを確認した。また、効率良く通信を行なうためのパルス位置変調(PPM)による光符号分割多重接続(CDMA)方式に適した新たな系列の設計方法を提案し、相関特性の評価を行い、海中光無線通信にも適用できる見通しを立てた。

令和3年度は、昨年度に設計したパルス位置変調 (PPM; Pulse Position Modulation) による光 CDMA 方式に適した系列を改良し、時間遅延による影響を抑圧できる新しい系列を設計した。具体的には、従来の系列ではビットデータを検出するためのピーク値が隣接しており、受信時に時間遅延があれば符号間干渉が発生し、BER 特性の劣化を招いていた。提案する系列では、そのピーク値の間隔を、時間遅延を考慮して広げられるようにしている。これにより時間遅延による符号間干渉を抑圧できると予想される。また、これまでに生成出来なかった零相関区間 (ZCZ; Zero-Correlation Zone) を有する光 ZCZ 系列の設計方法を提案した。これより偶数長の零相関区間 (ZCZ) を有する光 ZCZ 系列を全て生成出来ることになり、実用化の際の自由度が向上する。

令和4年度は、時間遅延による影響を抑圧できるパルス位置変調 (PPM; Pulse Position Modulation) による光 CDMA 方式に適した、零相関区間のサイズが異なる新しい系列の構成法を提案した。また、長距離伝送を行う中継方式にこれまで検討してきた並列 AF (Amplify and Forward) 方式に代わり、並列 DF (Decode and Forward) 方式の検討を行い、並列数と中継局数による BER 特性への影響を解析した。また、昨年提案した新しい偶数長の零相関区間 (ZCZ) を有する光 ZCZ 系列のマッチドフィルタバンクの生成法を提案した。これは実用化の際に、中継器での信号処理の簡素化につながり、回路規模と消費電力の減少につながる。

令和5年度は、これまで任意の偶数長の零相関区間 (ZCZ) を有する光 ZCZ 系列の生成法を提案したが、新たにこれまで生成出来なかった $Z=2^z-1$ の零相関区間 (ZCZ) を有する光 ZCZ 系列の生成法を提案した。また、中継時に BER 特性を向上させるために、中継機から複数の LED で送信し、1つの APD で受信したときに分離できるような光無線用の時空間ブロック符号を提案し、BER 特性を計算機シミュレーション及び理論解析を行った。

4. 研究成果

本研究では、まず中継機を直並列に配置し、AF (Amplify-and-Forward) 中継方式を用いて多段中継を行う海中光符号分割多元接続 (CDMA) 方式を提案し、ビット誤り率 (BER) 特性を評価した。この方式では、経路の識別をするために光 ZCZ 系列を用いて検討を行った。中継数、並列数、可視光の色 (光の波長)、クロロフィル濃度、海上から海底へ、海底から海上、海中を並行などの通信方向による BER 特性を計算機シミュレーションによって評価した。

その結果、並列数、中継数をそれぞれ増やすことで BER 特性を向上させられることが確認できた。また、可視光の色 (光の波長) により減衰係数が違うため適した色があり、中継数、並列数も色により適したものがあることが明らかとなった。クロロフィル濃度で与えられる海水環境によって各色によって減衰係数が違うため、減衰係数が大きい場合には中継数を増やす方が、減衰係数が小さい場合には並列数を増やす方が効率よく BER 特性を向上できることがわかった。通信方向の違いでは、上方向に比べ下方向では背景光雑音の影響が大きいため並列数を増やした方が BER 特性を向上できることがわかった。これらより、中継機の並列数、中継数を海水環境に応じて最適に増加させれば低消費電力で長距離伝送できることが明らかになった。

つぎに、赤色、緑色、青色の LED と APD 素子を用いた水中光伝送実験を行った。水中伝送路は水槽を用いて実験を行った関係で、水槽の両端に置いた送受信機で伝送を行い、受信した信号をそのまま、もしくは中継処理した信号を送信機で送ることを繰り返すことで中継伝送を実現した。水質による違いの検証は出来なかったが、並列数、中継数の増加によって、BER 特性を改善出来ることを伝送実験によって確認された。

また、上記の性能を上げるために、拡散系列の新しい構成法を提案した。1つはパルス位置変調による伝送を行うために適した光 PPM 系列と、多重した際にユーザ間の時間ずれによる干渉を抑圧することができる相関特性を有する光 PPM-ZCZ 系列を提案した。もう1つはこれまでである限定の偶数長の零相関区間を有する光 ZCZ 系列しか生成出来なかったが、新しい生成法を提案することで、いかなる偶数長の零相関区間を有する光 ZCZ 系列でも生成出来るようにした。これによって、本通信方式を実現する際に、システムの要件を自由に決められるようになった。この新しい光 ZCZ 系列に対しては小規模なマッチドフィルタの構成法も提案し、省電力な回路で実現できる可能性も示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hayato MATSUSHITA, Yuta IDA, Kazuki MARUTA, Yasuaki OHIRA, Sho KURODA, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 RDM-3
2. 論文標題 2D Mesh Image Subcarrier Assignment for MUDiv/OFDMA with Convolutional Neural Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of the 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023)	6. 最初と最後の頁 pp. 172-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE59613.2023.10315676	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryu YOSHIMURA, Yuta IDA, Kazuki MARUTA, Yasuaki OHIRA, Sho KURODA, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 RDM-4
2. 論文標題 Deep Neural Networks Based on QRM-MLD for SD-SM-MIMO	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of the 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023)	6. 最初と最後の頁 pp. 174-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE59613.2023.10315262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koichiro MIZOZOE, Takahiro MATSUMOTO, Yasuaki OHIRA, Hideyuki TORII, Yuta IDA	4. 巻 POS(4A)-18
2. 論文標題 Study on Robustness to Optical Diffusion on Undersea Optical CDMA System Using 2D Optical ZCZ Sequences	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of the 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023)	6. 最初と最後の頁 pp. 1094-1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE59613.2023.10315397	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinya MATSUFUJI, Sho KURODA, Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Naoki SUEHIRO	4. 巻 Vol. E106-A, No. 12
2. 論文標題 Logic Functions of Polyphase Complementary Sets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Fundamentals	6. 最初と最後の頁 pp. 1475-1483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/TRANSFUN.2023SDP0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Makoto ONITSUKA, Takahiro MATSUMOTO, Yasuaki OHIRA, Hideyuki TORII, Yuta IDA	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on Digital Watermarking Using PPM Method Based on Two-Dimensional ZCZ Sequences	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. of the 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2024)	6. 最初と最後の頁 pp. 27-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuaki OHIRA, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on Generation Method of 2D Optical ZCZ Sequences Suitable for 2D-PPM-OCDMA	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. of the 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2024)	6. 最初と最後の頁 pp. 71-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuaki OHIRA, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on Generation Method of Optical ZCZ Sequence with ZCZ Size of $2^n(2z-1)$	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. of the 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2024)	6. 最初と最後の頁 pp. 75-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ida Yuta, Matsumoto Takahiro	4. 巻 2022
2. 論文標題 Interleaved block subcarrier allocation and power combination for frequency symbol spreading multiuser diversity OFDMA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking	6. 最初と最後の頁 pp. 1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/S13638-022-02131-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kojiro NAKANO, Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 -
2. 論文標題 Adapting Zero Hybrid Guard Interval for MUDiv-DFTs-OFDMA	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of the 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2023)	6. 最初と最後の頁 pp.122-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shunsuke TSUMORI, Yuta IDA, Sho KURODA, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 -
2. 論文標題 Deep Learning Compensation for Multiuser Diversity OFDMA without Guard Interval	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of the 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2023)	6. 最初と最後の頁 pp.126-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ida Yuta, Maruta Kazuki, Matsumoto Takahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Phase Rotation and ASK Combination for SD-SM-MIMO	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 26th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2021)	6. 最初と最後の頁 pp. 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APCC49754.2021.9609887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohira Yasuaki, Matsumoto Takahiro, Torii Hideyuki, Ida Yuta	4. 巻 -
2. 論文標題 Construction of Optical ZCZ Sequence Set with the Zero-Correlation Zone Suitable for PPM-OCDMA System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2022)	6. 最初と最後の頁 pp.106-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICACT53585.2022.9728856	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoya MUROKAWA, Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 Vol. 31, Issue 8
2. 論文標題 CR QRM MLD for SD SM Hybrid MIMO systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions on Emerging Telecommunications Technologies	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ett.3933	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sho KURODA, Shinya MATSUFUJI, Takahiro MATSUMOTO, Yuta IDA, Takafumi HAYASHI	4. 巻 Vol. E103-A, No.9
2. 論文標題 Design of Compact Matched Filter Banks of Polyphase ZCZ Codes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1103-1110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2019EAP1138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 Vol. E103-B, No.12
2. 論文標題 Different Antenna Interleaved Allocation with Full and Divided WHT/DFT Spreading for HTRCI-MIMO/OFDM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1438-1446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2019EBP3216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Generation Method of Two-Dimensional Optical ZCZ Sequences with High Correlation Peak Value	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 417 ~ 421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020SDL0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Kazuki MARUTA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 WNT(1)-4
2. 論文標題 CR-QRM-MLD for SD-SM-MIMO with Null Modulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 39th IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE2021)	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dai OZAKI, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on BER Performance of Synchronous OCDMA System Using Optical ZCZ Sequence With Diffused Link Using Rake Reception	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 2021 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2021)	6. 最初と最後の頁 186-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryosuke SHIMIZU, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on OCDMA System Using Two-Dimensional Optical ZCZ Sequences with Two Autocorrelation Peak Values	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 2021 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2021)	6. 最初と最後の頁 190-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 10
2. 論文標題 Compensation of Deteriorated CSI Allocation Due to Fast Fading and Feedback Delay Based on Turbo Decision Direct for MUDiv/OFDMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Journal of Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 190-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.190	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shutaroh TAKEHARA, Sho KURODA, Shinya MATSUFUJI, Takahiro MATSUMOTO, Yuta IDA	4. 巻 -
2. 論文標題 On Logic Functions of Complementary Sets of Polyphase Sequences	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2019)	6. 最初と最後の頁 104-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryosuke SHIMIZU, Koki NOMURA, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Research on Optical CDMA System Using Two-Dimensional Optical ZCZ Sequence Set	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2019)	6. 最初と最後の頁 109-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dai OZAKI, Sho ADACHI, Aoi SAWATARI, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on Model of Optical CDMA System Using LED and APD Elements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2019)	6. 最初と最後の頁 115-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanata MURAKAMI, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Construction of Code Generator of a Modified Pseudo-Orthogonal M- sequence Set	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Electronics, Information and Communication (IWEIC2019)	6. 最初と最後の頁 15-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akihiro SAKAI, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Transmission Experiment of Underwater Optical CDMA System With Amplify-and- Forward Relay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Electronics, Information and Communication (IWEIC2019)	6. 最初と最後の頁 21-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuto OKAWA, Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Transmission Experiment of Optical ZCZ-CDMA System Using 2- or 4-PPM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Workshop on Electronics, Information and Communication (IWEIC2019)	6. 最初と最後の頁 41-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki TORII, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of Inter-Cell and Co-Channel Interference Power between A-ZCZ and GMO-ZCZ Sequence Sets by Computer Simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2019)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISPACS48206.2019.8986249	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 A Generation Method of a Two-Dimensional Optical ZCZ Sequence with the Zero-Correlation Zone $(4n-2) * (4n-2)$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2019)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISPACS48206.2019.8986247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 -
2. 論文標題 Linear Interpolation Complex TFI for SP-OFDM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of the 38th IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE2020)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE46568.2020.9043084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 Vol. E101-A, No.12
2. 論文標題 Modified Mutually ZCZ Set of Optical Orthogonal Sequences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 2415-418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E101.A.2415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 Vol.10, No.2
2. 論文標題 Compensation of Deteriorated CSI Allocation Due to Fast Fading and Feedback Delay Based on Turbo Decision Direct for MUDiv/OFDMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Journal of Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 190 ~ 205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.190	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 1
2. 論文標題 Antenna Interleaved Allocation with FSS and Divided FFT Spreading for MIMO-OFDM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 2018 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2018)	6. 最初と最後の頁 372-377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideyuki TORII, Takahiro MATSUMOTO	4. 巻 1
2. 論文標題 Comparison of Co-Channel Interference Power between A-ZCZ Sequence Sets and GMO-ZCZ Sequence Sets by Computer Simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2019)	6. 最初と最後の頁 116-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sho KURODA, Takahiro MATSUMOTO, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 1
2. 論文標題 Construction of Matched Filter Bank of Multiphase ZCZ Code Reaches Mathematical Upper Bound	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2019)	6. 最初と最後の頁 164-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro MATSUMOTO, Hideyuki TORII, Yuta IDA, Shinya MATSUFUJI	4. 巻 1
2. 論文標題 A Generation Method of a Two-Dimensional Optical ZCZ Sequence with the Smallest Zero-Correlation Zone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2019)	6. 最初と最後の頁 172-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 吉村龍, 井田悠太, 丸田一輝, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 QRM-MLDに基づくDNNを適用したSD-SM-MIMOの検討
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松下隼人, 井田悠太, 丸田一輝, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 MUDiv/OFDMAにおける2Dメッシュ画像を用いたCNNによるサブキャリア割当の検討
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井田悠太, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 マルチユーザダイバーシチ利得を与えるOFDMサブキャリアのスケジューリング
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2023-182 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 津森駿介, 井田悠太, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 チャンネル状態情報とDNNを用いた最適なOFDMサブキャリア割当
3. 学会等名 2024年電子情報通信学会総合大会講演論文集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 本間晴羽, 松下隼人, 井田悠太, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 効果的なCSIの特徴抽出と深層学習による屋内位置推定手法の比較検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2023-112
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松下隼人, 本間晴羽, 井田悠太, 大平康旦, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 総チャンネル容量を考慮したCNNに基づくOFDMサブキャリア割当の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2023-118
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大平康旦, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太
2. 発表標題 2次元PPM-OCDMA方式に適した2次元光ZCZ系列セットの構成に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2023-102
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 椎野凌, 行廣仁, 井田悠太, 丸田一輝, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 ヌル信号SMを用いたQO-STBC-MIMOの検討
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野宏士朗, 井田悠太, 松元隆博
2. 発表標題 ゼロハイブリッドガードインターバルを適応したMUDiv-DFTs-OFDMA
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 津森駿介, 井田悠太, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 深層学習を用いたガードインターバルを付加しないIMUDiv-OFDMAの干渉除去
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 溝添昂一郎, 大平康旦, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太
2. 発表標題 光の拡散に強い海中光 CDMA 方式に関する BER 特性の検討
3. 学会等名 第24回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田友暁, 高橋柊二, 井田悠太, 黒田翔, 松元隆博
2. 発表標題 チャンネルモデルに適したTFI パイロット信号とCNNによる画像識別の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2022-86
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大平康旦, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太
2. 発表標題 PPM-OCDMA方式に適した光ZCZ系列セットの構成に関する検討
3. 学会等名 第7回有限体理論とその擬似乱数生成への応用ワークショップ論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉村龍, 井田悠太, 松元隆博
2. 発表標題 DFリレー伝送下におけるCR-QRM-MLDを用いたSD-SM-MIMO の検討
3. 学会等名 第23回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蝶勢広翔, 清水亮介, 大平康旦, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太
2. 発表標題 EWOとPPMを用いた光ZCZ-CDMA 方式のBER特性の検討
3. 学会等名 第23回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井田悠太, 丸田一輝, 松元隆博, 松藤信哉
2. 発表標題 位相回転とASKを組み合わせたSD-SM-MIMOの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会通信方式研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水亮介, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 2つの自己相関ピーク値を持つ2次元光ZCZ系列を用いたOCDMA方式に関する研究
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井陽光, 大川和人, 松元隆博, 井田悠太, 松藤信哉, 鳥井秀幸
2. 発表標題 多値PPMを用いた光ZCZ-CDMA 方式の伝送実験
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎大, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 RAKE受信を用いた拡散反射型同期光ZCZ-CDMA 方式のBER特性評価
3. 学会等名 第22回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹原周太郎, 黒田翔, 松元隆博, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 多相相補系列セットについて
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2019-2, pp. 7-11
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 形部智哉, 松元隆博, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 光ZCZ符号の構成について
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2019-3, pp. 13-16
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹原周太郎, 黒田翔, 松藤信哉, 松元隆博, 井田悠太
2. 発表標題 一般化された多相相補系列セットの論理関数について
3. 学会等名 第5回有限体理論とその擬似乱数生成への応用ワークショップ論文集, pp. 41-46
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 鋭い相関ピークを有する2次元光ZCZ系列セットの構成法の検討
3. 学会等名 第42回情報理論とその応用シンポジウム論文集, pp. 78-82
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井田悠太, 松元隆博, 松藤信哉, 丸田一輝
2. 発表標題 SD-SM-MIMOにおけるヌル変調を適応したCR-QRM-MLDの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2019-115, pp. 99-104
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinya MATSUFUJI, Yuta IDA, Takahiro MATSUMOTO
2. 発表標題 Construction of Bent ZCZ Codes
3. 学会等名 第4回有限体理論とその擬似乱数生成への応用ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田翔, 松元隆博, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 多相ZCZ符号のマッチドフィルタバンクの設計について
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2018-254
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井田悠太, 松元隆博, 松藤信哉
2. 発表標題 SP-OFDMにおける複素TFIと線形補間を用いたチャネル推定の実現
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2018-117
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋祐平, 黒田翔, 松元隆博, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 低い相関特性を有する多相系列について
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2018-118
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井田悠太, 松元隆博, 松藤信哉
2. 発表標題 分割FFT拡散MIMO-OFDMにおけるアンテナインターリーブ割当
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中敏輝, 井田悠太, 松元隆博, 松藤信哉
2. 発表標題 相関処理を利用した高信頼OFDMの検討
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中芝諒, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 光ZCZ-CDMA方式によるAF中継伝送実験
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大川和人, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 2値PPMを用いた光ZCZ-CDMA方式の伝送実験
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐渡葵, 安達奨, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 LEDとAPDを用いた光無線通信方式モデルの提案
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣澤知明, 野村浩輝, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 2次元ZCZ系列を用いた光CDMA方式の検討
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上哉太, 松元隆博, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 変形擬直交M系列対の符号発生器の試作
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木博資, 松元隆博, 小嶋徹也, 鳥井秀幸, 井田悠太, 松藤信哉
2. 発表標題 背景差分法を用いた2次元ZCZ系列による情報ハイディング手法の検討
3. 学会等名 平30年度電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村祐二, 井田悠太, 松元隆博, 松藤信哉
2. 発表標題 複素アダマール行列を用いたOFDMのPAPR低減について
3. 学会等名 第20回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 形部智哉, 松藤信哉, 井田悠太, 松元隆博
2. 発表標題 位置情報に基づく省電力伝送方式の検討
3. 学会等名 第20回IEEE広島支部学生シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松藤 信哉 (Matsufuji Shinya) (00173873)	山口大学・大学院創成科学研究科・名誉教授 (15501)	
研究分担者	井田 悠太 (Ida Yuta) (20711229)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	
研究分担者	大平 康旦 (Ohira Yasuaki) (80816778)	鹿児島大学・理工学域工学系・助教 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------