

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02140

研究課題名（和文）非線形波動理論に基づく新たな光ファイバ通信用変復調方式に関する研究

研究課題名（英文）Study on a novel modulation scheme for optical fiber communication based on nonlinear wave theory

研究代表者

丸田 章博（Maruta, Akihiro）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：40252613

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：光固有値変調方式は、ファイバ中の光パルスの伝搬が非線形シュレディンガー方程式で記述される限り、逆散乱変換で用いられる固有値方程式の固有値が保存量となることを理論的根拠とする変調方式である。目標に掲げた超多値変調の実現については、12個の固有値の有無に情報をのせた4096値信号（ビットレート11.3Gbit/s）にニューラルネットワーク復調を適用し、50km伝送後の光固有値変調信号が復調可能であることを、実験により実証した。一方、WDM方式の適用については、WDM適用時の問題点の明確化と、その解決法としてDMソリトンの光固有値変調方式への適用可能性を数値シミュレーションによって示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で取り組んだ光固有値変調方式は、「非線形シャノン限界」と呼ばれる、線形系として見た場合の見かけ上の「限界」を突破できる非線形伝送方式であり、光ファイバ通信における通信路容量を飛躍的に増大させる可能性を秘めた方式である。また、学術的にも非線形波動理論の工学的応用の重要性を示す研究である。非線形波動理論は、これまでも数多くのたいへん興味深い成果をあげているにも関わらず、「非線形」の語感の持つ難解性から、工学的に応用され、明示的に実用化された例は数少ない。本研究は本質的に非線形な系のうち、その理論的取り扱いが知られている系に対しては、非線形理論を適用することの重要性を示す研究成果である。

研究成果の概要（英文）：The optical eigenvalue modulation method is based on the theoretical basis that the eigenvalue of the eigenvalue equation associated to the nonlinear Schroedinger equation (NLSE) used in the inverse scattering transform is a conserved quantity as long as the propagation of the optical pulse in the fiber is described by the NLSE. To achieve the target ultra-multi-value optical eigenvalue modulation, we applied a neural network demodulation method to a 4096-value signal (bit rate 11.3 Gbit/s) with the on-off keying of 12 eigenvalues, and we successfully demonstrated 50km transmission experiment of the optical eigenvalue modulated signal. On the other hand, regarding the application of the wavelength division multiplexing (WDM) to the optical eigenvalue modulation, the difficulties when applying WDM were clarified, and the feasibility of DM soliton to the optical eigenvalue modulation method was shown by numerical simulation to overcome the difficulties.

研究分野：光ファイバ通信

キーワード：光ファイバ通信 光通信方式 ファイバ非線形性 光固有値変調方式 逆散乱変換 ニューラルネットワーク 超多値変調 分散マネージメント

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

インターネット技術が生活の隅々にまで浸透し、さらに IoT の爆発的普及が眼前に迫る現在、情報通信ネットワークを根底で支える光ファイバ通信技術が、進化するネットワークのボトルネックとなることは許されない。光増幅技術によりファイバ損失を克服し、デジタルコヒーレント技術により群速度分散や偏波モード分散などによる線形的な信号歪みを克服した光ファイバ伝送技術に残された課題は、光増幅器雑音による信号対雑音電力比(SN比)の劣化とファイバ中で生じる非線形光学効果による信号歪みである。そのため、SN比の劣化による通信システムの伝送可能な情報量の上限値(通信路容量)を理論的に与える「シャノン限界」に加えて、光ファイバ伝送システムでは、非線形光学効果の影響を考慮した通信路容量を与える「非線形シャノン限界」によって通信路容量が制限を受けると考えられている。しかし、この「非線形シャノン限界」は、非線形光学効果に起因する信号歪みを抑制することで克服することができる「(仮の)限界」に過ぎない。

ところで、ファイバ中の光パルス伝搬を記述する非線形シュレディンガー方程式(NLSE)の初期値問題は逆散乱変換(IST, 非線形フーリエ変換とも称される)によって厳密に解くことができることはよく知られている。よって、NLSEのISTによる解法をベースとする非線形波動理論に基づく「非線形伝送技術」を開拓することにより、「非線形シャノン限界」が「(仮の)限界」に過ぎないことを明確に示すことができるのではないかと我々は考えている。

2. 研究の目的

非線形シャノン限界を打破しうる「非線形伝送技術」として、NLSEのISTによる解法をベースとする光固有値変調方式が提案されており、我々のこれまでの先行検討結果から、光固有値変調方式は非線形伝送技術として有望であることを確認した。しかし、これまでの技術検討は原理確認の域にとどまっており、実用に供しうる変復調技術としての検討課題は山積みである。

本研究では、光固有値変調方式による超多値変調の実現と波長分割多重(WDM)方式の適用によって、「非線形シャノン限界」を上回る通信路容量の達成が可能であることを示すことを目的とする。この目的を達成することにより、光ファイバ通信における通信路容量を飛躍的に増大させることができる。

3. 研究の方法

非線形波動理論に基づく新たな光ファイバ通信変復調方式として、光固有値変調方式に着目し、次世代デジタルコヒーレント光伝送方式への実装を念頭において、理論検討、数値シミュレーション、原理確認実験のそれぞれの結果を互いにフィードバックしながら、要求されるデジタル信号処理の計算量、実装の容易さなどを考慮した方式設計を行う。さらに、システムの大容量化を目指して、多値変調、WDM伝送の適用可能性について調査し、「非線形シャノン限界」を超えることができるかの評価を行う。

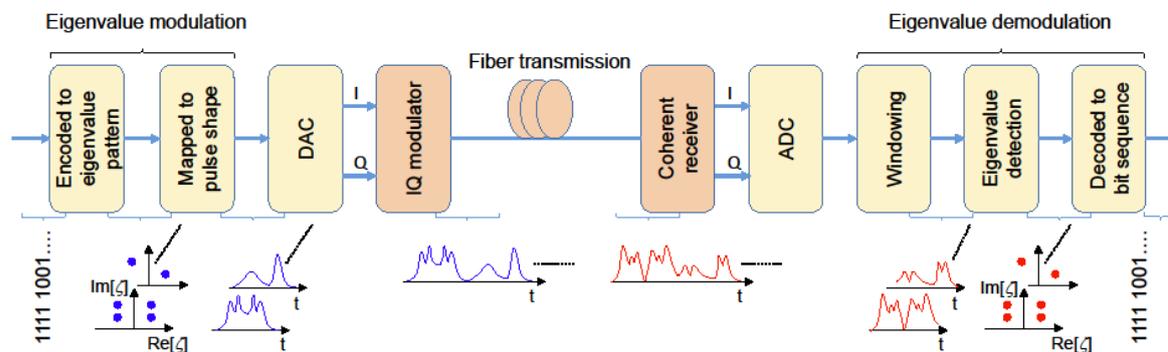


図1 複数の固有値の有無に基づく多値変調方式

光固有値変調方式は、ファイバ中の光パルスの伝搬が NLSE で記述される限り、IST で用いられる固有値方程式の固有値が保存量となることを理論的根拠とする変調方式である。そのため、送信側で変調された固有値を、受信側で誤りなく、かつ、効率的に取り出すことが、この方式の最重要課題である。そのためには、コヒーレント受信された複素包絡線振幅を離散時間サンプリングして得られた複素数の時系列データを代入した固有値方程式を数値的に解いて、如何に正確かつ効率的に固有値を求めるかが重要である。光固有値変調を用いた超多値変調方式として有望な、N個の固有値の有無でNビットの情報信号を表現した2のN乗値の多値変調方式のプロ

ック図を、 $N=4$ の場合について図 1 に示す。送信側では、 N 個の固有値の有無の組み合わせに対応した時間波形を生成し、伝送路に送出する。受信側では、コヒーレント受信した複素包絡線振幅をアナログ・デジタル変換(ADC)し、窓関数を乗じることにより有限の時間幅分だけを取り出した受信信号から固有値を復調する。計算機で固有値方程式を解くには、方程式を時間領域または周波数領域で離散化する必要がある、固有値方程式は一般に行列の固有値問題に帰着される。 $M \times M$ 個の要素からなる行列の固有値問題を解いて M 個の固有値を全て求めるには、通常のアプローチでは M の 3 乗回の演算が必要となる。しかし、本方式では、有限個の離散固有値のみを変調するため、それら特定の固有値のみを選択的に求めればよい。そのため、有限個の固有値を少ない計算量で求めるアルゴリズムを用いることが必要である。線形問題のデジタル信号処理に用いられる高速フーリエ変換(FFT)の計算量は $M \cdot \log M$ であるので、目標としては FFT に匹敵するアルゴリズムの開発を目指す。また、固有値の復調に必要なデータ数 M を如何に減らすかも計算量の低減に直結する。さらに、受信機のサンプリングレートを減らし、ADC の量子化ビット数を減らすことも実用化に向けた重要課題である。これらのシステムパラメータを理論、シミュレーション、実験を通して最適化し、実用に供しうる非線形伝送技術を確立する。

4. 研究成果

(1) ニューラルネットワークを用いた復調

複数の固有値を同時に伝送する場合、受信器および伝送路において付加される雑音により引き起こされる固有値のばらつきが、固有値の配置に依存して異なる。また、IST による固有値検出を行う際、固有値のばらつきはガウス分布と異なる分布となる。そのため、従来の複素固有値平面上に設定した線形な閾値処理による復調を行った場合、良好なビット誤り率(BER) が得られない。本課題を解決するために、ニューラルネットワーク(ANN)を用いた固有値変調信号の復調方法を提案し、従来手法と比較して良好な BER が得られることを実証した。

固有値変調信号の復調方法として、時間領域(TD)-ANN や固有値領域(ED)-ANN を用いる手法を提案した。TD-ANN は時間領域の波形情報を ANN に入力し情報ビット系列を出力する手法であり、ED-ANN は固有値情報を ANN に入力し情報ビット系列を出力する手法である。ED-ANN は距離毎の学習が不要という特長を持つ。

図 2 に提案する ED-ANN 復調の実証実験を行った結果を示す。実験には 4 つの固有値の On-Off 状態に基づく固有値変調信号を用い、ビットレート 2.5 Gb/s の条件で実験を行った。図 2 (a) は Back-to-back (送受信器直結) で測定した BER 曲線である。誤り訂正(FEC) 限界の BER において、従来手法と比較して、ED-ANN 復調を用いた場合に 3.7 dB の電力利得が得られた。この結果は、複素固有値平面上の 2 次元空間における線形分類よりも、固有値領域の 64 次元入力空間における非線形分類の方が優れていることを示している。図 2 (b) に周回伝送実験により得られた BER 曲線(ED-ANN 復調)を示す。2.5 Gb/s の伝送速度の固有値変調信号を 3,000 km 伝送し、ED-ANN 復調器を用いて復調することに成功した。ここで、ED-ANN は、0~3,000km の 3 種類の距離データを用いて一括で学習を行っており、ED-ANN は伝送距離毎の学習が不要であり、伝送距離に対する高い汎化性能を有すると言える。

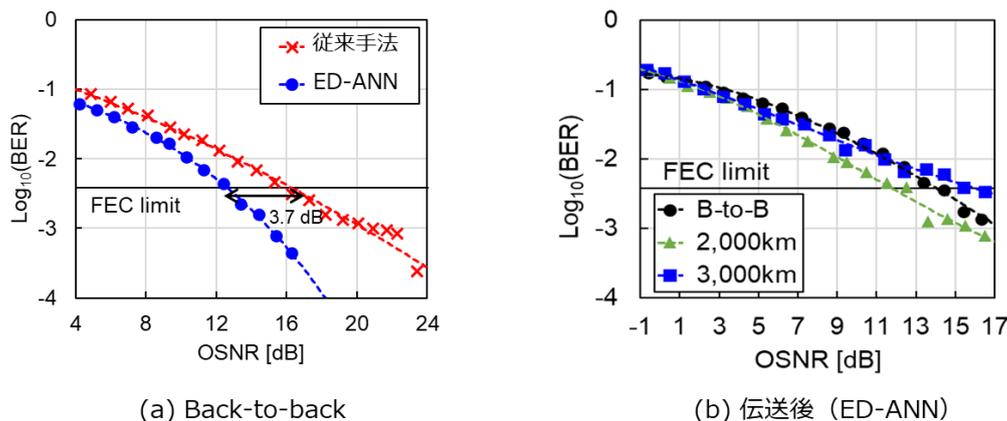


図 2 ED-ANN 復調の実証実験結果 (BER 曲線)

(2) 搬送波周波数オフセットに対する汎化性能

コヒーレント光受信器を用いて光信号を受信する場合、一般的に送信器のレーザと受信器の局部発振光の間の周波数差により搬送波周波数オフセット(CFO)が生じる。固有値の実部はソリトン周波数を表すため、周波数オフセットは復調時に固有値の実部のシフトとして現れる。そのため、大きな CFO が存在する場合、CFO が変動する毎に ED-ANN を学習しなければならない。そこで、本研究では、固有値領域 CFO 推定・補償と ED-ANN を組合せる復調方法を提案した。提

案手法の実証実験を行い、2.5 Gb/s の伝送速度、1 GHz の CFO が存在する条件下において、1 dB 以下の OSNR ペナルティで固有値変調信号が復調可能であることを示した。

(3) 4096 値固有値変調信号の伝送

固有値変調方式では N 個の固有値の on-off 状態を用いて 2 の N 乗値の変調信号を実現できるため、使用する固有値の数を増やすことにより伝送速度を向上できる。しかし、多数の固有値を持つ高次ソリトンは複雑な時間波形となるため、スペクトル幅が広くなり、PAPR が高くなる傾向がある。使用可能な固有値の領域や数は、送受信器の帯域や DAC/ADC の分解能等の特性に制限される。本研究では、4096 値固有値変調信号向けに、雑音耐性を向上させた三角格子状固有値配置を提案した。また、実システムの帯域制限を考慮し、調整可能な初期パラメータを調整しながら固有値変調信号を設計した。そして、設計した 4096 値固有値変調信号を用いた伝送実験を行い、50 km 伝送後においても Back-to-back と同様の固有値パターンが得られることを示した。さらに、マルチラベル分類を ED-ANN 復調器に適用し、BER 特性および回路規模の両面で良好な復調性能が得られることを示した。

(4) 複素モーメント型固有値解法(CME)アルゴリズムの光固有値復調への適用

光固有値変調方式は、随伴固有値方程式から QZ 法によって固有値を求解するが、QZ 法は $O(n^3)$ の計算量が必要であり、より高速な求解アルゴリズムが必要である。本研究では、並列固有値解法の文脈で研究が進められてきた CME アルゴリズムの光固有値復調への適用を検討した。4 点の固有値を変調した場合に関して、CME 法とニューラルネットワークとを結合し構成した受信器を用いて BER の測定を行った。図 3 に概要を示す。(a) が従来の QZ 法を用いた場合であり、全ての固有値を抽出する。その一方で、(b) の CME 法では、オレンジで囲まれた円形領域の固有値のみを抽出する。CME 法では、円を複数描くことで、その円の単位で固有値を抽出し、かつ並列演算が可能となる。これにより、計算時間を抑えることができる。この CME 法とニューラルネットワークを結合した結果の BER 曲線を右図に示す。この結果からわかる通り、2 dB 程度 OSNR ペナルティが生じている。これは抽出していない固有値が影響していると考えられる。現在、追加で検証している手法では、この OSNR ペナルティを抑えつつある。

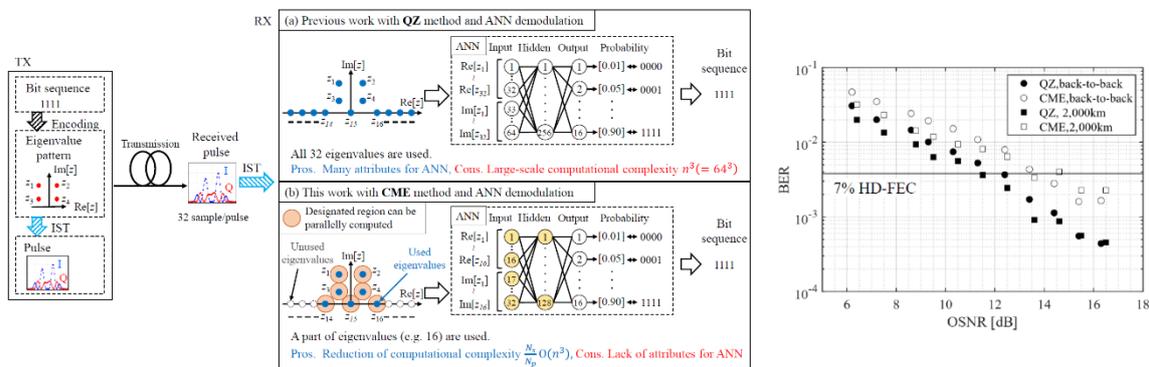


図 3 CME 法を用いた固有値復調法とその実験結果 ©OSA/IEEE

(5) WDM 光固有値変調信号のパルス間相互作用と分散マネージメントソリトンの固有値解析

波長の異なる 2 つのパルスが衝突した際に生じる相互位相変調 (XPM) によるパルス間相互作用が WDM 光固有値伝送方式に与える影響を数値シミュレーションによって調べた結果、チャネル間の波長差を大きくすることで、パルス間相互作用の影響が低減できることを示した。しかし、波長チャネル間の波長差を大きくすることは、WDM 方式による大容量化を制限する。一方、WDM 伝送系におけるチャネル間相互作用を抑制する技術として分散マネージメント (DM) 技術が知られている。DM ソリトンは、分散値が周期的に変化する DM 伝送路を伝搬する周期的に定常なパルスである。本研究では、DM ソリトンの固有値を用いた光固有値変調方式を考え、DM ソリトンの固有値の伝送路パラメータに対する依存性について調べた結果を示す。伝送路パラメータを変化させて DM ソリトンの存在範囲と離散固有値の有無を調べた結果、図 4 に示すように伝送路パラメータ (平均分散 B および分散マップの強さ S) によって、(i) DM ソリトンが存在し、かつ、離散固有値を持つ場合、(ii) DM ソリトンは存在するが、離散固有値を持たない場合、(iii) DM ソリトンが存在しない場合の、3 つの場合に分類できることを示した。よって、この離散固有値を用いることによって、DM ソリトンを用いた光固有値変調方式が実現可能である。

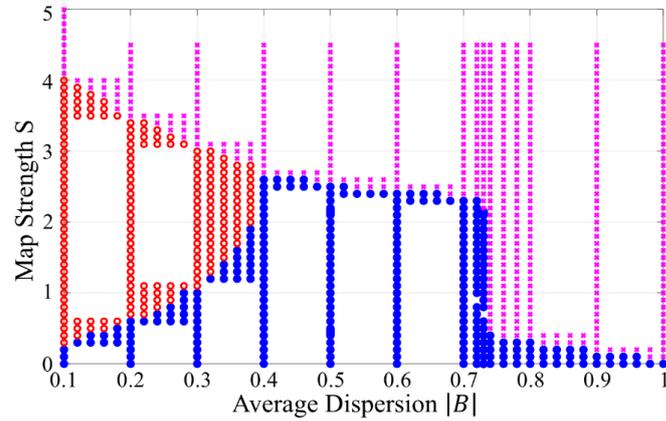


図4 DM ソリトンが離散固有値を持つパラメータ領域(青●), 離散固有値を持たないパラメータ領域(赤○)とDM ソリトンが存在しないパラメータ領域(ピンク×)

(6) 光固有値変調方式に適した光増幅器構成

光ファイバの損失を考慮した光固有値変調方式の有効性を保証するガイディングセンター近似は, 増幅器間隔が分散距離に比べて十分短い場合に適用が可能である. 本研究では, 各種の光増幅器構成に対して増幅器間隔とガイディングセンター近似の精度および固有値のずれの関係を数値シミュレーションによって調べ, 光固有値変調方式に適した光増幅器構成および増幅器間隔の設計指標を示す. 光増幅器の構成としては, (i)エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)のみ, (ii)EDFA と後方励起ファイバラマン増幅器(FRA)とのハイブリッド構成, (iii)双方向励起FRA を考え, これら3つを比較した. 1つの離散固有値のみを持つパルス幅 30ps の sech 形パルスを標準的な単一モードファイバ(SSMF)と周期的に配置された光増幅器からなる伝送路に入力し, 8,000km~10,000km 伝送後における固有値の最小値, 最大値, その間の平均値を数値シミュレーションによって求めた. その結果, 双方向励起 FRA を用いることにより, EDFA のみを用いた場合に比べて増幅器間隔を約 1.8 倍にでき, 長距離光固有値伝送がリーズナブルな増幅器間隔で実現できることを示した.

(7) 光固有値変調信号の雑音耐性

光固有値変調信号に対する白色ガウス雑音(WGN)を付加した場合の影響を解析し, 固有値のばらつきを二次元ガウス分布で仮定して, 2-ソリトン解における判別誤り率の理論値を算出した. また, 長距離伝送システム内に周期的に配置された光増幅器で発生する雑音によって光固有値変調信号が受ける影響について調べた. 本研究では, 光増幅器で発生する自然放出光雑音を WGN として取り扱い, その雑音が固有値に与える影響について理論解析および計算機シミュレーションによる評価を行った. その結果, 伝送路への入力パルス生成の際に調整可能なパラメータを適切な値に設定することで, 雑音の影響が低減できることを示した.

以上に示した(1)~(7)より, 「2. 研究の目的」に掲げた光固有値変調方式による超多値変調の実現については4096値変調の実証実験を実施した. 一方, WDM方式の適用については, WDM適用時の問題点の明確化と, その解決法としてDMソリトンの光固有値変調方式への適用可能性を数値シミュレーションによって示した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ken Mishina, Shingo Sato, Yuki Yoshida, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta	4. 巻 39
2. 論文標題 Eigenvalue-domain Neural Network Demodulator for Eigenvalue-modulated Signal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 4307-4317
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2021.3074744	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ken Mishina, Takaya Maeda, Daisuke Hisano, Yuki Yoshida, Akihiro Maruta	4. 巻 39
2. 論文標題 Combining IST-based CFO Compensation and Neural Network-based Demodulation for Eigenvalue-modulated Signal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 7370-7382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2021.3114427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shohei Yamamoto, Ken Mishina, Akihiro Maruta	4. 巻 X8-B
2. 論文標題 Demodulation of optical eigenvalue modulated signal using neural network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 507-512
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2019GCL0026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計39件（うち招待講演 7件／うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Ken Mishina, Hiroyuki Takeuchi, Takayuki Kodama, Yuki Yoshida, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta
2. 発表標題 4096-ary Eigenvalue Modulation Using 12 Triangular-lattice shaped Eigenvalues
3. 学会等名 The Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC2021)（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuhei Terashi, Daisuke Hisano, Ken Mishina, Yuki Yoshida, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Joint Multi-Eigenvalue Demodulation Using Complex Moment-based Eigenvalue Solver and Artificial Neural Network
3. 学会等名 The Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuhei Terashi, Daisuke Hisano, Ken Mishin, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Impact of Arbitrary Parameters in Parallel Eigenvalue Solving Algorithm on Optical Eigenvalue Communication
3. 学会等名 26th OptoElectronics and Communications Conference (OECC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaya Maeda, Ken Mishina, Daisuke Hisano, Yuki Yoshida, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Soliton-assisted Carrier Frequency Offset Estimation in the Eigenvalue Domain
3. 学会等名 International Conference on Photonics in Switching and Computing 2021 (PSC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Takeuchi, Ken Mishina, Yuhei Terashi, Daisuke Hisano, Yuki Yoshida, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Eigenvalue-domain Neural Network Receiver for 4096-ary Eigenvalue-modulated Signal
3. 学会等名 The Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺師悠平, 久野大介, 三科健, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 複素モーメント型光固有値復調法における固有値抽出範囲の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田貴也, 三科健, 久野大介, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 固有値領域搬送波周波数オフセット推定法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会光通信システム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺師悠平, 久野大介, 三科健, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 複素モーメント型固有値解法とANNによる光固有値復調法
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾彰吾, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値通信における伝送路中に配置された増幅器雑音の影響
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田貴也, 三科健, 久野大介, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 固有値領域搬送波周波数オフセット推定法の推定精度
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木リシ, 丸田章博
2. 発表標題 複数固有値の伝送に適した光増幅器構成の検討
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三科健, 久野大介, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 固有値通信と機械学習の応用
3. 学会等名 令和3年電気関係学会関西連合大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺師悠平, 久野大介, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値復調法における機械学習手法の適用評価
3. 学会等名 第35回光通信システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤滉己, 丸田章博
2. 発表標題 逆散乱変換に基づく分散マネジメントソリトンの固有値解析
3. 学会等名 第35回光通信システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken Mishina, Daisuke Hisano, Yuki Yoshida, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Generalization Performance of Artificial Neural Network Based-Demodulator for Eigenvalue Modulated Signal
3. 学会等名 25th OptoElectronics and Communications Conference (OECC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shingo Sato, Ken Mishina, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Analysis of Time- and Eigenvalue-Domain Neural Network Based-Demodulator for Optical Eigenvalue Modulated Signal
3. 学会等名 25th OptoElectronics and Communications Conference (OECC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ken Mishina, Yuki Yoshida, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Artificial Neural Network-Based-Receiver for Eigenvalue-Modulated Signal in Presence of Optical CFO
3. 学会等名 The 46th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸田章博, 角淵敦基
2. 発表標題 光固有値変調信号の雑音耐性
3. 学会等名 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三科健, 前田貴也, 吉田悠来, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 固有値変調信号における固有値領域CF0推定とニューラルネットワーク復調への適用
3. 学会等名 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久野大介, 三科健, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 複素モーメント型固有値解法を適用した光固有値検出
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村政則, 三科健, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値変調のための時間領域波形ユークリッド距離に基づく変調フォーマット設計
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三科健, 吉田悠来, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値通信への機械学習の応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺師悠平, 久野大介, 中尾彰吾, 三科健, 吉田悠来, 丸田章博
2. 発表標題 複素モーメント型固有値解法による楕円領域光固有値抽出
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内裕之, 三科健, 吉田悠来, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 12個の固有値配置を用いた4096値固有値変調信号の伝送実験
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木リシ, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値伝送方式に適した光増幅器構成の検討
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihiro Maruta
2. 発表標題 Hyper Multi-level Modulation Based on Optical Multi-eigenvalue
3. 学会等名 9th International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies / 1st Special Symposium on Silicon Photonics of the Future (ISUPT/SSPhF 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Mishina, Takeyuki Kodama, Yuki Yoshida, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Experimental and Numerical Analysis of Eigenvalue Deviation in Optical Multi-Eigenvalue Modulated Signal Transmission
3. 学会等名 24th OptoElectronics and Communications Conference / International Conference on Photonics in Switching and Computing 2019 (OECC/PSC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Yamamoto, Ken Mishina, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Artificial Neural Network Based Demodulation of Multi-Eigenvalue Modulated Signal
3. 学会等名 24th OptoElectronics and Communications Conference / International Conference on Photonics in Switching and Computing 2019 (OECC/PSC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Mishina, Shohei Yamamoto, Takeyuki Kodama, Yuki Yoshida, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Experimental Demonstration of Neural Network Based Demodulation for On-Off Encoded Eigenvalue Modulation
3. 学会等名 The 45th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Mishina, S. Sato, S. Yamamoto, Y. Yoshida, D. Hisano, A. Maruta
2. 発表標題 Demodulation of Eigenvalue Modulated Signal Based on Eigenvalue-Domain Neural Network
3. 学会等名 The Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角淵敦基, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値変調における雑音の影響を考慮した固有値配置の最適化
3. 学会等名 電子情報通信学会光通信システム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三科健, 山本將平, 吉田悠来, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 光固有値通信への機械学習の応用
3. 学会等名 電子情報通信学会超知性ネットワーキングに関する分野横断型研究会(RISING2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本將平, 三科健, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた光固有値変調信号の復調器における汎化性能
3. 学会等名 電子情報通信学会光通信システム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三科健, 久野大介, 丸田章博
2. 発表標題 機械学習の光ファイバ通信への応用 ~ 非線形歪み補償と非線形伝送技術の中心に ~
3. 学会等名 電子情報通信学会通信方式研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤慎悟, 野口拓人, 山本將平, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 時間領域/固有値領域における光固有値変調信号の雑音耐性
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角淵敦基, 丸田章博
2. 発表標題 摂動逆散乱変換に基づく光固有値変調における雑音の影響の解析
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤慎悟, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 時間領域/固有値領域における光固有値変調信号の雑音耐性(2)
3. 学会等名 第33回光通信システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸田章博
2. 発表標題 光固有値変調を用いた多値伝送
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角淵敦基, 丸田章博
2. 発表標題 雑音の影響を考慮した光固有値変調における固有値配置の最適化
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

丸田研究室/研究紹介 http://wwwpn.comm.eng.osaka-u.ac.jp/home/index.php/topics/

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	久野 大介 (Hisano Daisuke) (40802088)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	三科 健 (Mishina Ken) (90466368)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	

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