様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　 ６ 月 ２９ 日現在

機関番号：２１６０２
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：１８Ｋ０４１５２

研究課題名（和文）Optical Subcarrier Processing for Nyquist SCM Signals using Four-Wave Mixing with Coherent Pumps

研究課題名（英文）Optical Subcarrier Processing for Nyquist SCM Signals using Four-Wave Mixing with Coherent Pumps

研究代表者

呂　国偉（Lu, Guo-Wei）

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：３０５９９７０９

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）：当該研究課題の主な研究成果は以下のとおりです。（a）コヒーレント検出によるサブキャリアマルチキャストおよびデータアグリゲーション。（b）コヒーレント重ね合わせによる低次直交振幅変調（QAM）ツインSSBからの高次QAMサブキャリアの合成。さらに、コヒーレント重ね合わせプロセスにおける不完全な位相回転を補償するために、階層的ブラインド位相推定という独自のアルゴリズムを提案しその実験的検討を行った。コヒーレント検波・直接検波いずれの場合も、合成された高次サブキャリアに対するエラーフリー動作と明確なコンスタレーションが実験的に実証され、本研究で提案するスキームの有用性を裏付けることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
The proposed processing schemes would be helpful for effectively managing the subcarrier granularity in subcarrier multiplexing systems, offering a flexible and efficient spectrum management, enabling the adaptive cross-connection in in-band level, and eventually realizing agile optical networks.

研究成果の概要（英文）：The main research output of this project could be summarized below. (a) subcarrier multicast and data aggregation with coherent detections; (b) synthesis of high-order quadrature-amplitude modulation (QAM) subcarrier from input low-order QAM twin-SSBs by coherent superposition with direct detection. In addition, a specific algorithm named hierarchical blind phase search was proposed and developed to cope with the imperfect phase rotation in the coherent superposition process. In both cases, error-free operations and clear constellations were experimentally demonstrated for the synthesized high-order subcarrier with either coherent or direct detection, verifying the proposed scheme.

研究分野：Optical Communications

キーワード：optical communications　four-wave mixing　nonlinear optics

１．研究開始当初の背景

To meet the growing bandwidth demands, the transmission capacity and spectral efficiency of optical communication systems have been drastically increased through sophisticated multiplexing and modulation technologies. In contrast to single carrier (SC) modulation, as an alternative multi-carrier modulation format, digital subcarrier multiplexing (SCM) with Nyquist-shaped subcarriers has recently become one of promising modulation formats, because of its advantages over SC, such as higher tolerance against nonlinearities and strong filtering, as well as a larger achievable aggregate capacity with flexibility in the spectral management. Previous signal processing is mainly performed in the signal level, not reaching the in-band subcarrier level. To flexibly mange the subcarrier granularity in multicarrier modulated SCM signal, it is becoming highly desirable to investigate the processing technologies for the in-band subcarriers, i.e. subcarrier processing technologies.

So far, there's been no work reported about the subcarrier processing for Nyquist SCM signals. In this proposal, we exploited all-optical subcarrier processing techniques for Nyquist SCM signals for implementing several network functionalities such as frequency conversion, multicast and data aggregation. Different from the previously-reported opto-electronic approaches, the all-optical solution could effectively overcome the bandwidth bottleneck imposed by the OEOs, realizing transparent ultrafast optical subcarrier processing. These functionalities provide efficient solutions to flexibly managing the subcarrier granularity in SCM signals, which is essential for the future agile optical networks.

２．研究の目的

As one of promising modulation formats, digital subcarrier multiplexing (SCM) has been recently proposed to realize ultrafast and ultrahigh-spectral-efficient optical networks in the future. To flexibly manage the subcarrier granularity and spectral efficiency of SCM, we propose an optical subcarrier processing scheme to realize the frequency conversion and data aggregation of the subcarriers in SCM using four-wave mixing with coherent pumps. By properly adjusting the spacing, and the relative power and phase difference between pumps, it could result in the coherent spectrum overlapping between the signal and replicas, and eventually coherently superpose the subcarriers in the optical field, thus realizing data aggregation and frequency conversion of subcarriers. It provides a flexible and ultrafast in-band signal processing approach and offers flexibility in the management of subcarrier granularity and spectrum efficiency, which is essential in the future agile optical networks.

３．研究の方法

(1) Numerical Validation:

To validate our proposed scheme, we first conducted numerical simulations by using commercial simulator.

(2) Experimental Demonstrations:

The proposed schemes were experimentally demonstrated with measured bit-error rates (BERs) and constellations. Here we summarize two main schemes for sub-carrier processing.

- Sub-carrier multicast and data aggregation [1]
  Both the multicast and data aggregation of sub-carriers were experimentally demonstrated. When detecting the sub-carriers, a coherent receiver was deployed. The generated sub-carrier could be selected by tuning the wavelength of the local oscillator.
- Synthesis of high-order QAM SSB from twin-SSB by data aggregation [2]
  This work focused on the synthesis of high-order QAM SSB by coherently merging two sub-carriers in the input twin-SSB by the proposed coherent superposition.

４．研究成果

The key idea in the proposed scheme is coherent superposition enabled by nonlinear optical effect, four-wave mixing (FWM). Fig. 1 depicts the proposed coherent superposition for data aggregation.

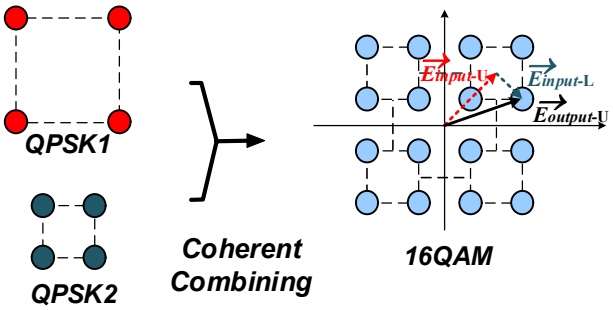

Fig. 1. High-order QAM subcarrier synthesis from low-order inputs by the proposed coherent superposition (combining).

As for the research achievements, here we are mainly focusing on the following two topics: (a) subcarrier multicast and data aggregation with coherent detections; (b) synthesis of high-order QAM subcarrier from input low-order twin-SSBs. The details of the research outputs are explained below.

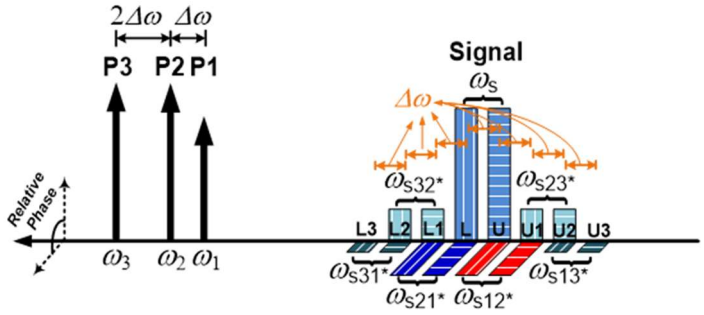

Fig. 2. High-order QAM subcarrier synthesis from low-order inputs by the proposed coherent superposition (combining).

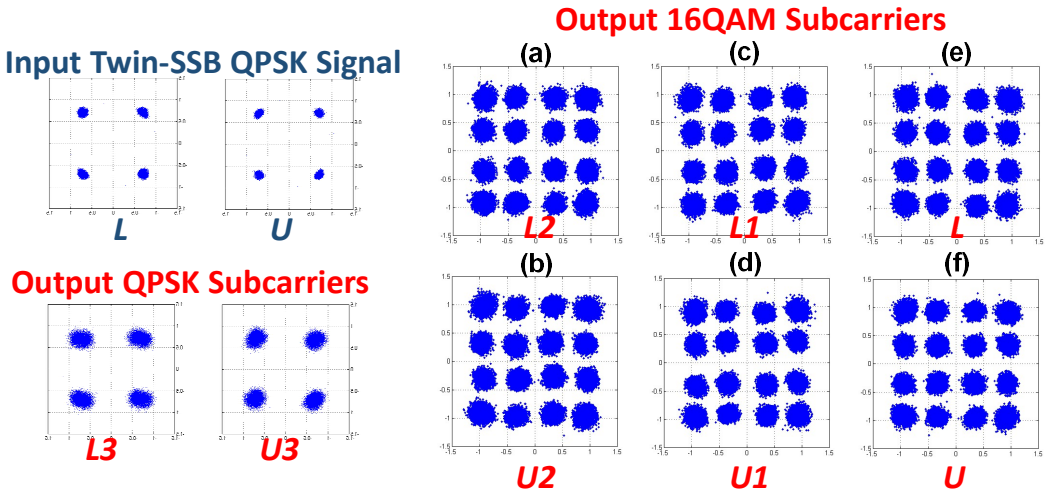

Fig. 3. Experimental results: Input twin-SSB QPSK (L & U), Output QPSK subcarriers at the ends (L3 & U3); Output 16QAM subcarriers at inner subcarriers (L, L1, L2, U, U1, U2).

- **Subcarrier multicast and data aggregation with coherent detections**

In this topic, the subcarrier is detected by using a coherent receiver. At the receiver side, to detect a specific subcarrier, the wavelength of local oscillator (LO) is tuned to align with the target subcarrier. As shown in Fig. 2, a twin single-sideband (twin-SSB, L & U spaced with Δ) signal encoded in quadrature-phase shifting keying (QPSK) is the original input signal. Two independent QPSK data are encoded in these two sidebands. A three-tone coherent optical comb with spacings of Δ and 2Δ and a power raito of 2:2:1 is severing as a coherent pump. After the proposed subcarrier processing unit, coherent superposition takes place between the original subcarriers (L&U) and newly-generated replicas, as shown in Fig. 2. The corresponding constellations of input and output subcarriers after the subcarrier processing unit are illustrated in Fig. 3. It verifies that through the coherent superposition

low-order subcarriers (QPSK) are merged and aggregated to high-order subcarriers (16QAM). Meanwhile, multicast of QPSK and 16QAM subcarriers are simultaneously achieved.

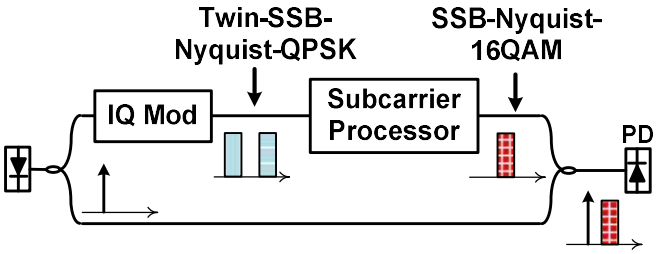

Fig. 4. Application of coherent superposition: Synthesis of high-order QAM subcarrier with direct detection.

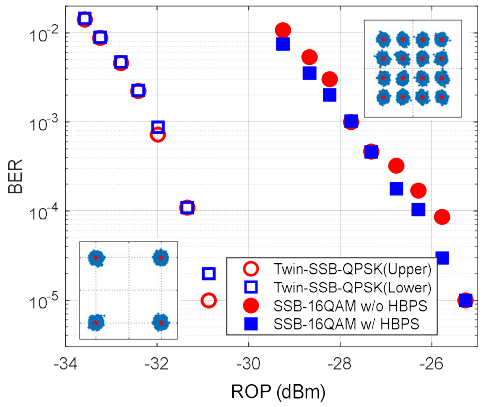

Fig. 5. Measured BER and constellations of the input and synthesized Nyquist SSB.

- **Synthesis of high-order QAM subcarrier (SSB) with direct detection**

As a variation of subcarrier processing, we applied our proposed coherent superposition scheme to synthesize Nyquist high-order QAM subcarrier. Fig. 4 illustrates the operation principle to implement the high-order subcarrier synthesis by using the proposed subcarrier processing. Different from the first topic, herein, a direct detection is used to detect the synthesized signal. A CW light is combined with a data-modulated subcarrier for detection. The measured bit-error rates (BERs) and corresponding constellations are shown in Fig. 5.

To cope with the phase misalignment between two subcarriers, we also proposed a new algorithm called hierarchical blind phase search (HBPS) to correct the imperfect phase rotation in the subcarrier processor. The algorithm subtract is shown in Fig. 6.

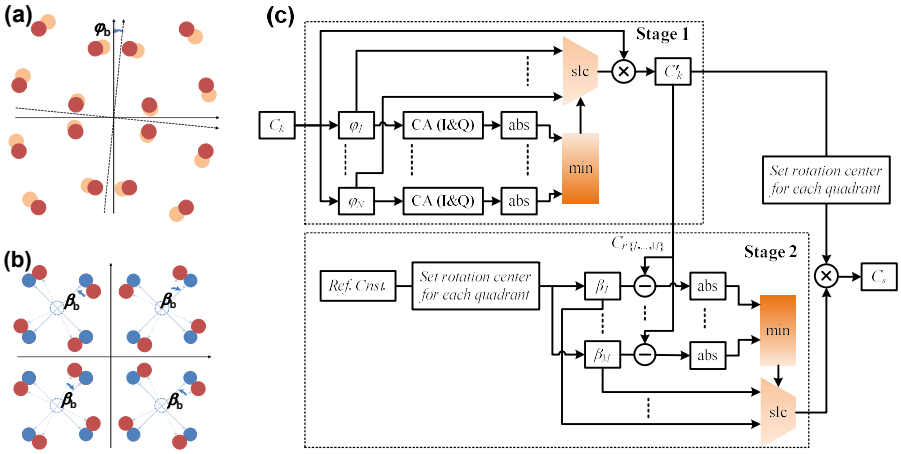

Fig. 6. The proposed hierarchical blind phase search (HBPS) algorithm for correcting the possible imperfect phase rotation in the OSP-aided data aggregation: (a) 1st and (b) 2nd stage, and (c) the structure of HBPS.

Reference:

[1] G-W Lu, R. S. Luís, J. Mendinueta, T. Sakamoto, and N. Yamamoto, "Optical subcarrier processing for Nyquist SCM signals via coherent spectrum overlapping in four-wave mixing with coherent multi-tone pump," Opt. Express 26, 1488-1496 (2018)

[2] G. -W. Lu, H. -B. Zhang and Z. Li, "Synthesis of SSB Nyquist 16QAM from twin-SSB QPSK via optical subcarrier processing-based data aggregation and its direct detection with hierarchical blind phase search algorithm," in IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 27, no. 2, pp. 1-8, March-April 2021, Art no. 7700208, doi: 10.1109/JSTQE.2020.2976542.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計15件（うち査読付論文　15件／うち国際共著　6件／うちオープンアクセス　6件）

１．著者名 Lu Guo-Wei、Zhang Hong-Bo、Shinada Satoshi、Hong Jianxun、Cheng Yongpeng、Yokoyama Shiyoshi	４．巻 27
２．論文標題 Power-Efficient O-Band 40 Gbit/s PAM4 Transmitter Based on Dual-Drive Cascaded Carrier-Depletion and Carrier-Injection Silicon Mach-Zehnder Modulator With Binary Driving Electronics at CMOS Voltages	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	６．最初と最後の頁 1～8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTQE.2021.3056721	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 Cui Jiabin、Ji Yuefeng、Lu Guo-Wei、Wang Hongxiang、Zhang Min	４．巻 29
２．論文標題 2D-to-1D constellation reforming using phase-sensitive amplifier-based constellation squeezing and shifting	５．発行年 2021年
３．雑誌名 Optics Express	６．最初と最後の頁 3724～3724
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.417353	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 Qin Jun、Tao Yuansheng、Shu Haowen、Liu Siming、Wang Danshi、Gangwar Rahul Kumar、Lu Guo-Wei、Wang Xingjun	４．巻 27
２．論文標題 Highly Reliable Transmission System for Next-Generation Optical Access Network Based on Silicon Modulator With Maximum-Ratio Combined Receiver	５．発行年 2021年
３．雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	６．最初と最後の頁 1～10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTQE.2020.3021732	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 Lu Guo-Wei、Hong Jianxun、Qiu Feng、Spring Andrew M.、Kashino Tsubasa、Oshima Juro、Ozawa Masa-aki、Nawata Hideyuki、Yokoyama Shiyoshi	４．巻 11
２．論文標題 High-temperature-resistant silicon-polymer hybrid modulator operating at up to 200?Gbit?s?1 for energy-efficient datacentres and harsh-environment applications	５．発行年 2020年
３．雑誌名 Nature Communications	６．最初と最後の頁 4224
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-18005-7	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 Chen Weicheng、Yue Gongcheng、Hu Haofeng、Cheng Zhenzhou、Lu Guo-Wei、Liu Tiegen	4．巻 12
2．論文標題 Dual-Mode GVD Tailoring in a Convex Waveguide	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEEE Photonics Journal	6．最初と最後の頁 1～6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JPHOT.2020.3005690	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 Yue Gongcheng、Xing Zhengkun、Hu Haofeng、Cheng Zhenzhou、Lu Guo-Wei、Liu Tiegen	4．巻 28
2．論文標題 Graphene-based dual-mode modulators	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Optics Express	6．最初と最後の頁 18456～18456
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.394409	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 Mochizuki Jun、Inagaki Keizo、Lu Guo-Wei、Sakamoto Takahide、Yoshida Yuki、Kanno Atsushi、Yamamoto Naokatsu、Kawanishi Tetsuya	4．巻 17
2．論文標題 Variable-linewidth light source based on Brownian motion random walk in optical phase	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEICE Electronics Express	6．最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.17.20200216	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 Lu Guo-Wei、Zhang Hong-Bo、Li Zhe	4．巻 1
2．論文標題 Synthesis of SSB Nyquist 16QAM from Twin-SSB QPSK via Optical Subcarrier Processing-based Data Aggregation and its Direct Detection with Hierarchical Blind Phase Search Algorithm	5．発行年 2020年
3．雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6．最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTQE.2020.2976542	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 該当する

1．著者名 Cui Jiabin、Ji Yuefeng、Lu Guo-Wei、Wang Hongxiang、Zhang Min	4．巻 28
2．論文標題 Phase-sensitive amplifier-based optical conversion for direct detection of complex modulation format to bridge long-haul transmissions and short-reach interconnects	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Optics Express	6．最初と最後の頁 2349～2349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.380482	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 該当する

1．著者名 Zhang Sheng、Li Tao、Lu Guo-Wei、Sunami Yuta	4．巻 15
2．論文標題 Ultra-flexible perceptual photonic-skin by using optical fiber as artificial mechanoreceptor	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Microsystem Technologies	6．最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00542-019-04328-z	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 Cui Jiabin、Lu Guo-Wei、Wang Hongxiang、Ji Yuefeng	4．巻 7
2．論文標題 On-Chip Optical Vector Quadrature De-Multiplexer Proposal for QAM De-Aggregation by Single Bi-Directional SOA-Based Phase-Sensitive Amplifier	5．発行年 2019年
3．雑誌名 IEEE Access	6．最初と最後の頁 763～772
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2018.2885815	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 該当する

1．著者名 Luo Yang-Hui、Chen Chen、Lu Guo-Wei、Hong Dan-Li、He Xiao-Tong、Wang Cong、Wang Jia-Ying、Sun Bai-Wang	4．巻 9
2．論文標題 Atomically Thin Two-Dimensional Nanosheets with Tunable Spin-Crossover Properties	5．発行年 2018年
3．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6．最初と最後の頁 7052～7058
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpclett.8b03298	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 該当する

１．著者名 Cui Jiabin、Wang Hongxiang、Lu Guo-Wei、Bai Lin、Tan Yanxia、Sakamoto Takahide、Yamamoto Naokatsu、Ji Yuefeng	４．巻 36
２．論文標題 Reconfigurable Optical Network Intermediate Node With Full-Quadrature Regeneration and Format Conversion Capacity	５．発行年 2018年
３．雑誌名 Journal of Lightwave Technology	６．最初と最後の頁 4691～4700
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2018.2865015	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 該当する

１．著者名 Lu Guo-Wei、Luis Ruben S.、Toda Hiroyuki、Cui Jiabin、Sakamoto Takahide、Wang Hongxiang、Ji Yuefeng、Yamamoto Naokatsu	４．巻 26
２．論文標題 Flexible generation of 28 Gbps PAM4 60 GHz/80 GHz radio over fiber signal by injection locking of direct multilevel modulated laser to spacing-tunable two-tone light	５．発行年 2018年
３．雑誌名 Optics Express	６．最初と最後の頁 20603～20603
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.26.020603	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 該当する

１．著者名 Li Tao、Zhang Sheng、Lu Guo-Wei、Sunami Yuta	４．巻 18
２．論文標題 Vibro-Perception of Optical Bio-Inspired Fiber-Skin	５．発行年 2018年
３．雑誌名 Sensors	６．最初と最後の頁 1531～1531
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s18051531	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16件（うち招待講演　3件／うち国際学会　16件）

１．発表者名 S. Yokoyama, G. -W. Lu, F. Qiu and H. Sato
２．発表標題 Ultra high speed silicon and polymer hybrid modulator 100 Gbaud transmission
３．学会等名 Proc. IEEE Photonics Conference（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2020年

１．発表者名
Gongcheng Yue, Weicheng Chen, Haofeng Hu, Guo-Wei Lu, Zhenzhou Cheng, and Tiegen Liu

２．発表標題
Design of a graphene-based multi-mode BPSK modulator

３．学会等名
SPIE Optoelectronic Devices and Integration IX（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Jiabin Cui, Yuefeng Ji, Guo-Wei Lu, Hongxiang Wang, Min Zhang

２．発表標題
Optical de-aggregation from 9QAM to PAM3 using phase-sensitive amplifier-based optical quadrature de-multiplexing and two-level vector moving

３．学会等名
Asia Communications and Photonics Conference（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Guo-Wei Lu, Hong-Bo Zhang, Zhengkun Xing, Kouichi Akahane, Zhenzhou Cheng, Tiegen Liu, Takahide Sakamoto, Naokatsu Yamamoto

２．発表標題
PAM4 receiver based on quantum-dot SOA preamplifier for short-reach applications

３．学会等名
Conference on Lasers and Electro-Optics（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Guo-Wei Lu, Hong-Bo Zhang, Zhengkun Xing, Kouichi Akahane, Zhenzhou Cheng, Tiegen Liu, Takahide Sakamoto, Naokatsu Yamamoto

２．発表標題
PAM4 Receiver based on quantum-dot SOA preamplifier for short-reach applications

３．学会等名
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Guo-Wei Lu, Hong-Bo Zhang, Zhe Li

２．発表標題
Coherent self-superposition aided SSB Nyquist 16QAM synthesis from twin-SSB Nyquist QPSK with reduced DAC resolution requirement

３．学会等名
Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC)（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
Shiyoshi Yokoyama, Guo-Wei Lu, Xiaoyang Cheng, Feng Qiu, Andrew Spring, Tsubasa Kashino, Juro Ohshima, Masa-aki Ozawa, Hideyuki Nawata

２．発表標題
Efficient 110 Gbit/s OOK transmitter using silicon hybrid polymer modulator

３．学会等名
Proc. European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
G.-W. Lu, J. Hong, H. Zhang, F. Qiu, S. Yokoyama

２．発表標題
DAC-less PAM4 Transmitter using Electro-optic Polymer Dual-drive Mach-Zehnder Modulator with Imbalanced Binary Driving Electronics

３．学会等名
Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）

４．発表年
2020年

１．発表者名
S. Yokoyama, G.-W. Lu, X. Cheng, F. Qiu

２．発表標題
Long-term Stable Electro-optic Polymers for Hybrid Integration

３．学会等名
Proc. Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年～2019年

１．発表者名
S. Yokoyama, G.-W. Lu, H. Miura, F. Qiu, A. M. Spring

２．発表標題
110 Gbit/s On-Off Keying Transmitter Based on a Single-Drive Polymer Modulator

３．学会等名
Proc. Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC)（国際学会）

４．発表年
2018年～2019年

１．発表者名
S. Yokoyama, G.-W. Lu, H. Miura, F. Qiu, A. M. Spring

２．発表標題
High Temperature Resistant 112 Gbit/s PAM4 Modulator Based on Electro-optic Polymer Modulator

３．学会等名
Proc. European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC)（国際学会）

４．発表年
2018年～2019年

１．発表者名
Junichi Hamazaki, Guo-Wei Lu, Keizo Inagaki, Tadashi Kishimoto, Yoh Ogawa, Norihiko Sekine, Akifumi Kasamatsu, Naoukatu Yamamoto, Shigeru Yamaguchi, Iwao Hosako

２．発表標題
Optical Angular Momentum Doubling of Optical Vortices in Telecommunication Bands

３．学会等名
Proc. Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年～2019年

１．発表者名
Jiabin Cui, Guo-Wei Lu, Hongxiang Wang, Lin Bai, Yuefeng Ji

２．発表標題
Single-stage phase-sensitive amplifier based quadrature de-multiplexer for de-aggregating QAM Signals into inphase and Quadrature components

３．学会等名
Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）

４．発表年
2018年～2019年

１．発表者名 Takahide Sakamoto, Guo-Wei Lu, Naokatsu Yamamoto
２．発表標題 Experimental demonstration of fiber-nonlinearity cancellation by photonic homodyne down-conversion in conjugated-paired Radio-on-Fiber system
３．学会等名 Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）
４．発表年 2018年～2019年

１．発表者名 Guo-Wei Lu, Ruben S. Luis, Hiroyuki Toda, Jiabin Cui, Takahide Sakamoto, Hongxiang Wang, Yuefeng Ji, Naokatsu Yamamoto
２．発表標題 28Gbps PAM4 60GHz Radio over Fiber system by injection locking two-tone light to directly-modulated laser
３．学会等名 Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）
４．発表年 2018年～2019年

１．発表者名 Shiyoshi Yokoyama, Guo-Wei Lu, Hiroki Miura, Feng Qiu, Andrew Spring
２．発表標題 96 Gbit/s PAM-4 Generation using an Electro-Optic Polymer Modulator with High Thermal Stability
３．学会等名 Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)（国際学会）
４．発表年 2018年～2019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	千葉　明人 (Chiba Akito) (30435789)	群馬大学・大学院理工学府・助教 (12301)	

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	坂本　高秀 (Sakamoto Takahide) (70392727)	東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授 (22604)	

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