科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２６　年　　６　月　１１　日現在

機関番号：　１２６１２
研究種目：　基盤研究(B)
研究期間：　2011～2013
課題番号：　２３３６０１６８

研究課題名（和文）光キャリア再生可能なフォトニックネットワーク技術の研究

研究課題名（英文）Research on photonic networks based on optical carrier regeneration

研究代表者
松浦　基晴（Matsuura, Motoharu）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：４０４５６２８１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　15,500,000円、（間接経費）　　4,650,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では，都市圏光ネットワークに有効な高密度波長多重伝送を用いたマルチキャリアの再利用が可能なマルチキャリア分配型の光キャリア再生型ネットワークの研究開発を行った．一般的な光ネットワークで必要となる無数のレーザ光源の配備を回避するため，マルチキャリア光源で発生した無数の光キャリアをネットワーク内に分配するマルチキャリア光源分配型ネットワークにおいて，独自の光キャリア再生技術を組み込み，波長利用効率を格段に高めた新しいネットワーク技術を提案した．数値解析によって，実用的なネットワーク規模を明確化し，さらに，大規模なネットワーク実証実験によって，その有効性を明確化した．

研究成果の概要（英文）：In this work, we demonstrate a distributed multicarrier reusable network (DMRN) for regional and metro areas, based on dense wavelength-division multiplexing (DWDM) transmission. To eliminate the multiple distributed laser-diodes (LDs) at each access node in conventional networks, optical carriers generated by a centralized multicarrier light source (MCLS) are distributed to the access nodes, and they are used for node-to-node data transmission. in the network, we proposed a technique called optical carrier regeneration (OCR), whereby the distributed carriers can be reused in each access node. This technique has a simple scheme and enables us to reuse the carriers that were already utilized for data transmission between prior source and destination nodes. We numerically analyze the scalability of our proposed DMRN and demonstrated a DMRN experiment. The results show that the DMRN will be useful for wide-area metro networks with high transmission performances.

研究分野：　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：　フォトニックネットワーク　光信号処理　波長多重伝送　トラヒック制御　光ノード技術

１．研究開始当初の背景

都市圏光ネットワークの伝送容量を増大するためには多くの異なる波長を多重伝送する波長多重伝送技術が必要不可欠となるが、波長数が増えるとそれに併せて、光源の数も増大するため、ネットワークでのコストや消費電力が伝送容量の増大とともに、指数関数的に増大してしまうという問題点がある。これを解決する手段として、1 つの光源から最大 1000 チャネルにも及ぶ光キャリア（波長）を生成するマルチキャリ光源を利用し、生成した光キャリアをネットワーク内に分配・共有するマルチキャリ分配型光ネットワークが提案されているが、1 つの光キャリアは 1 つの光パスでしか利用が出来ないため、波長利用効率が著しく低下するという問題点があり、これを解決する手段については、これまでに報告がなかった。

２．研究の目的

本研究では、マルチキャリア分配型光ネットワークで問題となる低い波長利用効率を向上するため、独自の光キャリア再生技術を用い、一度、伝送した光信号から同じ波長の光キャリアを再生し、ネットワーク内で再利用可能な光キャリア再生型光ネットワークを提案する。ネットワークシミュレーションから実証実験までを統合的に実施し、提案ネットワークの有効性を明確化することを目的としている。本研究では、実験・理論の両面から、ネットワーク構成法の検討をしており、光ノード構成の具現化・プロトタイプ化により、既存の光デバイス性能で構成可能な光キャリア再生型ネットワークを構築するだけでなく、通信トラヒック理論に基づいたネットワーク制御法を確立することで、将来のネットワーク技術として、実用性の高い成果を達成することを目的としている。

３．研究の方法

提案する光キャリア再生型光ネットワークの有効性を示すべく、以下の 4 つのテーマをもとに研究開発を実施する。

（1）光キャリア再生技術の高度化

ネットワーク内で光キャリア再生を複数回行うことが可能であれば、波長利用効率を更に向上することが期待出来る。光キャリア再生を繰り返す際の制限要因を挙げ、シミュレーショション、および、実証実験によって、提案する光キャリア再生技術で再生可能な利用回数や信号品質劣化の影響を詳細に調査し、その性能を明らかにする。

（2）フォトニックネットワーク構成法

実際の光ネットワークでの利用を想定した光キャリア再生技術を組み込んだ光ノード構成を構築する。ノード内のそれぞれの素子について、実験的な性能評価を行い、動作可能な波長切替時間、波長可変範囲、波長多重数などのシステムパラメータを導出し、ネットワーク実験で実証可能な構成要件を決定する。

（3）動的ネットワーク制御法の開発

実証実験と併せて、トラヒック需要の変化に応じて、ネットワーク全体の波長数、光ノード数、光キャリア再生可能回数等の定式化を行う。さらに、提案方式のための独自の波長割当アルゴリズムやネットワーク制御法を検討し、波長資源の利用効率を最大限に活用するための技術開発を行う。

（4）フォトニックネットワーク実証実験

ネットワーク制御の評価、波長割当アルゴリズムの検証、光回路の検証、通信品質の評価を通じて、提案ネットワークの実現可能性を検証する。

４．研究成果

独自の光キャリア技術をもとに多くの研究成果を達成することに成功した。関連研究も含め、光通信分野では世界的にも著名な IEEE や OSA が発行する論文誌に 10 件を超える論文が採択されている。また、国際会議公表においても、通信分野で世界的にも評価の高い IEEE ICC を中心に多くの公表を行い、本研究で提案・実証した光ネットワーク技術を国際的に広くアピールすることに成功した。

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 21 件）

① N. Kitsuwan, H. N. Tan, M. Matsuura, N. Kishi, and E. Oki, "Recursive parametric wavelength conversion scheme for optical packet switch," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 29, no. 11, pp. 1659-1670, June 2011.（査読有）

② Q. N. The, M. Matsuura, H. N. Tan, and N. Kishi, "All-optical NRZ-to-RZ data format conversion with picosecond duration-tunable and pedestal suppressed operations," IEICE Transaction on Electronics, vol. E94-C, no. 7, pp. 1160-1166, July 2011.（査読有）

③ M. Matsuura and N. Kishi, "Flexible broadband wavelength conversion in quantum-dot semiconductor optical amplifiers," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 15, pp. 1097-1099, Aug. 2011.（査読有）

④ M. Matsuura, O. Raz, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, and H. J. S. Dorren, "320-Gbit/s wavelength conversion using four-wave mixing in quantum-dot semiconductor optical amplifiers," OSA

Optics Letters, vol. 36, no. 15, pp. 2910-2912, Aug. 2011. （査読有）

⑤ M. Matsuura, O. Raz, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, and H. J. S. Dorren, "Ultrahigh-speed and widely tunable wavelength conversion based on cross-gain modulation in a quantum-dot semiconductor optical amplifier," OSA Optics Express, vol. 19, no. 26, B551-B559, Dec. 2011, DOI:10.1364/OE.19.00B551 （査読有）

⑥ M. Matsuura, N. Calabretta, O. Raz, and H. J. S. Dorren, "Multichannel wavelength conversion of 50-Gbit/s NRZ-DQPSK signals using a quantum-dot semiconductor optical amplifier," OSA Optics Express, vol. 19, no. 26, B560-B566, Dec. 2011, DOI:10.1364/OE.19.00B560 （査読有）

⑦ Q. N. The, H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "Generation of multi-wavelength picosecond pulses with tunable pulsewidth and channel spacing using a Raman amplification-based adiabatic soliton compressor," OSA Optics Express, vol. 20, no. 2, pp. 1230-1236, Jan. 2012, DOI:10.1364/OE.20.001230 （査読有）

⑧ M. Matsuura, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, O. Raz, and H. J.S. Dorren, "320-to-40-Gb/s optical demultiplexing using four-wave mixing in a quantum-dot SOA," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 24, no. 2, pp. 101-103, Jan. 2012. （査読有）

⑨ H. N. Tan, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Reconfigurable all-optical OTDM-to-WDM conversion using a multiwavelength ultrashort pulse source based on Raman compression," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 30, no. 6, pp. 853-863, March 2012. （査読有）

⑩ H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "Parallel WDM signal processing in mixed NRZ and RZ transmission networks using a single optical gate with multiple switching windows," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 18, no. 2, pp. 926-934, Mar./Apr. 2012. （査読有）

⑪ H. N. Tan, N. Kitsuwan, M. Matsuura, N. Kishi, and E. Oki, "Demonstration of bufferless optical packet switch with recursive stages of parametric wavelength converter," Elsevier Optical Switching and Networking, vol. 9, no. 4, pp. 336-342, Nov. 2012. （査読有）

⑫ Q. N. The, H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical WDM-to-OTDM conversion using a multi-wavelength picosecond pulse generation in Raman compression," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 24, no. 24, pp. 2235-2238, Dec. 2012. （査読有）

⑬ M. Matsuura, O. Raz, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, and H. J. S. Dorren, "Error-free 320-to-40-Gbit/s optical demultiplexing based on blue-shift filtering in a quantum-dot semiconductor optical amplifier," OSA Optics Letters, vol. 38, no. 2, pp. 238-240, Jan. 2013. （査読有）

⑭ M. Matsuura and N. Kishi, "Multichannel transmission of intensity- and phase-modulated signals by optical phase conjugation using a quantum-dot semiconductor optical amplifier," OSA Optics Letters, vol. 38, no. 10, pp. 1700-1702, May 2013. （査読有）

⑮ G. M. Sharif, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical polarization-insensitive non-return -to-zero-to-pulsewidth tunable return-to-zero conversion," OSJ Optical Review, vol. 20, no. 3, pp. 266-270, May 2013. （査読有）

⑯ R. Furukawa, M. Nagata, K. Mishina, M. Matsuura, A. Inoue, and Y. Koike, "Core stress distribution of phase shifting multimode polymer optical fiber," AIP Applied Physics Letters, vol. 103, pp. 213301, Nov. 2013. （査読有）

⑰ M. N. Bhuiyan, M. Matsuura, H. N. Tan, and N. Kishi, "Use of state of polarization transparent scheme for polarization shift keying signal as optical phase conjugator to improve the transmission performance," OSJ Optical Review, vol. 21, no. 1, pp. 48-53, Jan. 2014. （査読有）

⑱ X. Yu, Y. Yamao, and M. Matsuura, "EPWM-OFDM signal transmission against nonlinearities of E/O converters in radio over fiber channel," IEICE Transaction on Communications, vol. E97-B, no. 2, pp.484-494, Feb. 2014. （査読有）

⑲ M. Matsuura, R. Furukawa, Y. Matsumoto, A. Inoue, and Y. Koike, "Evaluation of modal noise in graded-index silica and plastic optical fiber links for radio over multimode fiber systems," OSA Optics Express, vol. 22, no. 6, pp. 6562-6568, Mar. 2014, DOI:10.1364/OE.22.006562（査読有）

⑳ M. Keri, N. Kitsuwan, M. Matsuura, and E. Oki, "Performance of a routing and wavelength assignment scheme for an optical-carrier-reusable ring network," IET Networks, to be published, 2014. （査読有）

㉑ G. M. Sharif, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical wavelength -shift-free NRZ-DPSK to RZ-DPSK format conversion with pulsewidth tunability by an SOA-based switch," IEICE Transaction on Electronics, to be published, July 2014. （査読有）

〔学会発表〕（計 31 件）

① H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "Parallel multichannel processing by a multiple switching-window semiconductor-based switch," Triangle Symposium on Advanced ICT 2011 (TriSAI 2011), OW-4, Daejeon, Korea, Aug. 2011. （査読有）

② M. Matsuura, O. Raz, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, and H. J. S. Dorren, "320-Gb/s wavelength conversion based on cross-gain modulation in a quantum-dot SOA," 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2011), Mo.1.A.1, Geneva, Switzerland, Sep. 2011. （査読有）

③ H. N. Tan, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Wavelength- and time-selective OTDM-to-WDM conversion with variable channel spacing in WDM grid using a reconfigurable multiwavelength pulse compressor," 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2011), Tu.5.LeCervin.2, Geneva, Switzerland, Sep. 2011. （査読有）

④ Q. N. The, H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "Multi-wavelength pulse generation using a Raman amplification -based adiabatic soliton compressor," 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2011), We.10.P1.10, Geneva, Switzerland, Sep. 2011. （査読有）

⑤ M. Matsuura, N. Calabretta, O. Raz, and H. J. S. Dorren, "Simultaneous multichannel wavelength conversion of 50-Gb/s NRZ-DQPSK signals with 100-GHz channel spacing using a quantum-dot SOA," 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2011), We.10.P1.51, Geneva, Switzerland, Sep. 2011. （査読有）

⑥ H. J. S. Dorren, M. Matsuura, K. S. Trapala, and O. Raz, "High speed optical signal processing for communications," 7th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2011), WED-PH-03, Jeju, Korea, Dec. 2011. （査読有）

⑦ H. N. Tan, Q.N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "40-fold 4-channel sub-picosecond pulse compression by Raman amplification and self-phase modulation," 37th The Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2012), OM2C.2, Los Angeles, USA, March 2012. （査読有）

⑧ Q. N. The, H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical WDM-to-OTDM conversion using a Raman amplification -based multi-wavelength pulse compressor," 37th The Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2012), OM2C.3, Los Angeles, USA, March 2012. （査読有）

⑨ M. Matsuura, O. Raz, F. Gomez-Agis, N. Calabretta, and H. J. S. Dorren, "320-to-40-Gb/s optical demultiplexing by means of optical filtering of chirped signal using a quantum-dot SOA," 37th The Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2012), OTh3H.4, Los Angeles, USA, March 2012. （査読有）

⑩ X. Yu, M. Matsuura, S. Yokozawa, and Y. Yamao, "OFDM signal transmission by EPWM transmitter in nonlinear RoF channel," 75th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2012-Spring), 10G-2, Yokohama, Japan, May 2012. （査読有）

⑪ G. M. Sharif, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Polarization-insensitive NRZ-to-RZ conversion with pulsewidth tunability," 17th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2012), 6F1-2, Busan, Korea, July 2012. （査読有）

⑪ Y. Doi, S. Inoue, M. Matsuura, and N. Kishi, "Two-stage waveform conversion by using cross-gain-modulation of semiconductor optical amplifier," International Workshop on Modern Science and Technology 2012 (IWMST

2012), R3-1, Tokyo, Japan, Aug. 2012. （査読有）

⑫ X. Yu, M. Matsuura, and Y. Yamao, "Nonlinearity effect of DFB laser diode RoF channel on EPWM-OFDM signal transmission," Triangle Symposium on Advanced ICT 2012 (TriSAI 2012), Tokyo, Japan, Sep. 2012. （査読有）

⑬ Q. N. The, H. N. Tan, M. Matsuura, and N. Kishi, "OTDM add-drop multiplexing using a Raman amplification-based adiabatic soliton compressor," 5th International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2012), Fri.M.6d-1, Hanoi, Vietnam, Oct. 2012. （査読有）

⑭ H. N. Tan, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Multichannel NRZ-to-RZ modulation format conversion using cross-gain modulation in a semiconductor optical amplifier," 5th International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2012), Fri.M.6d-2, Hanoi, Vietnam, Oct. 2012. （査読有）

⑮ M. Matsuura and N. Kishi, "Simultaneous multichannel transmission of intensity- and phase-modulated signals based on optical phase conjugation using a quantum-dot SOA," 38th The Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2013), OTh1C.7, Anaheim, USA, March 2013. （査読有）

⑯ M. Matsuura and E. Oki, "Scalability analysis and demonstration of distributed multicarrier reusable network with optical add/drop multiplexers," IEEE International Conference on Communications (ICC 2013), ONS-02-1, Budapest, Hungary, June 2013. （査読有）

⑰ X. Yu, M. Matsuura, and Y. Yamao, "Analysis of RoF-echo effect on OFDM signal transmission with EPWM format," IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2013), PLCCM3-4, Atlantic City, USA, June 2013. （査読有）

⑱ G. M. Sharif, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "NRZ-DPSK to RZ-DPSK format conversion with wavelength shift free and pulsewidth tunable operations," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and The 18th OptoElectronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), MO1-3, Kyoto, Japan, July 2013. （査読有）

⑲ Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical WDM-to-OTDM conversion based on supercontinuum generation in a highly nonlinear fiber," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and The 18th OptoElectronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), MO1-5, Kyoto, Japan, July 2013. （査読有）

⑳ R. Seki and M. Matsuura, "100 km transmission of 40 Gbit/s RZ-OOK signal using optical phase conjugation in a QD-SOA," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and The 18th OptoElectronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), Th03-6, Kyoto, Japan, July 2013. （査読有）

㉑ N. Oka and M. Matsuura, "RZ-OOK to RZ-DPSK format conversion with all-optical clock generation," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and The 18th OptoElectronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), TuPO-3, Kyoto, Japan, July 2013. （査読有）

㉒ J. Sato and M. Matsuura, "Radio-over-fiber transmission with optical power supply using a double-clad fiber," The 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and The 18th OptoElectronics and Communications Conference/Photonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013), TuPO-8, Kyoto, Japan, July 2013. （査読有）

㉓ A. Inoue, R. Furukawa, M. Matsuura, and Y. Koike, "Significant noise reduction for radio over fiber using microscopically heterogeneous plastic optical fiber,"The 22nd International Conference on Plastic Optical Fibers (POF 2013), PO18, Rio de Janeiro, Brazil, Sep. 2013. （査読有）

㉔ A. Inoue, R. Furukawa, M. Matsuura, and Y. Koike, "Significant noise reduction in multimode fiber links using graded-index plastic optical fiber with microscopic heterogeneous core," 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication

(ECOC 2013), P.1.1, London, UK, Sep. 2013. （査読有）

㉕ M. Matsuura, R. Furukawa, A. Inoue, and Y. Koike, "Modal noise impact in plastic optical fiber for radio-over-fiber systems," 39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013), P.6.3, London, UK, Sep. 2013. （査読有）

㉖ M. Matsuura and J. Sato, "Power-over-fiber using double-clad fibers for radio-over-fiber systems," 19th European Conference on Networks and Optical Communications (NOC 2014), 6-2, Milan, Italy, June 2014. （査読有）

㉗ I.Ismail, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Multichannel tunable pulsewidth NRZ-to-RZ conversion of intensity- and phase-modulated signals using Raman adiabatic-soliton compressor,"19th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2014), WE7B4, Melbourne, Australia, July 2014. （査読有）

㉘ G. M. Sharif, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "Wavelength conversion of RZDPSK signal with pulsewidth tunability using four wave mixing and Raman amplifier based pulse compressor," 19th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2014), WE7F1, Melbourne, Australia, July 2014. （査読有）

㉙ I. Ismail, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "6-fold wavelength multicasting using tunable-width picosecond pulse source from Raman adiabatic-soliton-compressor,"19th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2014), WE7F2, Melbourne, Australia, July 2014. （査読有）

㉚ Q. N. Quynh, Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical waveform sampling using Raman amplification multiwavelength compressor,"19th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2014), to be presented, Melbourne, Australia, July 2014. （査読有）

㉛ Q. N. The, M. Matsuura, and N. Kishi, "All-optical OTDM-to-WDM conversion based on cross phase modulation in highly nonlinear fiber,"19th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2014), to be presented, Melbourne, Australia, July 2014. （査読有）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
http://www.mm.cei.uec.ac.jp/

６．研究組織

(1)研究代表者
松浦　基晴（MATSUURA, Motoharu）
電気通信大学・情報理工学研究科・准教授
研究者番号：40456281

(2)研究分担者
大木　英司（OKI, Eiji）
電気通信大学・情報理工学研究科・教授
研究者番号：70524156