

研究ステーション研究成果報告書

1. 研究ステーション名： フォトニック情報通信技術研究ステーション

代表者名： 三木哲也

2. 設置期間

平成 14 年 7 月 10 日 ～ 平成 19 年 7 月 9 日

3. 研究成果

フォトニック情報通信技術研究ステーションの中心的研究テーマであるフォトニックネットワーク、光信号処理、ROF (Radio over Fiber : 無線信号フォトニック伝送)、および新たな視点であるディペンダブルネットワークなどについて、過去5年間にわたる主要な研究成果を以下に示す。

(1) フォトニックネットワーク

フォトニックネットワークは、光通信の研究分野での最も先端的な研究領域であるが、我々が平成13年に発表した「ダイナミックパス型フォトニックネットワーク」という新概念を具現化するため、基本アーキテクチャの提案、光バーストスイッチによる実現技術の研究、シミュレーションによる性能の解明、伝送速度 10Gbps の光ノードシステムの設計とその試作、試作システムによるネットワーク実験などについて多面的な研究を行った。

これらの研究は、NICT (情報通信研究機構) の受託研究費「トータル光通信の研究開発」(平成9年度～平成17年度)による成果であることから、平成17年12月にはNICT けいはんなオープンラボにおける東京・大阪間 650km に相当する光ファイバ施設を用いて実証実験を行った。研究してきた一連の技術が集大成され、成功裏に実証実験を行うことができた。また、平成17年度末の受託研究終了時点において、外部評価委員会による終了時評価が行われ、研究実績は最高ランクの評価点を得た。

引き続き、光ノードシステムの方式構成、要素技術の改善などの研究を進める一方、これとは別に「超多波長フォトニックネットワーク」という新たな提案を行い、その実現性について研究し、その可能性を見出しつつある。

(2) 光信号処理

・光3R信号再生

光3R (Reshaping, Retiming, Regenerating) 機能は、全光通信を行う上でのキーとなる要素技術である。40～160Gbps の高速光信号を対象とする光3R信号再生回路における入力タイミング許容範囲を拡大する設計法について研究してきた。理論的検討と共

に、42Gbps 信号再生について具体的な特性を評価してタイミング許容性能や出力信号波形の劣化可能性要因とそれを回避する設計法を、世界で初めて示した。

・超広帯域波長変換

光ファイバが低損失である 1.2~1.65 μm の波長域 (約 70THz の周波数帯域に相当) をフルに利用して、数 1,000 波長の超多波長による適応力の大きいフォトニックネットワークを実現するためには、超広帯域波長変換がキー技術となることに着眼して、この研究を平成 16 年頃から開始した。光デバイス技術としては、当初はフォトニック結晶ファイバによる四光波混合を利用する研究を進めたが、広帯域波長変換の可能性は小さいことが判明したため、SOA (Semiconductor Optical Amplifier、半導体光増幅器) の非線形性を用いる方法で、将来の集積回路化が可能で、低コスト・拡張性を有する新しい概念の波長変換回路の基本方式を明らかにした。

具体的に実験回路を製作して、1360nm~1670nm にわたる 300nm 程度の波長域において任意に波長変換が可能なることを、実験的に明らかにした。このような広帯域の波長変換は世界で初めてであり、光通信分野で最も権威ある国際会議である ECOC2005 および OFC2006 においてそれぞれ Post Deadline 論文として採択され、高い評価を得た。

さらに、この技術を発展させて、波長変換と共に複数の波長への分岐機能を持たせられることを見出した。この技術は、マルチキャストネットワークへの応用が期待できるものであり、その実現性を 2.5Gbps 4 分岐系の実験によって明らかにした。

・光波長・パルス幅変換

次世代フォトニック情報通信に不可欠な光回路として、波長変換と波形整形を同時に実現する光信号処理について、半導体光増幅器を用いて実現した。1,550nm 帯にて 15nm の波長変換を伴う 10Gbps の伝送信号パルス幅変換を同時に行う、波長・パルス幅変換が可能であることを実験的に明らかにした。この波長・パルス幅変換回路は、上記のダイナミックパス型フォトニックネットワークを高度化して行く上で期待できる要素技術となりうる。

・広帯域白色光源

超多波長の波長多重伝送や超多波長ネットワークを実現する上で、安定な多波長光源が不可欠となる。多波長を一括生成する技術としてスーパーコンティニュームを用いる方法が有望であるが、我々は通常の光ファイバを用いて、光ファイバラマン増幅におけるソリトン圧縮過程で生じるスーパーコンティニューム光発生に着目して研究してきた。現在までに、簡便な構成で 100GHz 間隔の 20 チャンネルを超える多波長の 10Gbps パルス光源が得られることを実証している。このスーパーコンティニューム光は、我々が提案している超多波長フォトニックネットワークを実現する上で重要な技術であることから、さらに波長数拡大について研究を進めている。

(3) ROF システム

ワイヤレス移動通信のブロードバンド化にともない、1つの基地局でのカバーエリアの縮小化が進み、基地局数が増大することから、基地局の低コスト化と保守の簡易化が必要になる。我々はこの解決策として、センター局と基地局を光ファイバによって接続

し高周波無線信号を直接伝送する ROF (Radio on Fiber) 技術を用いて構成を単純にすると共に、同一光ファイバを用いた光電力伝送によって基地局に必要なエネルギーを供給する構成を考案し、さらに光電力伝送の光波長を ROF 信号の光波長より約 100nm 短波長側に選ぶことによって光ラマン効果による ROF 光信号の減衰を軽減または増幅することを試みた。

平成 16 年度には、これらの技術を適用した ROF システムの基本動作を 2.4GHz 帯で実験し、その効果を見極めた。光電力伝送については、それまでの実験では最大 15mW の電力を取り出していたが、大電力用 PD(フォトダイオード)の適用などにより 26.5mW の電力を得ることができた。さらに、光変調器、フォトダイオードのインピーダンス整合による特性改善、低消費電力設計の前置増幅器などによって、システムとしての実現可能性を明らかにすることができた。

実環境に適用するには、さらに 15dB 程度の CN 比の改善が必要であることから、平成 17 年度からは、ヘテロダイン技術を適用して性能改善を図る研究を行っている。

(4) ディペンダブルネットワーク

現在は、情報通信環境の激変期にあり、通信事業者が提供する実際のネットワークは、NGN (Next Generation Networks) と呼ばれる、インターネットの packets 通信技術を基本とする統合的なネットワーク基盤の開発に向かっている。しかし、基本的にインターネットが有する脆弱性の解消や、安心・安全を保證する高度なネットワークサービスを実現する上では不十分であり、新たなネットワーク概念の創出と、それを実現するための研究が必要であり、そのような新規の大テーマとして「ディペンダブルネットワーク」という概念を提案して、具体的な研究課題の明確化を行ってきた。

これらの検討結果は、国際会議や国内の研究会などでの発表と共に、政府の研究開発戦略として政府の重点研究課題とすべく提案をしている。

4. 研究成果の公表実績 (主催した研究会、研究成果の発信状況等)

(1) 研究発表会の開催

研究ステーションの学内研究発表会を毎年行い、構成員および関係する大学院生の発表を行っている。平成 18 年度は、3 月 13 日に開催し、12 件の発表があった。

(2) 国際会議の開催

・国際シンポジウム ISPAN2006

International Symposium on Photonics and Advanced Networks (ISPAN 2006) を、平成 18 年 1 月 10 日に電通大において開催した。海外からの招待講演者 3 名および他大学等の外部からの発表を含めて 13 件の講演および 21 件のポスター発表が行われた。

・日中韓国際シンポジウム AICT2006

International Symposium on Advanced Information and Communication Technology (AICT2006)が、平成 17 年 8 月 8 日に、電通大、北京郵電大、韓国情報通信大の交流事業として電通大にて開催されたが、その時に光通信およびネットワークのセッシ

ョンを組織化すると共に、見学会においてフォトニックネットワーク、ROF システムおよび光信号処理の研究状況を参加者に公開した。

(3) 国際会議 iPOP2006 での公開実験

平成 18 年 6 月 22～23 日に、明治記念館で開催された iPOP2006 (International Conference on IP Optical Networks) に併設された展示会にて、上記の「フォトニックネットワーク」の公開実験を行った。2 日間に多数の国内外参加者が見学し、電通大の研究成果をアピールすることが出来た。

(4) 報道発表

ISPAN2006 の開催にあわせて、「フォトニックネットワーク」の研究成果を報道発表を行った結果、日刊工業新聞からの取材があり、翌日平成 18 年 1 月 11 日の紙面で研究成果が報道された。

(5) NICT けいはんなオープンラボ実証実験の公開

平成 17 年 12 月 1 日～16 日において、NICT けいはんなオープンラボにおいて、プロジェクトの他組織である沖電気、日本電気、大阪大学と共に電通大の研究成果である「ダイナミックパス型フォトニックネットワーク」の実験を公開し、非常に好評であった。

5. 外部資金の獲得状況

(1) 受託研究

- ・情報通信研究機構 (NICT) 受託研究「トータル光通信技術の研究開発」

平成 14 年度：2,692 万円

平成 15 年度：2,590 万円

平成 16 年度：2,610 万円

平成 17 年度：2,900 万円

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 受託研究

「超低エネルギー・超高速光蓄積デバイス技術の研究開発」

平成 17 年度：1,894 万円

平成 18 年度：1,600 万円

平成 19 年度：1,500 万円

- ・科学技術振興機構 (JST) 受託研究「画像版ドルビー方式カメラシステムの開発」

平成 18 年度：200 万円

- ・科学技術振興機構 (JST) 受託研究「高 S/N・高精細カメラシステムの開発」

平成 17 年度：200 万円

(2) 科研費

平成 14 年度：「基盤研究 A (三木)」 1,400 万円

平成 14 年度：「基盤研究 B (三木)」 890 万円

平成 14 年度：「基盤研究 C (河野)」 70 万円

平成 15 年度：「基盤研究 B (三木)」 560 万円

平成 15 年度：「基盤研究 B (上野)」 780 万円

平成 15 年度：「基盤研究 C (西)」 100 万円
平成 16 年度：「基盤研究 B (三木)」 980 万円
平成 16 年度：「基盤研究 C (來往)」 260 万円
平成 16 年度：「基盤研究 B (上野)」 180 万円
平成 16 年度：「基盤研究 C (西)」 100 万円
平成 17 年度：「基盤研究 B (三木)」 520 万円
平成 17 年度：「基盤研究 C (來往)」 110 万円
平成 17 年度：「基盤研究 B (上野)」 90 万円
平成 17 年度：「基盤研究 C (西)」 30 万円
平成 18 年度：「基盤研究 C (來往)」 220 万円
平成 19 年度：「基盤研究 B (三木)」 960 万円
平成 19 年度：「基盤研究 C (來往)」 100 万円
平成 19 年度：「基盤研究 C (西)」 328 万円

(3) 共同研究

平成 14 年度：1,020 万円 (三木・來往)
平成 14 年度：121 万円 (上野)
平成 14 年度：40 万円 (西)
平成 15 年度：735 万円 (三木・來往)
平成 15 年度：80 万円 (西)
平成 16 年度：430 万円 (三木・來往)
平成 16 年度：180 万円 (上野)
平成 16 年度：240 万円 (西)
平成 17 年度：30 万円 (三木・來往)
平成 17 年度：100 万円 (上野)
平成 17 年度：220 万円 (西)
平成 18 年度：200 万円 (三木・來往)
平成 18 年度：100 万円 (三木・來往)

(4) 競争的研究資金

・戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE)

「マイクロセル・ホットスポット用光ファイバ無電源中継システムの研究」

平成 15 年度：1546 万円
平成 16 年度：1424 万円

6. 代表的なピアレビュー論文発表、学会プレナリ、招待講演発表、特許出願、受賞等

- [1] L. R. Nunes, D. Santoso, S. Sugawara, N. Kishi, and T. Miki, “A nation-wide photonic network architecture with dynamic bandwidth allocation for packet-based next generation networks,” IEICE Trans. Commun., vol. E-86-B, pp. 1031-1039, 2003.

- [2] 勝村和重, 西一樹, “連続 Kalman フィルタ解析に基づく調波抽出デジタルフィルタの設計,” 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J86-A, no. 7, pp. 801-805, July 2003.
- [3] M. Matsuura, and N. Kishi, “Continuum spectrum generation utilizing adiabatic Raman compression for multi-wavelength pulse source,” Opt. Expr., vol. 11, pp. 1856-1861, 2003.
- [4] K. Nishi, “Optimum Filter Theory for Quasi-Periodic Signals,” Electron. and Commun. in Japan, Part 3, vol. 86, no. 9, pp. 43-53, Sep. 2003.
- [5] T. Miki, K. Kawano, N. Nakajima, N. Kishi, M. Miyamoto, and T. Aoki, “Novel radio on fiber access eliminating electric power supply at base station,” OECC 2003, pp. 611-612, Shanghai, China, 2003.
- [6] B. Hong, K. Kawano, “The organic dye-doped thin films for wavelength conversion and their effects on the photovoltaic characteristics of CdS/CdTe solar cell,” Jpn. J. of Appl. Phys., vol. 43, pp. 1421-1426, Apr. 2004.
- [7] K. Nishi, “Generalized Comb Function: A New Self-Fourier Function,” IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 573-576, May 2004.
- [8] 中山健, 長田滋, 森本健一, 河野勝泰, 中嶋信生, 來住直人, 三木哲也, “ROF 伝送による無電源基地局の上り伝送特性の改善,” 2005 年電子情報通信学会総合大会, B-5-175, 2005 年 3 月
- [9] 中嶋信生, 三井宗, 長田滋, 森本健一, 川野晴子, 中山 健, 三木哲也, 河野勝泰, 來住直人, “電源を不要とする ROF 型無線エントランス方式の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2004-411, 2005 年 3 月
- [10] M. Matsuura, N. Kishi, and T. Miki, “Widely pulsewidth-tunable multiwavelength synchronized pulse generation utilizing a single SOA-based delayed interferometric switch,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 17, no. 4, pp. 902-904, Apr. 2005.
- [11] N. Nakajima, “ROF Technologies Applied for Cellular and Wireless Systems (Invited),” MWP 2005, pp. 11-14, Oct. 2005.
- [12] T. Hikita, T. Sado and K. Kawano, “Photoluminescence characteristics of rare earth ion-implanted SiO₂/Si,” J. of Alloys and Compounds, vol. 408-412, pp. 886-889, Feb. 2006.
- [13] T. Miki, M. Matsuura, and N. Kishi, “Photonic Burst Switching Network System and its Experiment,” IWMST 2006, pp. 394-397, 2006.
- [14] R. Suzuki, T. Ohira, J. Sakaguchi, and Y. Ueno, “40-GHz mode-locked pulse generation with a new scheme of SOA-based pulse generation,” CLEO/QELS 2006, CMG5, May 2006.
- [15] Y. Ueno, M. Toyoda, R. Suzuki, and Y. Nagasue, “Modeling of the polarization discriminating-symmetric-Mach-Zehnder-type optical-3R gate scheme and its available degree of random-amplitude-noise suppression,” Opt. Expr., vol. 14, no. 1, pp. 348-360, Jan. 2006.

- [16] M. Matsuura, N. Kishi, and T. Miki, "All-optical wavelength conversion with large wavelength hopping by utilizing multistage cascaded SOA-based wavelength converters," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, pp. 926-928, 2006.
- [17] M. Matsuura, N. Kishi, and T. Miki, "All-optical regenerative multicasting from 1.55-um to 1.3-um wavelength window using dual-stage cascaded SOA-based wavelength converter," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, pp. 2659-2661, 2006.
- [18] Y. Ueno, R. Nakamoto, J. Sakaguchi, and R. Suzuki, "Optical-spectrum-synthesizer design within an all-optical semiconductor gate to reduce waveform distortion induced by carrier-cooling relaxation at sub-Terahertz frequencies," *Opt. Expr.*, vol. 14, no. 26, pp. 12655-12664, Dec 25, 2006.
- [19] M. Matsuura, N. Kishi, and T. Miki, "Ultrawideband wavelength conversion using cascaded SOA-based wavelength converters (Invited for OFC 2006 Special Section)," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 25, pp. 38-45, 2007.
- [20] M. Matsuura, N. Kishi, and T. Miki, "Broadband regenerative wavelength conversion and multicasting using triple-stage SOA-based wavelength converter," *Opt. Lett.*, vol. 32, pp. 1026-1028, 2007.