

再構成可能なインフラのためのスケーラブル・フレキシブル光通信技術の研究開発 (SAFARI) Scalable And Flexible optical Architecture for Reconfigurable Infrastructure (SAFARI)

研究代表者

宮本 裕 日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所
Yutaka Miyamoto NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation

研究分担者

水野 隆之[†] 田中 貴章[†] 小林 孝行[†] 乾 哲郎[†] 芝原 光樹[†] 磯田 暁[†] 濱岡 福太郎[†] 小野 浩孝[†] 平野 章[†]
木坂 由明[†] 西沢 秀樹[†] 愛川 和彦^{††} 竹永 勝宏^{††} 佐々木 雄佑^{††} 安間 淑通^{††} 斉藤 翔太^{††}

Takayuki Mizuno[†] Takafumi Tanaka[†] Takayuki Kobayashi[†] Tetsuro Inui[†] Kohki Shibahara[†]
Akira Isoda[†] Fukutaro Hamaoka[†] Hiroataka Ono[†] Akira Hirano[†] Yoshiaki Kisaka[†] Hideki Nishizawa[†]
Kazuhiko Aikawa^{††} Katsuhiko Takenaga^{††} Yusuke Sasaki^{††} Yoshimichi Amma^{††} Shota Saitoh^{††}

[†]日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所 ^{††}株式会社フジクラ 先端技術総合研究所
[†]NTT Corporation, ^{††}Fujikura Ltd.

研究期間 平成 26 年度～平成 29 年度

概要

SAFARI プロジェクトでは、現在の光ネットワークの約 100 倍以上の伝送容量となる 1 Pbit/s 以上、伝送距離 1,000 km 以上の柔軟な拡張性をもつ大容量光コアネットワークの実現に向け、マルチコアファイバ (MCF) に対応可能な各要素技術とそのネットワーク資源を柔軟に活用するための適応制御技術の研究開発を確立する。さらに、要素技術を連携させた日欧連携テストベッドにおいて、トラヒックエンジニアリング等のネットワーク制御実験によりその有用性を実証する。

1. まえがき

クラウドコンピューティングの進展や次世代モバイル通信等によるネットワーク利用拡大に向け、光トランスポートネットワークの大容量化と柔軟性の両立が期待されている。著しいトラヒック増加に対処でき柔軟性のある新たな光トランスポートネットワーク技術の実現や、基盤技術のグローバルな合意に向けた標準化活動が必要となる。

2. 研究開発内容及び成果

SAFARI プロジェクト (以下 SAFARI) は、将来の通信トラヒック需要を支える大容量光ネットワークのスケーラビリティと柔軟性を実現するためのプログラマブル光送受信技術とマルチコア空間多重光通信技術を確立し、その連携制御基盤技術を実証することを目的としている。

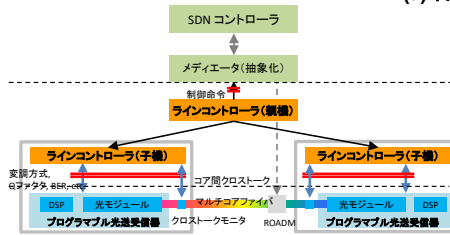
そこで、NTT とデンマーク工科大学がそれぞれ日本と欧州の共同幹事社となり、本分野の異なる技術領域での強みを有した日本 2 機関、欧州 3 機関の産学連携の国際連携パートナーシップ (日本: NTT、フジクラ、EU: デンマーク工科大、サウサンプトン大、コリアント社) を構築し、緊密に連携し以下の 3 つの要素技術の研究開発を行った。

ア) プログラム制御可能な光ハードウェアの研究開発
超 400 Gbps/チャネルにおいて空間多重光通信技術を見据えた、様々なプログラマブル機能の有効性を明確化する。
イ) 超大容量光トランスポートネットワークの研究開発
シングルモードマルチコアファイバを用いた空間多重通信方式により、既存のシングルモードファイバ(SMF)システムの 30 倍以上の大容量化基盤技術を確立する。
ウ) スケーラブル光ネットワークテストベッドの研究開発
既存システムから、将来の空間多重光通信システムへのスケールアップを可能とする光トランスポートハードウェア制御技術を確立する。

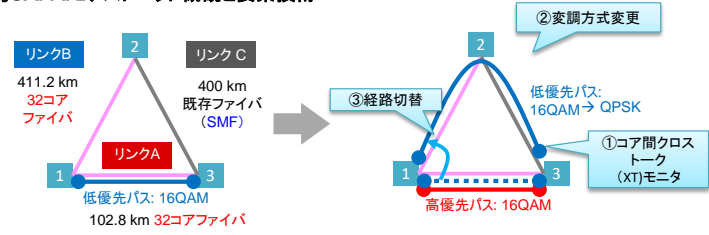
特に、日本 2 機関については、要素技術ア) に関し、NTT は、マルチコアファイバを用いた NW のユースケース、およびそれに基づいて光送受信回路をプログラマブルに制御するためのインタフェースを確立し、実装を完了した。また、LO/L1 レイヤの物理パラメータに応じて波長数および変調方式を変更するためのプログラマビリティ制御機能を搭載したリアルタイム光送受信回路を設計・作製した。要素技術イ) について、フジクラは、30 コア以上のマルチコアファイバを設計、試作し、長距離大容量伝送可能な長尺 32 コアファイバを開発するとともに、入出力デバイスの検討や融着接続技術の開発を実施した。さらに、カメラを用いたコア間クロストークの複数コア同時測定技術を開発し、測定時間を 1/6 ~ 1/8 に低減可能なことを示した。一方 NTT は、インサービスのコア間クロストークモニタ方式を提案し、32 コアファイバと 32 コア光増幅器から成る光増幅中継伝送系において、リアルタイムでモニタできることを実証した。さらに、長尺の 32 コア高密度マルチコアファイバを用いて、コア間クロストークを低減した高密度空間多重光伝送路を構築し、到達目標である 1,000 km 級の長距離伝送および、1 Pbit/s 容量で、従来の半分の帯域 (C 帯のみ) で従来の 2 倍以上の 200 km 以上の光増幅中継伝送が可能であることを実証した。図 1 に、最終年度に欧州コリアント社研究所に構築した Pbit/s 級空間多重日欧連携テストベッドを用いたネットワーク制御実験の概要を示す。要素技術ウ) に関し、最終年度に各機関の要素技術を結集・構成したテストベッド (SAFARI テストベッド) を欧州に構築し、既存の SMF を用いたシステムから将来の MCF を含む空間多重光通信システムへの柔軟な移行、並びに、将来の Pbit/s 級光ネットワークにおける高速光チャネル適応変調制御等を実現する複数のユースケースの実現性を実証した。



(a) 日欧連携SAFARIテストベッド概観と要素技術



(b) 機能拡張SDN制御プラットフォーム



(c) テストベッド実証シナリオ

図1 日欧連携SAFARIテストベッドの概要:(a)32コアファイバ光増幅中継伝送路、コア間クロストークモニタ、プログラマブル光送受信回路、SMF用3方路商用ROADMノード等から構成されたテストベッド概観(b)空間多重光通信に適した機能拡張SDN制御プラットフォーム(c)チャンネル容量可変400 Gbit/s級光パス制御動作のテストベッド実証シナリオ

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

各要素技術は、さらなる発展が期待できる分野であり、主要な国内外の学術会議において、引き続き今後の発展を牽引していく。プログラム制御可能な光ハードウェア技術に関しては、ONF等において、欧州パートナーとも情報交換を行い、仲間づくりを推進しつつ標準化活動を推進する。超大容量光トランスポートネットワーク技術については、ITU-Tにおいて、欧州キャリア・ベンダとも情報交換をしつつ、標準化活動を推進予定である。さらに、データセンタ・光ノード装置内配線等応用を見据え、IEC等において、本PJでの知見をもとに、既存光ファイバと同じクラッド外径(125 μm)の4～5コア光ファイバ、光コネクタの標準化を推進する。

4. むすび

SAFARIプロジェクトでは、日本2機関・欧州3機関の緊密な連携の下、将来の通信トラヒック需要を支える大容量光ネットワークのスケラビリティと柔軟性を実現するためのプログラマブル光送受信技術とシングルモードマルチコア高密度空間多重を用いた超大容量光トランスポートネットワーク技術を確立した。また、各要素技術を連携させた日欧連携テストベッドを構築し、空間多重光通信に適した機能拡張SDN制御プラットフォームの有効性を具体的なユースケースで実証した。

【誌上発表リスト】

- [1]S. Matsuo, et al., “High-Spatial-Multiplicity Multicore Fibers for Future Dense Space-Division-Multiplexing Systems,” IEEE J. of Lightwave Technol. (Invited), vol.34 issue6 pp1464-1475 2016. (2015年12月17日)
- [2]T. Mizuno, et al., “32-core Dense SDM Unidirectional Transmission of PDM-16QAM Signals Over 1600 km Using Crosstalk-managed Single-mode Heterogeneous Multicore Transmission Line,” Proc. OFC 2016, Postdeadline Papers, Th5C.3, 2016. (2016年3月24日)
- [3]K. Pulverer, et al., “First Demonstration of Single-Mode MCF Transport Network with Crosstalk-Aware In-Service Optical Channel Control,” Proc.

ECOC 2017, Post-deadline paper Th.PDP.B.5. (2017年9月21日)

【申請特許リスト】

- [1]安間淑通、他、マルチコアファイバ、日本、平成27年2月12日
- [2]高良秀彦、他、コア間クロストーク評価方法およびシステム、日本、平成27年7月14日
- [3]竹永勝宏、他、FAN-IN/FAN-OUT DEVICE、英国、平成29年8月3日

【登録特許リスト】

- [1]高良秀彦、他、コア間クロストーク評価方法およびシステム、日本、平成27年7月14日、平成28年8月12日、特許第5986272号
- [2]安間淑通、他、マルチコアファイバ、日本、平成27年2月12日、平成28年12月2日、特許第6050847号

【国際標準提案リスト】

- [1]NTT, et al., “Proposal to start discussions on space division multiplexing (SDM) technologies,” ITU-T SG15 Contribution COM 15-C 1564, 2016年2月17日
- [2]T. Inui, et al., “Scalable And Flexible optical Architecture for Reconfigurable Infrastructure (SAFARI),” ONF Member Workday, Santa Clara, 2016年3月2日

【参加国際標準会議リスト】

- [1]ONF Member Workday, Santa Clara, 2015年2月
- [2]ITU-T SG-15, Geneva, 2016年2月
- [3]ONF Member Workday, Santa Clara, 2016年3月

【受賞リスト】

- [1]T. Inui, ONF Outstanding Contributor Award, 2016年9月7日
- [2]デンマーク工科大学、サウザンプトン大学、株式会社フジクラ、Horizon Prize, 2016年11月9日
- [3]安間淑通、光通信システム研究会 奨励賞、2017年12月19日

【報道掲載リスト】

- [1]“NTTなど国際チーム、毎秒1ペタビット超の大容量データ、世界最長200km伝送”、日刊工業新聞、2017年3月24日
- [2]“NTTなど、最大容量データ、光通信で長距離伝送に成功”、日経産業新聞、2017年3月24日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1] <http://www.ict-safari.eu/>