

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年3月13日現在

データセントリック新世代光ネット

ワーキングの研究：Data-centric New Generation

Optical Networking

課題番号：26220905

佐藤 健一（KEN-ICHI SATO）

名古屋大学・工学研究科・教授



研究の概要

コヒーレント光通信技術の発展、2012年に勧告化されたフレキシブル光周波数グリッド技術、革新的な超大容量光ノード構成技術を有機的に統合し、周波数軸上の利用効率並びにフレキシビリティが最大限利用できる、新しいパラダイムのフォトニックネットワークを創出する。将来のネットワーク環境に適応したリンク、ノードの条件を導出し、その有効性を実証する。

研究分野：工学

キーワード：フォトニックネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年のハイパージャイアントコンテンツホルダの出現によるインターネットトラフィック交流状況の大きな変化、並びに SDN (Software Defined Network)の進展による光レイヤを含むネットワークのフレキシビリティの拡大要求に対応可能な、超大容量・低消費電力フォトニックネットワーク技術の開発が必要とされている。本研究では、デジタル信号処理技術の進展により実用化が可能となったコヒーレント光通信技術、従来の固定グリッドに代わり、2012年に勧告化 (ITU-T) されたフレキシブル光周波数グリッド技術、革新的な超大容量光ノード構成技術、空間多重技術を有機的に統合し、周波数軸上の利用効率並びにフレキシビリティを最大化する新しいパラダイムのフォトニックネットワークを創出する。

2. 研究の目的

本研究では従来ネットワークの課題を解決し、上記ネットワーク利用状況の変化に対応できる新たなネットワークの構築を目指し、(1)フォトニック技術の進展（コヒーレント技術、フレキシブルグリッドを用いたエラスティック光パス）を最大限に活かせるフレキシブル大容量光ネットワークアーキテクチャ、(2)光のままの多段ノードの転送並びに将来的にマルチコアファイバの利用を可能とする新たな光ノード/光部品構成、(3)それに適した高効率コヒーレント光伝達技術を開発する。

3. 研究の方法

下記の研究開発により、従来技術と比べ性

能指数を大幅に向上できるフォトニックネットワークを開発する。

(1) フレキシブル超大容量光ノード構成技術

a. 多ノード経路における光フィルタ機構による伝達特性劣化を最小化する新しい転送方式とノード構成を研究開発し、メトロ領域を含む最大20-40段の超高密度トランスペアレントな光ノード転送を実現。 b. 収容光ファイバ数100以上に拡大可能で、フレキシブルな add/drop を実現できる光ノードに必要なキーとなる各種光部品の研究開発を行なう。

(2) フレキシブルコヒーレント光伝送技術

a. コヒーレント光受信器を用いることにより、光フィルタを用いることなく、波長チャンネルを分離することができる。一方、Nyquist WDMを用いた方式では、特性が劣化する。これを改善する方式を検討する。 b. コヒーレント変復調方式における、大規模光波長スイッチにおけるクロストークの影響が緩和できる方式を、(1)と併せて検討する。 c. フレキシブルグリッドに対応する送信レーザ、局発用レーザの波長を安定化し、周波数利用効率を向上させるための必要技術を開発する。

(3) エラスティック光パスネットワーク技術

多様な光チャンネルを、自在に光周波数軸上に収容するエラスティック光ネットワークにおいて、光パスの物理的収容条件に応じて、転送距離と周波数利用効率を最適化するネットワーク方式を開拓する。また、光周

数軸に加え、時間軸、空間軸などの多次元の自由度を駆使したハイパーチャネル等の新しいコンセプトに基づく光ネットワークアーキテクチャと実現技術を考案し、有効性を検証する。

#### 4. これまでの成果

(1)フレキシブル超大容量光ノード構成技術に関しては、光パスをバンドルしてルーティングし、一方 add/drop においては波長毎に処理する GRE(Grouped Routing Entity)を用いた方式、並びに波長毎並びにバンドルでのルーティングを併用する VDR (Virtual Direct Routing)により、多ノード経路における光フィルタ機構による伝達特性劣化を最小化することに成功した。また、大規模ノードの開発に関しては、各種の新しい構成を考案することにより、増設性に優れた経済的に大規模化が可能なノード構成を明らかにするとともに、各種の要素光部品（超小型チューナブル光フィルタ、低ロス集積化波長ルーティング部等）を開発した。

(2)フレキシブルコヒーレント光伝送技術に関しては、従来のコヒーレント伝送では不要であったが、周波数利用効率の高い Nyquist WDM (132-channel 32-Gbaud DP-QPSK or DP-16QAM) 信号においても劣化の無い伝送を可能とする波長可変フィルタを新たに開発した。また、コヒーレント変復調方式における、大規模光波長スイッチにおけるクロストークは、(1)で開発した新たなノード構成で解決できることがわかった。さらに、コヒーレント伝送における特性向上に関し、新たにレーザのスペクトル線幅を計測する技術を開発した（特許出願中）。

(3) エラスティック光パスネットワークング技術に関しては、多次元の自由度を駆使したフレキシブルネットワークアーキテクチャとノードアーキテクチャについてチャンネル割り当て、リソース最適化、デフラグメンテーション、IP/オプティカルレイヤの最適化、仮想化などの面からのメリットと課題を明らかにした。また、各種 SDM ファイバに共通して対応可能な集積化波長選択スイッチ (WSS) アーキテクチャを考案し、特許出願を行った。本アーキテクチャに基づく WSS は、LCoS の分割とジョイントスイッチングの2つの機構により、波長多重された空間スーパーチャネルを経済的にスイッチングすることが可能になる。考案した WSS について基本機能ブロックの第一次試作品の性能評価を行っている。

#### 5. 今後の計画

課題(1)(2)に関してはこれ迄に得られた成果を基に 29 年度からは、さらに詳細なシステムの機能検証を行い、各種の伝送実験により提案方式のフィージビリティを評価する。また、最近重要性を増してきているデータセンタ間の効率的なネットワークングの実現

も目指す。(3)に関してはこれまでの試作で得られた結果を分析し、更なる特性向上を図る。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

1. Kosuke Sato, Yojiro Mori, Hiroshi Hasegawa, and Ken-ichi Sato, "Algorithm for raising OXC port count to meet traffic growth at minimum-cost," IEEE/OSA J. Optical Commun. Network, JOCN, Vol. 9, Issue 2, A263-A270 (2017).
2. Koh Ueda, Yojiro Mori, Hiroshi Hasegawa, and Ken-ichi Sato, "Large-scale optical switch utilizing multistage cyclic Arrayed-Waveguide Gratings for intra-datacenter interconnection," IEEE Photonics Journal, Volume: 9, Issue: 1, Article Sequence Number: 7800412, Feb. 2017.
3. M. Niwa Y. Mori, H. Hasegawa, and K. Sato, "Tipping point for the future scalable OXC: What size MxM WSS is needed?" IEEE/OSA J. Optical Commun. Network, JOCN, Vol. 9, Issue 1, A. 18-A.25 (2017).
4. Masahiko Jinno, Yutaka Mori, "Unified Architecture of an Integrated SDM-WSS Employing a PLC-Based Spatial Beam Transformer Array for Various Types of SDM Fibers," IEEE/OSA J. Optical Commun. Network, vol. 9, issue 2, pp. A198-A206, 2017.
5. Kosuke Sato, H. Hasegawa, and K. Sato, "Disruption-Free Expansion of Protected Optical Path Networks that Utilize Subsystem Modular OXC Nodes," IEEE/OSA J. Optical Commun. Network, JOCN, VOL.8, NO.7, JULY 2016, pp 476-485.
6. Koh Ueda, Yojiro Mori, Hiroshi Hasegawa, Ken-ichi Sato, and Toshio Watanabe, "Large-scale and simple configuration optical switch enabled by asymmetric port-count sub-switches," IEEE Photonics Journal, Volume: 8, Issue: 2, April 2016, Article #: 0601610.
7. Masaki Niwa, Y. Mori, H. Hasegawa, and K. Sato, "Novel optical-node architecture utilizing asymmetric-multiport wavelength selective switches," IEEE Photonics Journal, Volume: 8, Issue: 2, April 2016, Article #: 0601210.

ホームページ等

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/satolab/index2.html> (名古屋大学)

<http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~jinno/project.html> (香川大学)