

## 1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

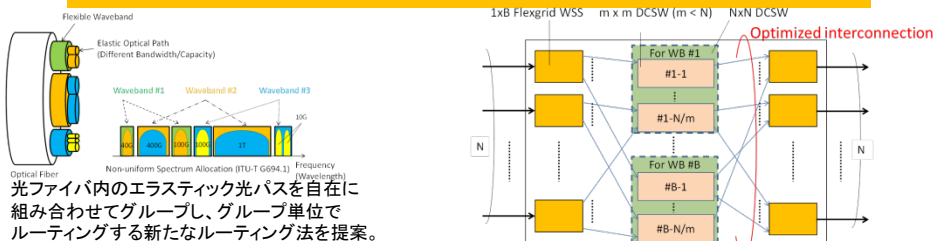
- ◆課題名 : 将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究
- ◆副題 : 階層化エラスティック光パスネットワークの研究開発
- ◆実施機関 : 名古屋大学
- ◆研究開発期間 : 平成26年3月1日～平成29年2月28日
- ◆研究開発予算 : 32.5百万円

## 2. 研究開発の目標

エラスティック光パスを自在に組み合わせてグループ化してルーティングする、フレキシブル波長群ルーティングの提案とそのノードアーキテクチャを提案し評価する。従来型の大規模ノードに迫るルーティング性能と、大幅なハードウェア量削減、優れた伝送特性とを実現する。

## 3. 研究開発の成果

### フレキシブル波長群ルーティング光ノードの提案と実証

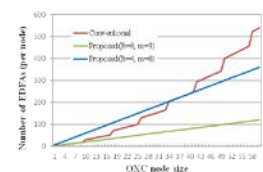


光ファイバ内のエラスティック光パスを自在に組み合わせてグループし、グループ単位でルーティングする新たなルーティング法を提案。

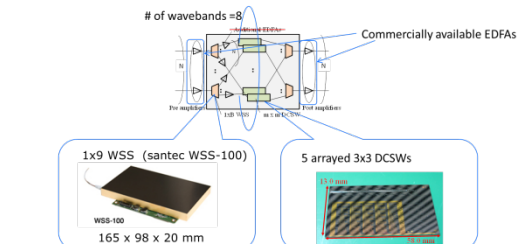
フレキシブル波長群ルーティングを実現するノードアーキテクチャを提案。波長選択スイッチと光スイッチによる多段スイッチ構成を取り、各スイッチの次数を極力小さいものとする事でコストとコンパクトさを追求。

- Parameters: DCSW scale = 3x3, # of wavebands = 8
- Prototype is developed by using 1x9 WSSs (used as 1x8), monolithically integrated DCSWs, and EDFAs.

波長選択スイッチ数とその次数を大幅に削減した。上記は7x7正方形ネットワークでの例で有り、最大80%の削減を実現している。



ノードには不可欠な光増幅器が従来ノードで多数必要であること、かつ提案ノードでは大幅に削減できることを示した。



数値シミュレーションにより得られたパラメータに基づき、プロトタイプを作成。多段ノード通過時の特性を測定し、パワーペナルティが小さいことを示した。

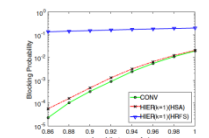
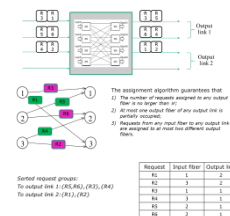
### 波長群数最小化と動的パス制御条件下での性能評価

Create the routing matrix  $\delta$  from the output of the RWA algorithm  
 1: Bypass between a port pair; Add/Drop at a single port  
 0: Occupied by an Add/Drop at either ports; Occupied by a bypass through the port x; Don't care

Node 1	Node 2	Node 3	Node 4
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0



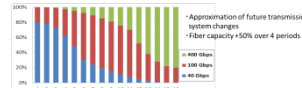
ネットワーク内の光パスの波長・経路を最適化しつつ波長群の必要数を最小化する問題を解決。厳密解を求める整数線形計画法に基づく手法と、計算量に優れた準最適解を導く発見的手法とを開発。



光ノードの動的パス制御条件下における性能を解析的・数値的に評価。適切な制御アルゴリズムを用いることで、従来型ノードに遜色ない性能を発揮することを実証。

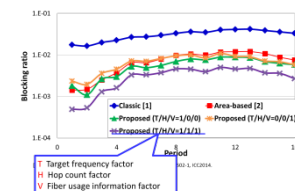
### 光パス容量アップグレード手法の開発

- Bitrate request
  - 3 bitrate signals: 40 Gbps, 100 Gbps, 400 Gbps
  - Slot width allocation for each bitrate signal: 3/4/7/1
  - [31] D. General et al., IEEE Commun. Mag. 31(2), 2013.
  - Connection demand ratios in different periods:
    - Approximation of future transmission system changes
    - Fiber capacity +50% over 4 periods



- Comparison
  - Classic RSA [40]: Assign shortest route and first-fit slot index.
  - Area-based RSA [41]: Try to assign the same bitrate signals to specific areas.

[31] Takagi et al., Ws.05, ECOC2010. [38] S. Sudaoka et al., OPO10.3, EC2014.



共同研究をサポートするための追加的課題を検討。中長期的に重要となる光パス容量のアップグレードについて、異なる占有帯域を持つ光パスを区別し、占有帯域幅毎に目標周波数をもうけて極力その周辺に対応する光パスを配置する新たなネットワーク設計制御手法を開発。ブロッキング率を大幅に削減。

#### 4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究	0 (0)	0 (0)	2 (0)	13 (4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

##### (1) 現実的かつコンパクトなハードウェアでの実現を追求

エラスティック光パスをルーティングする光ノード装置として不可欠な波長選択スイッチを限界まで削減しながら、新たに導入する光スイッチを極めてコンパクトかつ集積可能なサイズにまで抑制し、更に残る主要ハードウェアである光増幅器までも大幅に削減した。数値シミュレーションや解析的手法に基づく性能評価と、プロトタイプ開発とを連携させ、現実的かつコンパクトなノードアーキテクチャを追求した。

##### (2) 定期的なディスカッション・プレゼンテーションで国際連携を推進

第一回PIミーティング: 2014/6/25, 米国 UC Davis  
 第二回PIミーティング: 2015/10/28, 東京 =>米国側PI名古屋大学訪問  
 第三回PIミーティング: 2016/12/8, 米国 George Washington University (Foggy Bottom Campus)

インターネット経由での会議及び国際会議での打ち合わせの実施  
 日本側PIの米国側博士学位審査への参加: 2016/7/8

#### 5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 本課題では、異なる機能を持つ波長選択スイッチ・光スイッチとを組み合わせた場合に、高機能な波長選択スイッチで構成された高価な光クロスコネクとほぼ遜色ない性能を発揮できることを示している。光増幅器の必要数まで含めた解析により、本課題ではすでに光クロスコネクノードの効率の良い実現の可能性を示しているといえる。
- 国際会議及び雑誌論文を中心とした学会発表により、当課題実施により得られた知見やそれを活かし発展させた成果について広く周知を図る予定である。米国側とも継続的な連携を行い、今後も発展的な成果を得ていきたい。