

平成 28 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 16804

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

個別課題名 :

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

(1) 研究開発の目的

研究開発の背景および設定課題

21 世紀初頭からのネットワーク上の通信量の急速な伸び(先進国にて +30-40%/年)に対応する為、光ファイバ内の波長多重信号を光のまま直接経路制御することにより、経路ノードでの電気処理を省略し、低消費電力と大容量の通信を実現するフォトニックネットワークが現在導入されつつある。現在のフォトニックネットワークでは、通信需要量に応じて適宜 2 地点間を接続する光パスを設立する。各光パスには ITU-T で標準化された 25/50/100GHz 間隔の波長(周波数)の集合の中から適切なものが割り当てられることから(図 1 (a))、この光パスは波長パスとも呼ばれる。現在、波長パスの容量は 10/40/100Gbps であり、光ファイバ中に 50GHz 間隔に数十波(80-100 波程度)が多重されるため、光ファイバあたり最大 10Tbps 程度の容量が実現可能となりつつある。

光ファイバの周波数資源の最大利用を目指し、各光パスに必要最小限の周波数帯域を割り当て可能とする「フレキシブルグリッド」が提唱され、昨年 ITU-T で標準化(ITU-T G694.1)されている。この規格では、光パスに割り当てる周波数帯域の指定にあたり、中心周波数を 6.25GHz の密なグリッドに配置し、割当帯域を 12.5GHz の倍数とする(図 1 (b))。光周波数直交多重や多値変調方式、デジタルシグナルプロセッサによるコヒーレント受信の導入等により、現在の 10/40/100Gbps の光パスが 50GHz よりも狭い帯域で収容可能になるばかりでなく、想定される必要帯域が 75-87.5GHz となる 400Gbps の大容量光パスを効率よく収容可能となる。実際、フレキシブルグリッドの標準化に伴い、我が国では昨年より NTT, NEC, 富士通により 400Gbps の開発が開始されている。また、光周波数直交多重のサブキャリア数や変調の多値数を変えることで、光パスの容量や使用する周波数帯域、さらには伝送可能距離までも自在に制御できるようになった。この自由度の高さに鑑み、これら光パスは「エラスティック光パス」とも呼ばれる。(以降では区別を明確にするため、固定グリッドネットワークの光パスを「波長パス」、フレキシブルグリッドを採用したネットワークを「エラスティック光パスネットワーク」、およびその光パスを「エラスティック光パス」と表記する。)

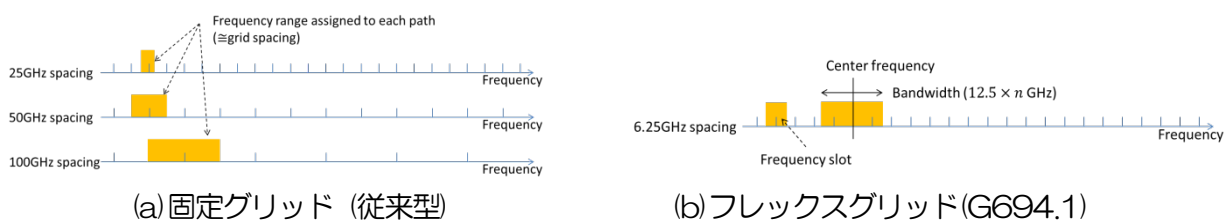


図 1 周波数割り当て法 (ITU-T にて標準化)

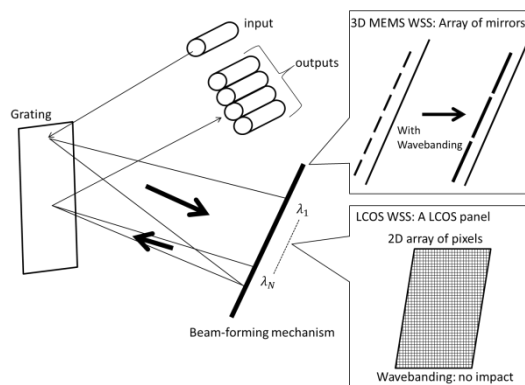


図 2 波長選択スイッチの動作の概念と波長群導入のインパクト

一方、ネットワーク全体での通信量の急速な伸びはネットワーク内の光パス数やそれを収容する光ファイバ数の増加に直結する。しかし、より多くの光ファイバを接続し、より多数の波長パスの経路制御が可能なフォトニックネットワークのノード装置を実現するには大きな困難が伴う。ノード装置の核となる光クロスコネクタは一般に、1 入力多出力の波長選択スイッチを相互に接続することで実現される。波長選択スイッチの標準的な出力数は 2, 4, 9 (最大 20 程度) であり、内部の空間光学系により、波長毎のビームを個別に振ることで適切な出力ポートに集光させる (図 2)。しかし、ビームを振る角度の微調整が波長・ポート毎に必要なこと、振る角度に限界があること、から出力ポート数を増やすことは原理的・製造面の観点から現実的でない。そこで、複数の波長選択スイッチを多段接続することで多ポートせざるを得ないが、このような構成では光クロスコネクタの入出力数が増大するにつれ、波長選択スイッチの必要数が飛躍的に増大する。例えば 1 入力 4 出力の波長選択スイッチで 4x4, 16x16, 64x64 の光クロスコネクタを実現することを考えると、それぞれ 8 (図 3(a)), 160 (図 3(b)), 2680 個が必要となる。更に、多段接続に伴う信号劣化が大きな課題となる。なお、より出力ポート数の多い波長選択スイッチを用いた場合でも、使用個数が急増するという傾向は変わらない。故に光クロスコネクタ部は波長選択スイッチの多段接続に依存してはならず、かつ波長選択スイッチ数が光クロスコネクタの入出力数に応じて線形に増加することが理想である。また、デバイスコストの観点からは、比較的输出ポート数の少ない波長選択スイッチのみで構成できることが望ましい。以上の要件を満たすノード装置のスケラブルなアーキテクチャ開発が必須と言える。

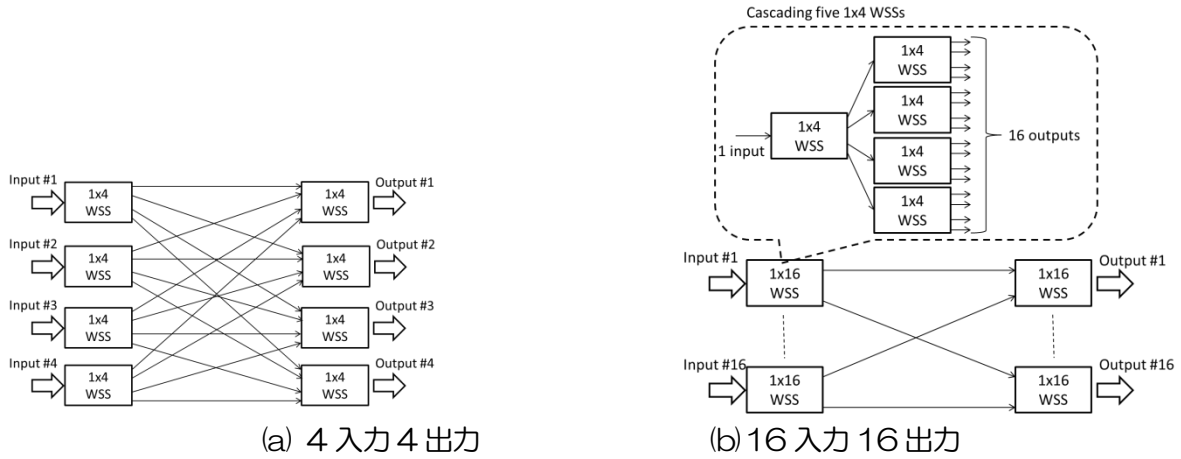
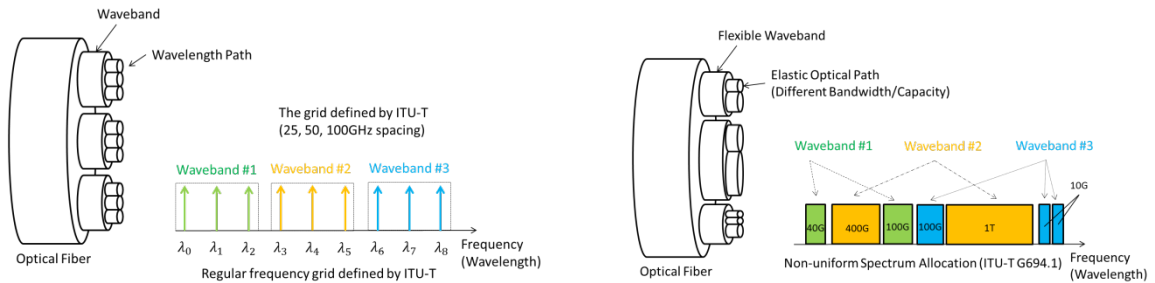


図3 光クロスコネクットの構成例

上記スケーラブルなアーキテクチャを実現し、将来の 400Gbps 以上の大容量光パスを効果的に導入する上では、エラスティック光パスのスイッチング方法を根本から見直す必要がある。後述する新たなノードアーキテクチャでは、エラスティック光パスに適したフレキシビリティを有する光パスの階層構造を新たに提案し、これに基づくハードウェア構成を導く。光パス階層構造や新たなハードウェアは、ネットワーク内の最適化を困難かつ一層重要なものとするため、本アーキテクチャに適合する最適化手法の開発は、ノードアーキテクチャ自体の開発と並び本質的な課題となる。また、伝送特性の評価により、提案ノードアーキテクチャの有効性を実証することは、それ自体の重要性に加え、研究全体のインパクトを高める上で必要となる。



(a) 固定グリッドネットワークにおける波長群

(b) 提案フレキシブル波長群

図4 光パス及び光ファイバの階層構造

(28-1)

(2) 研究開発期間

平成 25 年度から平成 29 年度 (4 年間)

(3) 実施機関

国立大学法人 名古屋大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 33 百万円 (平成 28 年度 5 百万円)

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究項目 : 大規模フォトニックノードアーキテクチャ開発

1. フレキシブル波長群を導入した多階層フォトニックノードアーキテクチャ (名古屋大学)

2. 光スイッチ規模を削減した多階層フォトニックノードアーキテクチャ (名古屋大学)

3. 伝送特性を考慮したネットワーク最適化 (名古屋大学)

4. 伝送実験による実証と測定値のフィードバック (名古屋大学)

研究項目 : 波長群パス最適化と動的制御手法の確立

1. 固定グリッドネットワークの動的制御環境下における最適波長群構成法 (名古屋大学)

2. フレキシブル波長群パスを導入したエラスティック光パスネットワークの動的制御 (名古屋大学)

(6) これまで得られた成果 (特許出願や論文発表等)

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	2	0
	その他研究発表	13	4
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(28-1)

(7) 具体的な実施内容と成果

大規模フォトニックノードアーキテクチャ開発

1. フレキシブル波長群を導入した多階層フォトニックノードアーキテクチャ

フレキシブル波長群単位でのルーティングを可能にする新たなハイブリッドスイッチ構成を取るノードアーキテクチャを提案し、数値シミュレーションにより波長選択スイッチ数が最大 50-80% 削減されることを実証した。当初目標(波長選択スイッチ数を半減)を上回る成果を得た。

2. 光スイッチ規模を削減した多階層フォトニックノードアーキテクチャ

上記1で得られたノードアーキテクチャを、光スイッチをコンパクト化して実現性を向上。3x3 程度のコンパクトなスイッチで十分な性能が得られることを実証した。

3. 伝送特性を考慮したネットワーク最適化

上記2のノードアーキテクチャにおいて伝送特性を詳細に解析。必要な波長増幅器が最大 80%程も削減されることを実証した。伝送特性の観点から重要な、ノードあたりの波長選択スイッチ通過数を半減~1/4 とできることを明らかにした。

4. 伝送実験による実証と測定値のフィードバック

2・3でのノードアーキテクチャのプロトタイプを作成し、複数段ノードを経由する実験を行って、パワーペナルティが非常に小さいことを実証した。当初目標(プロトタイプ作成と伝送性能の優位性の実証)を目的通り達成した。

波長群パス最適化と動的制御手法の確立

1. 固定グリッドネットワークの動的制御環境下における最適波長群構成法

波長群数最小化問題をリング上ネットワークのみならず、より経路候補が多く複雑なメッシュ状ネットワークでも解決した。整数線形計画問題による厳密解算出の他、発見的手法も開発し、限定的な計算量でも準最適解を導くことに成功した。

2. フレキシブル波長群パスを導入したエラスティック光パスネットワークの動的制御

波長群ルーティングノードと従来型ノードの動的パス制御条件下におけるルーティング性能を解析的・数値的両面から明らかにした。制御アルゴリズムを工夫することで、ハードウェア規模が圧倒的に大きな従来型ノードにほぼ遜色ないルーティング能力が得られることを明らかにした。