

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700063

研究課題名(和文)パス階層化と仮想トンネル制御によるアダプティブ光パスネットワーク

研究課題名(英文)Agile and bandwidth abundant photonic networks utilizing path hierarchy and dynamic virtual fiber management

研究代表者

長谷川 浩(Hasegawa, Hiroshi)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40323802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、幾つかの波長信号を集約して経路制御する特殊デバイスを中心に構成され、従来型デバイスを大きく削減した新たな通信ノード装置による経路制御法を考案した。この経路制御法は従来にない特性を有する仮想トンネルを実現する。数値シミュレーションに於いては、需要に応じて通信ネットワークをゼロから設計する静的設計と呼ばれる評価の他、仮想トンネルをダイナミックに制御して時々刻々と変化する通信需要を収容する評価を行って、装置規模の削減とトンネルの高い利用効率を実証している。また、インフラストラクチャの実現という観点から、通信経路の冗長化による高信頼化についても成果発表を実施している。

研究成果の概要(英文)：A novel optical networking with routing of bundled wavelength paths was proposed. The proposed networking realizes flexible optical tubes in networks that can accommodate any wavelength paths whose source and destination nodes are on the routes. The comparison with conventional networks through exhaustive numerical experiments verified that the proposed networking enables us to realize agile and bandwidth abundant photonic networks while keeping the hardware scale to reasonable level.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：フォトニックネットワーク ネットワークアーキテクチャ

1. 研究開始当初の背景

(1) ネットワーク大容量化の要求

2000年以降のブロードバンドアクセス(ADSL, FTTH等)の普及により、全世界的にネットワーク上を流れる通信量が年率+40-60%という増加を続けている[1]。従来型ネットワークでは、データをIPパケットと呼ばれる小さな単位に分割し、これを伝送している。通信ノード毎に各パケットの経路探索を行うが、ノード間を結ぶ光ファイバ内の光信号を一端電気信号に変換した上でパケットの宛先を識別している。光・電気信号変換装置の高コストと、電気処理による経路探索での電力消費の大きさ及び高速化の困難さが、超大容量化の障害となっている。これを解決するために、光ファイバ中に多数(40-100波)の異なる波長の光信号が多重されていることに着目し、波長をラベルとして、電気信号に変換することなく、各波長信号(波長パス)毎に光スイッチによる経路制御を行う「フォトニックネットワーク[2]」が研究され、日本や北米等の一部で導入が開始されている。フォトニックネットワークでは中継ノードでの電気処理を基本的に行わず、送受信ノードのみでの最小限の光・電気信号変換に限定することで超低消費電力と大容量を両立させている。しかし、今後さらに急増する通信量に対応するために超大容量化する上では、より多くの波長を制御する機能をノードに持たせる必要があるが、大規模な光スイッチは極めて高価であり、更に一定以上の大規模化は技術的な困難を抱える。そこで小規模スイッチで多数の波長パスの経路制御を可能にするネットワークが必要となっている。

(2) 高速光回線交換・光フロー制御技術の研究ネットワークを利用するサービスには、超高精細動画(Ultra HDTVの場合、無圧縮時に72Gbps)、3次元動画、e-science、データセンター間通信等の膨大な帯域を必要とするものが登場する一方で、センサーネットワークノード間の通信や通常のWeb閲覧などの数kbps単位の小容量通信まで多岐にわたる。一方、フォトニックネットワークでの伝送単位である波長パスは現在でも10-40Gbpsの容量を持ち、小容量通信の占有帯域とは大きなギャップがある。そこで、超大容量アプリケーション伝送時には送受信ノード間に専用の波長パスを必要最小限の期間に設立すること、小容量通信については同一受信ノードに向かう通信を送信ノードにおいて電気信号として一端集約し、極めて短い時間(数百ミリ秒)、波長パスを設立して伝送するというアーキテクチャ[V.Chan, Optical Flow]が各々提案されている。これらの波長パス制御アーキテクチャは、前者が高速光回線交換、後者が光フローと呼ばれている。ほぼ固定的(切替は数ヶ月単位)に波長パスを運用する従

来ネットワークに比べて、高頻度で波長パスを設立・解放する点が大きく異なっており、ハードウェアの制約を考慮した、具体的な波長パス制御アーキテクチャの開発が大きな課題である。特に100Gbps以上の次世代波長パス送受信インターフェースは高度なデジタル信号処理を実装して極めて高価であるため、ノードに装備された送受信インターフェースを最大限に使用する制御手法が重要になると想定される。

一方、均一なサイズのIPパケットによるユニバーサルな伝送アーキテクチャを用いるのではなく、意味のあるコンテンツ単位でタグ付けを行い、コンテンツ単位での転送を行う次世代ネットワーキングが提案されている。コンテンツのサイズ毎にアダプティブな長さの光フローを割り当てることで効果的な転送が可能になり、親和性の高さから光フローの重要性が一層増している。

(3) 多階層光パスネットワークと仮想ファイバの実現

「(1) ネットワーク大容量化の要求」で述べたように、小規模スイッチで多数の波長パスを制御することが求められている。複数の波長パスを論理的に束ねた「波長群パス」の概念を導入し、基本的に波長群パス単位で経路制御し、必要な場合のみ波長パス単位に分解しての経路制御を行うことでスイッチ規模の削減を目指す、「多階層光パスネットワーク」が提唱された[4]。我々の研究グループでも、波長パスが固定的に運用されるネットワークについてその効果を実証し(例:9x9格子網状ネットワークでスイッチ規模は半分以下[5])、実現上鍵となる、波長群パス単位での経路制御を可能にするデバイスを世界で初めて実現した[6]。

従来、多階層光パスネットワーク上で波長パスをダイナミックに運用する検討はなされていなかったが、我々は波長パスが短期間で設立・解放される高速光回線交換向けに、波長群パスを離れたノード間を直結する「仮想ファイバ」として運用し、最適な論理トポロジを提供することでシグナリング負荷及び遅延を削減するアーキテクチャを提案した[7]。しかし、波長群パスの制御手法が比較的単純であり、波長パスが固定的に運用される場合に比べて光スイッチ規模削減効果が未だ限定的である。更に、波長パス設立・解放の期間がより短い光フロー伝送に対応するため、より高速な波長群パス制御法が必要である。

参考文献

- [1] Japan Internet Exchange, <http://www.jpix.ad.jp/en/technical/traffic.html>
- [2] K. Sato, "Advances in Transport Network Technology: photonic networks, ATM, and SDH," Artech House, Norwood, 1996, (ISBN 0-89006-851-8).
- [3] V.Chan, "Optical Flow Switching," Proc. OFC2010, OWI6, Mar. 2010.

[4]K. Harada, K. Shimizu, T. Kudou, and T. Ozeki, "Hierarchical optical path cross-connect systems for large scale WDM networks," Proc. OFC, pp. 356-358, Feb. 1999.

[5]I. Yagyu, H. Hasegawa, and K. Sato, "An efficient hierarchical optical path network design algorithm based on traffic demand expression in a Cartesian produce space," IEEE J. Sel. Areas Commun., Supplement on Optical Communications and Networking(OCN), vol. 26, no. 6, pp. 22-31, Aug. 2008.

[6] K. Ishii et al., "Monolithically integrated waveband selective switch using cyclic AWGs," ECOC2008, Mo.4.C.5., Sep. 2008

[7] T. Ogawa, Y. Yamada, H. Hasegawa, and K. Sato, "Evaluations of physical and optical path level hierarchical networks to implement optical fast circuit switching," in Proc. SPIE, vol. 7633, pp. 76330B-76330B-6.

2 . 研究の目的

本研究課題では、光信号の直接処理によって超大容量・低消費電力を実現するフォトニックネットワークにおいて、大きな帯域を占有する次世代ネットワークサービスを効率よく伝送するため、波長パス(単位通信路)を高速かつ効率よく制御し、必要な時に必要なだけの回線容量を割り当てるダイナミックなネットワークの実現に向けた検討を行う。波長パスを複数束ねた大容量パス「波長群パス」を導入し、これを離れた2地点間を直結する仮想的なトンネルとして運用する新たな制御アーキテクチャを導入して、波長パスの高速かつ効率的な制御を実現する。また、このような制御に適した通信ノードのハードウェア構成を新たに提案する。

3 . 研究の方法

本研究課題では、波長群パスを導入した多階層光パスネットワーク上で、高速かつ効率的な波長パス・光フローの制御を実現する制御手法及びノードアーキテクチャを導く。パス・フロー制御についてはノードの構造に起因する制約を考慮する必要があるため、研究期間前半においては汎用的なノードを仮定し階層型パスのダイナミックな制御を検討する一方で、光デバイスの特性も考慮したノードのアーキテクチャを検討する。特に後者においては、パス制御に一定の制限を課してハードウェア規模を大きく削減するための方策を模索する。研究期間後半では、これらの検討の成果を互いに反映し、ハードウェアの可能な限りの削減と、ハードウェア構成に付随する制約を陽に考慮した制御手法の開発を行う。計算機実験により従来型ネットワークに対する優位性を実証すると同時に、簡易プロトタイプを構成し伝送実験を行って実現性の検証を行う。

4 . 研究成果

本課題では、階層化光パスネットワークにおける弱点であった、疎粒度パスを終端しない限り細粒度パスを add/drop できないことによる疎粒度パスの充填率の低さ、細粒度パス用の光クロスコネクタが階層化光ノード装置内で大きな比率を占めてしまうことを改善する新たな疎粒度光ルーティングアーキテクチャを開発した。このアーキテクチャでは、細粒度での add/drop を実施しつつ、経路制御能力を疎粒度に限ることでノード装置を大幅に小型化しつつ、疎粒度パスの終端の必要性を無くしている。この結果、光ノード装置の規模を大幅に削減することに成功している。本光ネットワークアーキテクチャに於いては、異なる粒度での制御を行うことから、疎粒度での経路制御を以下に最適化するかが本質的な課題となる。そこでまず、固定的な需要に対する最適化を実施し、高価な大型光スイッチを用いる従来型ネットワークに比べてスイッチ規模を数分の1に抑えることに成功している。一方、波長信号の伝送特性を簡易プロトタイプ上で測定かつ数理的な解析を実施してこれらをすりあわせ、大規模ネットワークの最適化に反映することにより、本アーキテクチャの適用可能性を明らかにしている。また、ダイナミックなサービスへの適応性を高める為の動的トラフィックに対する性能の評価や、社会インフラとしての高信頼性を実現する為の冗長性の導入など、本アーキテクチャの提唱に伴う様々な付随的課題を検証・解決している。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1件)

Yuki Taniguchi, Yoshiyuki Yamada, Hiroshi Hasegawa, and Ken-ichi Sato, "Coarse Granular Optical Routing Networks Utilizing Fine Granular Add/Drop," IEEE/OSA JOCN, vol.5, pp.774-783, May 2013.

〔学会発表〕(計 4件)

Yuki Taniguchi, Hiroshi Hasegawa, Ken-ichi Sato, "Dynamic Grouped Routing Optical Networks for Cost Effective and Agile Wavelength Services," OFC/NFOEC2014, Mar. 2013.

Hiroshi Hasegawa, Yuki Taniguchi, Ken-ichi Sato, Amornrat Jirattigalachote, Paolo Monti, and Lena Wosinska, "Design strategies for Survivable Grouped Routing Entity (GRE)-based Optical Networks," DRCN2013, Mar.2013.

佐藤 晃輔, 長谷川 浩, 佐藤 健一, “サブシステムモジュラー型ノードから構成される光パズネットワークの高信頼化,” 電子情報通信学会第10回PNワークショップ, 2014年3月.

Amornrat Jirattigalachote, Yuki Taniguchi, Toshinori Ban, Paolo Monti, Lena Wosinska, Hiroshi Hasegawa, and Ken-ichi Sato, “Design of Grouped Routing Entity (GRE)-based Optical Networks with 100% Signal Quality Guarantee,” ONDM2014, May 2015 (発表予定).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 浩 (HASEGAWA, Hiroshi)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：40323802

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：