

IP・光融合ネットワークにおけるユーザ・オンデマンド型分散トラヒック制御技術の研究開発 (052107014)

Integration of IP routing and wavelength routing in IP over WDM networks

研究代表者

荒川 伸一 大阪大学大学院情報科学研究科
Shin'ichi Arakawa Osaka University

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

本研究課題では、光ファイバおよび WDM 技術によって提供される大容量光通信ネットワークにおいて、ユーザが帯域をオンデマンドに利用する通信方式を提供することを目的とし、IP パケットの経路制御と WDM の波長経路制御を統合したトラヒック制御技術を確立する。統合トラヒック制御方式の実現のために IP ネットワークのリンク利用状況および波長資源の利用状況から各エッジルータ間に仮想的なリンクを設定し、IP トラヒックが設定した光パス上を確実に転送することで波長資源の利用効率の向上を目指す。本研究では、まず計算機シミュレーションにより仮想リンクに割り当てるリンクメトリクスを比較検討し統合トラヒック制御方式の有効性を示す。また、統合トラヒック制御方式を実機上に実装し、実証実験により方式の有効性を示し、ユーザがオンデマンドに帯域を引き出す分散かつ統合されたトラヒック制御手法を確立する。

Abstract

Since IP and WDM networks have its own routing functions, the lightpaths configured in WDM network may not be fully utilized by IP. Therefore, the integration of routing mechanisms is necessary to provide efficient resource utilization and flexible adaptation against traffic changes. In this work, we develop an integrated routing mechanism for IP over WDM networks. The key idea is to prepare a set of virtual-links based on a resource utilization of the WDM network, and then calculate the minimum cost route on the IP network. We show the effectiveness of our mechanisms via computer simulations. We also implement our integrated routing mechanism, and demonstrate that the processing overhead of our integrated routing mechanism is low.

1. まえがき

WDM (Wavelength Division Multiplexing)技術は、一本の光ファイバ中に複数の波長を多重化し、並列にデータを伝送することによって通信回線の大容量化を実現する光通信技術であり、インターネットへの適用が有望視されている。WDM 技術を活用すれば、各 WDM ノードにおいて波長レベルでの交換を行い、エッジノード間によってのみ構成される光パスが設定される。ネットワーク内では光信号を電気信号に変換することなくパケット転送が可能になり、ルータでの電気処理による負荷を減らすことができる。しかし、IP と WDM の経路制御方式は個別に設計されており、WDM ネットワークで設定した光パスを必ずしも IP が利用するとは限らない。本研究課題では、光ファイバおよび WDM 技術によって提供される大容量光通信ネットワークにおいて、ユーザが帯域をオンデマンドに利用可能で柔軟な通信方式を提供することを目的とし、IP パケットの経路制御と WDM の波長経路制御を統合したトラヒック制御技術の研究開発を実施した。

2. 研究内容及び成果

IP ルーティングと波長ルーティングの統合経路制御のための基本的なアイデアとして、現在の IP ネットワークのリンク利用状況および波長資源の利用状況から各エッジルータ間に仮想的なリンクを設定する。ここで言う仮想的なリンクとは、実際には光パスは設定されていないものの、波長資源を用いれば設定可能な状態にある光パスを意味する（図 1）。仮想リンクは、光パスとして設定はされていないが、要求に応じて波長を予約して光パスとして利用することが可能な論理的なリンクである。IP ネットワークではこの仮想リンクを含むトポロジ上で経路選択を

行い、仮想リンクが選択されればそれに対応する光パスを設定することにより、IP パケットの経路と光パスの経路を同時に求めることが可能となる。さらに、IP のメトリックを利用して経路を選択するので、IP トラヒックが設定した光パス上を確実に転送されるようになり、波長資源の利用効率が向上する。本課題では、まず上述の統合経路制御手法の有効性をシミュレーションにより評価し[2]、実機上に本手法を実装した[3]。以下では、実装したシステムの詳細と、実証実験により得られた結果を述べる。

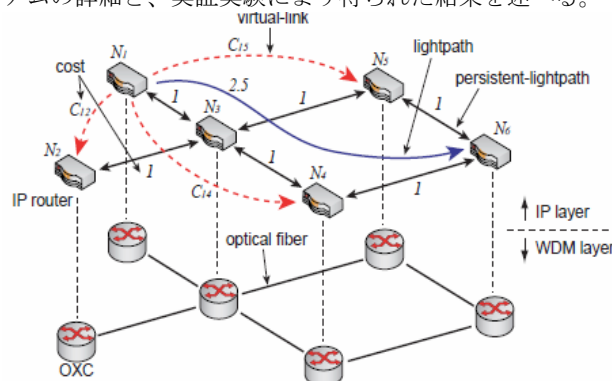


図1 仮想リンクを用いた統合経路制御

実装システムの構成を図 2 に示す。統合経路制御手法は IP 層で動作し、仮想リンクおよび WDM ネットワークで設定された光パスによる論理リンクを含むトポロジ上で最小コスト経路を探索する。従って、統合経路制御手法の実現のためには、WDM ネットワークでの全ての光パス情報を収集する必要がある。実装システムにおいては、各ノードは自ノードを出発ノードとする光パスの情報を収

集し、その情報を OSPF-TE と同様の機能を用いてネットワーク全体に配布している。各ノードは配布された情報を収集し、WDM ネットワークの光パス設定情報をトポロジデータベース (LightpathDB) として保持する。統合経路制御モジュール (Integrated module) は、統合経路手法を実行するモジュールであり、仮想リンクの設定、経路探索、光パス設定要求の処理を行う。仮想リンクの設定処理では、IP 層のネットワークトポロジである LightpathDB を利用し、仮想リンクを含んだトポロジを作成する。経路探索処理では、仮想リンクを含んだトポロジに対して、光パスを設定するノード間のコストが最小である経路を計算する。最後に、光パス設定要求処理では、算出した経路に仮想リンクが含まれている場合はその仮想リンクを光パスとして設定するために、波長予約モジュールに光パス設定要求を送信する。

上記の実装システムを PC 上で動作させ、実験ネットワークを用いて動作実験と有効性を確認した。実験ネットワークのトポロジを図 4 に示す。実験ネットワークは、制御プレーンとデータプレーンで構成される。制御プレーンは上述の実装システムを PC 上で動作させて制御プレーンを構築している。また、データプレーンは、OXC と光ファイバによって構成している。なお、本実験ではデータプレーンにおける光ファイバの回線容量は 1Gbps としている。実験ネットワークにおいて node0 および node1 のそれぞれのノードから node2 に対して TCP コネクション確立させてパケットを転送し、各コネクションのスループットを計測した。なお、本実験では機材の制約上、制御プレーンの各ノードがパケット生成およびパケット転送処理を行っている。

統合経路制御手法の有効性を検証するために、以下のシナリオでデータ転送を行った。1) 時刻 0: node0 から node2 に対するパケット転送を開始する。初期経路は node0 → node1 → node2 とする。2) 時刻 10 [s]: node1 から node2 に対するパケット転送を開始する。3) 時刻 30 [s]: 統合経路制御手法による経路制御を実施する。

上記のシナリオに従ってデータ転送を行い、スループットを計測した結果が図 4 である。時刻 0～時刻 10[s] では、競合するコネクションが存在しないため 1Gbps に近いスループットが観測される。時刻 10[s] に node1 から node2 へのデータ転送が開始されるため、TCP の輻輳制御が動作し、node0-node1-node2 間及び node1-node2 間を流れるトラヒックは約 500Mbps となる。時刻 30[s] 以降では、統合経路制御手法によって node0 → node3 → node2 の仮想リンクが選択され、光パスが設定される。その結果、node0-node1-node2 間に流れていたパケットは node0 → node3 → node2 の光パスに流れ、node1-node2 のリンクでの帯域の競合が解消され、2 つのコネクションが回線容量である 1Gbps 近いスループットを達成することが確認された。

3. むすび

本研究課題では、WDM 技術による光通信ネットワークにおいて、IP の経路制御と WDM の波長経路制御を統合した統合経路制御手法の研究開発を実施した。シミュレーション評価によりスループットが 70%以上改善されることを示すとともに、実証実験を通して提案手法の有効性を示した。本課題では IP パケットの転送効率の改善に取り組んだが、今後は、IP を用いたパケット交換網と光パスを用いた回線交換網を融合した光通信ネットワークを構築することが重要であると考えられる。

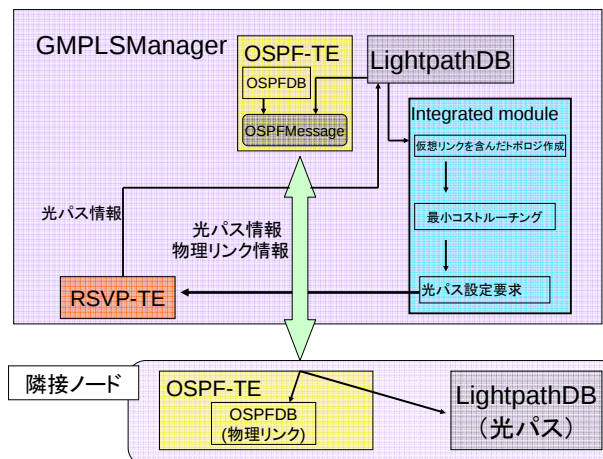


図 2 実装システムの全体構成

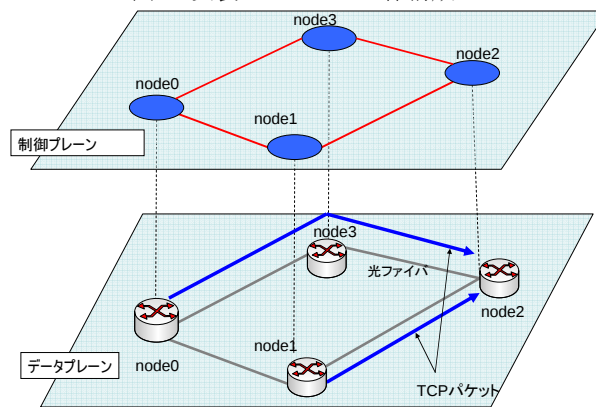


図 3 実験ネットワークのトポロジ

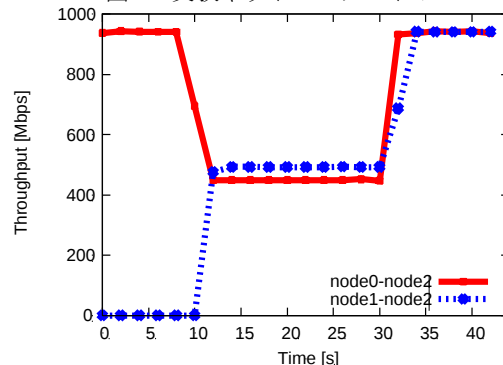


図 4 統合経路制御手法の効果：スループット計測

【誌上発表リスト】

- [1] Yukinobu Fukushima, Shin'ichi Arakawa and Masayuki Murata, "Design of logical topology with effective waveband usage in IP over WDM networks," Photonic Network Communications, Vol. 11, no. 2, pp. 151-161, March 2006.
- [2] Yuki Koizumi, Shin'ichi Arakawa, and Masayuki Murata, "An integrated routing mechanism for cross-layer traffic engineering in IP over WDM networks," IEICE Transactions on Communications, vol. E90-B, pp. 1142-1151, May 2007.
- [3] 筒井宣充、小泉佑揮、荒川伸一、村田正幸、"IP over WDM ネットワークにおける統合経路制御手法の実装と評価、" 電子情報通信学会 PN 研究会 (沖縄)、2008 年 3 月