

A Two-Phase Optimization Method for Virtual Topology Design and Routing of Multi-Hop WDM Networks

佐藤 圭介

(筑波大学第三学群社会工学類 現所属・北海道日本電気ソフトウェア㈱)
指導教官 山本芳嗣 教授

1. はじめに

光通信ネットワークにおいて、WDM（波長分割多重）は一つのファイバに複数の波長の光を同時に流すことでネットワークの帯域を広げる技術として注目されている。しかしながら、この技術の利用先としてインターネットのバックボーンを考えた場合、従来の技術ではパケットのルーティングにあたり光信号をいったん電気信号に変換せねばならず、電気的な処理による遅延が問題となる。この問題に対処するため、WRS（波長ルーティングスイッチ）を導入し、光の波長によってルーティングを行うことが考えられているが、WRSが扱える波長の数は多くは見込めず、ルーティングをWRSのみでまかなうことは不可能である。本研究は、WDM広域ネットワークにおいて、パケット到達の遅延を最小にする波長ルーティングと電気ルーティングの組み合わせ方法について考察する。

2. モデルの設定

光通信ネットワークを、光ファイバを枝、光ファイバの始点（終点）を頂点とするグラフと考える。グラフのすべての頂点はWRS、光信号の送受信機、電気ルータを装備し、波長ルーティングと電気的なルーティングの双方に対応する。このグラフを物理トポロジと呼ぶ。物理トポロジの2頂点間で波長ルーティングによる通信を行うとは、通信に使用する光の波長と通信経路を決定し、送信頂点の送信機、受信頂点の受信機、経路上のWRSを設定することを意味する。このようにして物理トポロジの2頂点を結ぶ道、光パスが設置される。光ファイバの始点（終点）を頂点とし、光パスが設置されている頂点間に枝をひいたグラフを、論理トポロジと呼ぶ。物理トポロジと光パス、論理トポロジの例を図1に示す。

本研究では、ネットワークの各頂点間で送受信すべきパケット量を所与として、物理トポロジから論理ト

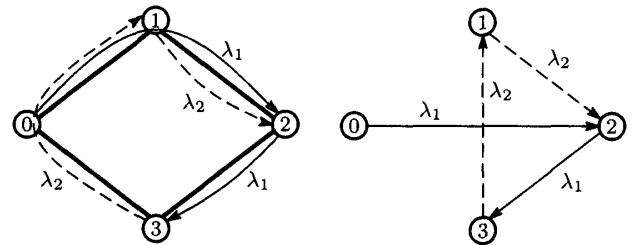


図1 物理(左)と論理(右)トポロジ

ポロジを設計し、論理トポロジ上で静的なルーティングを行う。この問題はこれまで、混合整数計画問題として文献[1, 2]で定式化されてきたが、これらの文献は光パス設置にあたり、波長に関する二つの制約を無視している。一つは、光パスはその始点から終点まで同じ波長を維持すること、もう一つは、物理トポロジ上の同じ枝を通る複数の光パスにはそれぞれ別の波長を割り当てることである。本研究は、これらの波長に関する制約を含めたかたちで混合整数計画問題としての定式化を新たに行う。その際の最適化基準は、文献[1]と同様に、パケットの平均論理ホップ数の最小化とする。パケットの平均論理ホップ数とは、論理トポロジ上でパケットが目的地までに通る頂点数（パケットの終点を含む）の平均と定義され、パケットが経験する電気的なルーティング回数の平均を意味する。

混合整数計画問題としての定式化は、この問題が NP 困難なクラスに属するとともに、考慮に入れるべき変数の数が非常に多いため、ネットワークのサイズが大きくなると現在の計算機で解くことが難しいという問題がある。そこで本研究では、問題を論理トポロジの設計と、論理トポロジ上でのルーティングの二段階に分け、それぞれを最適化問題として定式化する、二段階最適化法を提案する。論理トポロジの設計問題は、どこどここの頂点間に光パスを設置する、しないという問題に帰着されるため整数計画問題として定式化できる。整数計画問題も NP 困難なクラスに属するが、この場合は考慮すべき変数の数が少なく、混合整

数計画問題よりも少ない時間で解を得ることが期待できる。ここでの最適化基準は、光パスの設置により波長ルーティングだけで運ぶことのできるパケット量を最大にすることである。これは1論理ホップで運ぶことのできるパケット量を最大にすることと同義であり、パケットの平均論理ホップ数を低く抑えるのに貢献する。後半の段階は、論理トポロジが与えられている状態で各頂点間でパケットを送受信する問題となる。この問題はパケットの平均論理ホップ数を最小にする線形計画問題として定式化できる。

3. 数値実験

二段階最適化法による解の精度を確認するため、14個の頂点を持つNSFNET[2]を物理トポロジとし、数値実験を行った。ネットワークで利用可能な波長数を4から6、各頂点の送受信機数を5から7とし、各頂点間で送受信すべきパケット量を一様分布から取り出し、二段階最適化法、混合整数計画問題による定式化、そして文献[1]で提案された発見的解法(Max-SinglehopおよびMax-Multihopアルゴリズム)の、計四つの手法により求められた平均論理ホップ数を比較した。結果は図2に示すとおりである。二段階最適化法が他の発見的解法よりも低い平均論理ホップ数を達成し、平均論理ホップ数の下界である混合整数計画問題の解に近い値を示している。また、本実験はFujitsu Primepower 600サーバ上で実施したが、混合整数計画問題による定式化が最適解の算出に平均98秒要したのに対し、二段階最適化法は5秒程度で解が求められた。

次に、NSFNETに恣意的に頂点と枝を追加していく、二段階最適化法がどのくらいの大きさのネットワークにまで利用可能か調べた。結果、二段階最適化法は27頂点(98枝)の問題を275秒で解くことができた。一方、混合整数計画問題による定式化は20頂点(68枝)の問題を変数の増加によるメモリ不足で解くことができなかった。

4. おわりに

本研究で提案された解法は、これまでの発見的解法よりも効率のよいルーティングを実現することがわかった。また従来の定式化に比べ大きなサイズのネットワークでも利用可能であることも示された。

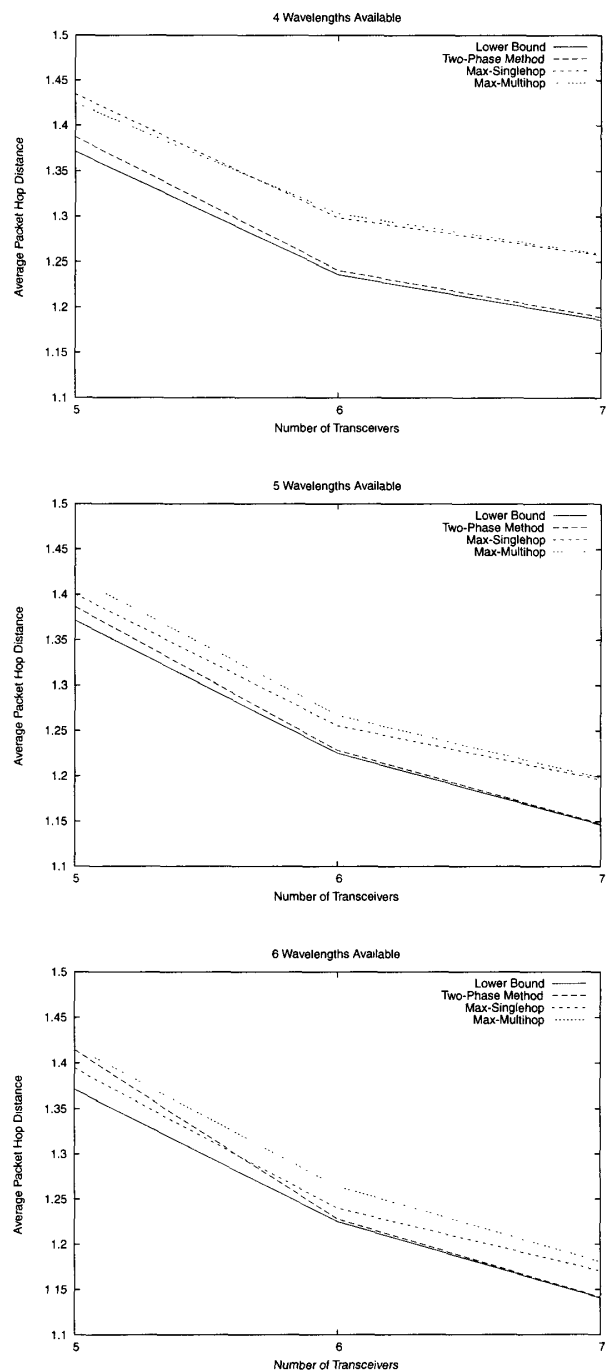


図2 平均論理ホップ数 (10回の実験の平均)

参考文献

- [1] Banerjee, D. and Mukherjee, B.: Wavelengthrouted optical networks: linear formulation, resource budgeting tradeoffs, and a reconfiguration study, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 8, 598-607, 2000.
- [2] Ramaswami, R. and Sivarajan, K.: Design of logical topologies for wavelength-routed optical networks, *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, Vol. 14, 840-851, 1996.