

ネットワーク構成変更に対応した WDM 波長選択手法 Wavelength Selection in Reconfigurable WDM Network

杣 信吾*
Shingo Soma

高須 晴久*
Haruhisa Takasu

加村 誠*
Makoto Kamura

桧垣 博章*
Hiroaki Higaki

1. はじめに

全光ネットワークの実現技術として、波長多重化 (WDM) が有力となっている。ここでは、全光ネットワークと外部ネットワークとの接続点であるエッジルータと全光ネットワーク内部のルータであるコアルータとからネットワークが構成される (図 1)。WDM の実現手法には、リンク多重化とパス多重化がある。リンク多重化では、エッジルータとコアルータとの間あるいは隣接するコアルータ間を接続する光リンクにおいて複数の波長を用いる。このとき、各コアルータには波長変換機能が導入されており、送信元エッジルータから送信先エッジルータまでの間で各リンクごとに異なる波長を用いることが可能である。一方、パス多重化では、送信元エッジルータから送信先エッジルータまでの間のすべてのリンクで同一の波長を用いることにより、コアルータに波長変換機能を導入することが不要になる。送信元エッジルータから送信先エッジルータまでの通信を行なうためには、通信開始時に経路上にあるすべてのリンクにおいてひとつ以上の波長を予約することが必要である。

本論文では、パス多重化を対象として、送信元エッジルータが予約要求する波長集合を決定する波長選択手法において、各エッジルータが優先度に基づいて波長選択を行なう手法を拡張し、動的にネットワーク構成が変化する場合の波長優先度の制御方法を提案する。

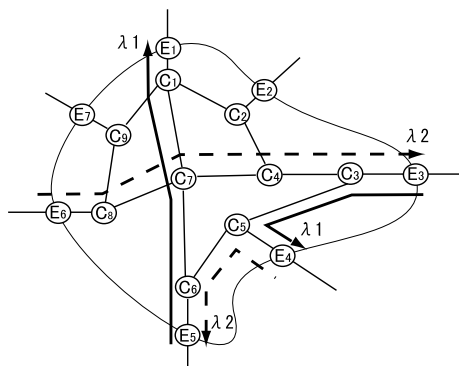


図 1: 全光 WDM ネットワーク

2. 波長予約手法

パス多重化による WDM 波長予約手法には、送信元エッジルータと送信先エッジルータと間の経路があらかじめ定められていることを前提とする手法と、経路探索も含めた手法とがある。本論文では、前者を対象とする。すなわち、あらかじめ与えられた送信元エッジルータから送信先エッジルータまでの経路上にあるすべての光リンクにおいて、あるひとつの波長 λ を予約することが目的である。

送信元エッジルータおよび経路上にあるコアルータは、次ホップのコアルータまたは送信先エッジルータとの間

の光リンクにおける波長集合 A の使用を予約する。この予約手続きは、ルータが波長予約メッセージ $Res(A)$ を受信することによって行われる。この波長予約メッセージの転送方向には、送信元エッジルータから送信先エッジルータへの方向とその逆方向が考えられる。前者による手法をフォワードリザベーション手法、後者による手法をバックワードリザベーション手法とよぶ [1]。フォワードリザベーション手法では、送信元エッジルータが次ホップのコアルータとの間の光リンクにおける未予約波長集合 A の部分集合 $A' \subset A$ に含まれる波長を予約する。そして、次ホップのコアルータに波長予約メッセージ $Res(A')$ を送信する。 $Res(A')$ を受信したコアルータは、次ホップのコアルータまたは送信先エッジルータとの間の光リンクにおける未予約波長集合 A'' に対して、 $A''' = A' \cap A''$ なる集合 A''' に含まれる波長を予約する。もし、 $A''' = \emptyset$ であるならば、予約可能波長が存在しないときのコアルータの処理としてあらかじめ定められた処理を行なう。 $A' \neq \emptyset$ なる $Res(A')$ を送信先エッジルータが受信したならば、 $A' \subset A'$ なる波長をこれらのエッジルータ間の通信に使用することができる。応答メッセージ $Ack(A''')$ を送信先エッジルータから送信元エッジルータまで配送することにより、 A' に含まれない波長の予約を取り消し、他の通信に利用することを可能とする。

一方、バックワードリザベーション手法では、波長予約メッセージの転送開始以前に、未予約波長調査メッセージ $Prob()$ を送信元エッジルータから送信先エッジルータまで転送することによって、経路上のすべての光リンクにおいて共通に予約されていない波長をあらかじめ調査する。すなわち、送信元エッジルータは、次ホップのコアルータとの間の光リンクで予約されていない波長の集合 A を含む波長調査メッセージ $Prob(A)$ を次ホップのコアルータに送信する。波長集合 A を含む $Prob(A)$ を受信したコアルータは、次ホップのコアルータとの間の光リンクで予約されていない波長の集合 A' に対して、 $A'' = A \cap A'$ なる波長集合を含む $Prob(A'')$ を次ホップのコアルータまたは送信先エッジルータに送信する。送信先エッジルータが受信した $Prob(A)$ に含まれる A が経路上のすべての光リンクにおいて共通に未予約である波長の集合である。 $Prob(A)$ を受信した送信先エッジルータは、 A の部分集合 A' を対象として波長予約メッセージ $Res(A')$ を送信先エッジルータに向けて経路上を転送することによって、波長予約を行なう。

最初に送信される波長予約メッセージ、すなわち、フォワードリザベーション方式では送信元エッジルータが送信する波長予約メッセージ、バックワードリザベーション方式では送信先エッジルータが送信する波長予約メッセージに含まれる波長集合の大きさによって、アグレッシブ方式とコンサーバティブ方式に分類される。アグレッシブ方式では、より多くの波長を含む波長予約メッセージが送信される。この方式では、通信に使われる波長の候補が多数であるため、経路上のすべての光リンクにおいていずれかの波長が共通に未予約である可能性が高くなる。すなわち、波長予約の成功率が高くなる。しかし、通信に使われない多数の波長を一時的に予約することになるため、他の通信の波長予約成功率を低下させること

*東京電機大学理工学部情報システム工学科

になるという問題がある。一方、コンサーバティブ方式は、より少ない波長を含む波長予約メッセージが送信される。この方式では、通信に使われる波長の候補が少数であるため、必ずしも波長予約の成功率が高くはない。しかし、通信に使われない波長を一時的に予約することが少ないため、他の通信の波長予約成功率を大きく低下させることがない。

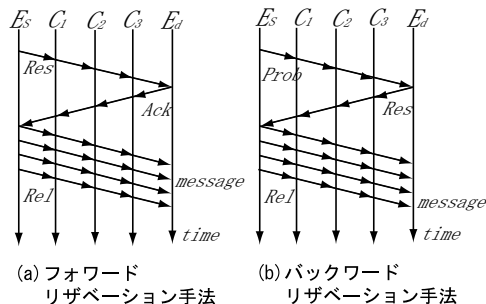


図 2: 波長予約メッセージの転送方向

3. 優先度に基づく波長選択手法

2章で述べた波長予約手法では、まず送信元エッジルータが予約波長候補の集合 A を決定する。フォワードリザベーション方式、バックワードリザベーション方式のいずれにおいても、この波長集合 A に含まれる波長が予約の対象になる。この波長集合 A をどのように定めるかは、波長予約の成功率に大きな影響を与える。ランダムに選択する方法、ラウンドロビンで選択する方法などが考えられる。論文 [2] では、各エッジルータが波長に優先度を与え、優先度の高い未予約の波長を送信元エッジルータが選択する方法を提案している。この方法では、送信元エッジルータがそれぞれの波長の予約を試みた結果の成否に応じて優先度を動的に変化させている。これによって、WDM ネットワークの設計者があらかじめ優先度を与えることなく、各エッジルータの通信要求に応じて適切に優先度を設定できるという点で優れた手法であるといえる。ここで提案されている優先度の計算手法にしたがうと、優先度の値は時間の経過とともに安定し、値が変化しにくくなる。図 3 は、波長予約が成功し続ける、あるいは失敗し続ける場合の優先度の値の変化を示している。一方、図 4 は、 s 回の波長予約が連続して成功し、 f 回の波長予約が連続して失敗した場合の優先度の変化を示している。これらの図からも分かるように、システムの運用開始後の時間経過が長くなればなるほど、優先度は変化しにくくなっていることが分かる。

4. 提案手法

前章で述べた優先度の変化特性は、運用開始時に特定の初期値を与えることなく、WDM ネットワークの使用状況に応じて優先度を変化させ、最終的には波長予約成功率の高い安定した優先度設定を行なえるという点で優れた手法である。しかし、WDM ネットワークの構成が変化した場合、すなわち、新しいエッジルータが追加される、現用のエッジルータが削除される、コアルータが追加、削除される、新たな光リンクが追加される、といった場合には、優先度が変化しにくい状況は好ましくない。新しいネットワークトポロジに柔軟に対応するために、本論文では、トポロジ変化が発生したルータの近隣のルータの優先度を一時的に不安定にすることによって、より迅速に新しい環境に順応する手法を提案する。

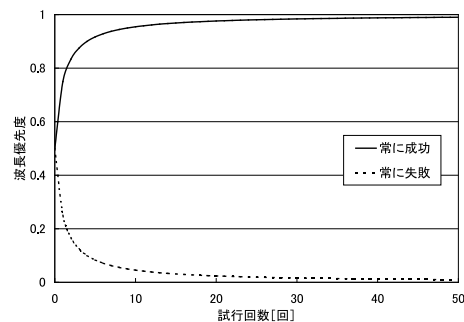


図 3: 優先度の変化 (1)

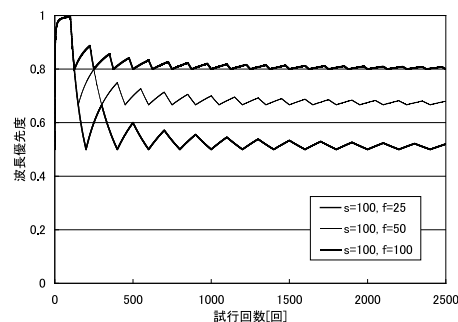


図 4: 優先度の変化 (2)

不安定にする方法として、波長予約の成功および失敗による優先度の変化率を $F(n)$ 倍する。ここで、 n は変化したルータからの最短経路によるホップ数とする。たとえば、エッジルータが追加された場合には、追加されたエッジルータでは $F(0)$ 倍、このエッジルータに隣接するコアルータでは $F(1)$ 倍というように変化率を拡大する。 $F(n)$ は n に対する単調減少関数とすることによって、これらのルータから離れたルータへの影響は小さく押さえることによって、WDM ネットワーク全体としての安定性は失わないようにする。

5. まとめと今後の課題

本論文では、WDM 波長予約における波長選択手法として、エッジルータごとに各波長に優先度を与える方法を拡張し、ネットワークトポロジが変化した際に、より迅速に安定した優先度を得るために、一時的に優先度を不安定にする手法を提案した。今後は、具体的に関数 $F(n)$ を定め、安定に要する時間が短縮されることを確認する。

参考文献

- [1] Yuan, X., Gupta, R. and Melhem, R., "Distributed Control in Optical WDM Networks," Proceedings of IEEE Conference on Military Communications, Vol. 3, pp. 100-104 (1996).
Vol. 103, No. 493, pp.1-6 (2003).
- [2] Hashiguchi, T., Wang, X., Morikawa, H., and Aoyama, T., "Performance Evaluation of Distributed Wavelength Assignment in WDM Optical Network," Proceedings of Asia-Pacific Optical and Wireless Communications Conference (2003).