

M-076

フォワード・バックワード複合型波長予約プロトコル Forward/Backward Hybrid Wavelength Reservation Protocol for WDM

角田 隆*

加村 誠*

高須 晴久*

桧垣 博章*

Takashi Tsunoda

Makoto Kamura

Haruhisa Takasu

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光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光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、パス多重化によるWDMの新しい波長予約手法を提案する。

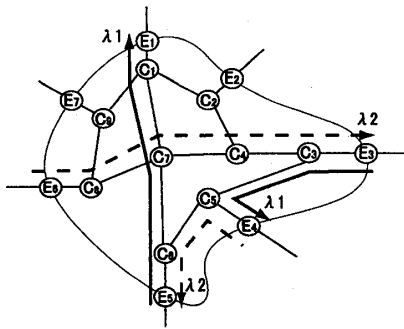


図1: 全光 WDM ネットワーク

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の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 Λ 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 $Res(\Lambda)$ 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法が考えられる。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 Λ の部分集合 $\Lambda' \subset \Lambda$ 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 $Res(\Lambda')$ を送信する。 $Res(\Lambda')$ 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 Λ'' に対して、 $\Lambda''' = \Lambda' \cap \Lambda''$ なる集合 Λ''' に含まれる波長を予約する。もし、 $\Lambda''' = \phi$ 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。 $\Lambda' \neq \phi$ なる $Res(\Lambda')$ を送信先エッジルータが受信したならば、 $\Lambda'' \subset \Lambda'$ 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 $Ack(\Lambda''')$ 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、 Λ'' 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 Λ を含む波長調査メッセージ $Prob(\Lambda)$ を次ホップコアルータに送信する。波長集合 Λ を含む $Prob(\Lambda)$ 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 Λ' に対して、 $\Lambda'' = \Lambda \cap \Lambda'$ なる波長集合を含む $Prob(\Lambda'')$ を次ホップ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 $Prob(\Lambda)$ に含まれる Λ 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。 $Prob(\Lambda)$ を受信した送信先エッジル

*東京電機大学理工学部情報システム工学科

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。

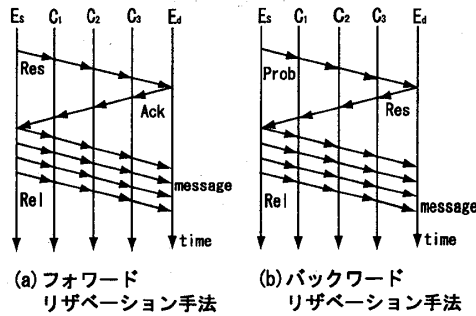


図 2: 波長予約メッセージの転送方向

3. 複合波長予約プロトコル

本論文では、2章で述べた波長予約メッセージの転送方向に注目する。フォワードリザベーション方式とバックワードリザベーション方式は、そのいずれかが常に高い性能を持つのではなく、ネットワークの使用状況に応じて性能の優劣が変化する。フォワードリザベーション方式は、あらかじめ経路上のすべての光リンクで共通に未予約となっている波長の集合を定めずに波長集合 A を設定し、波長予約メッセージ $Res(A)$ の転送を開始する。一方、バックワードリザベーション方式では、まず経路上のすべての光リンクで共通に未予約となっている波長の集合を調査し、その部分集合として波長集合 A を設定し、波長予約メッセージ $Res(A)$ の転送を開始している。したがって、経路上で共通に未予約となっている波長の数が少ない場合、すなわち、多くの通信が同時並行におこなわれている場合には、フォワードリザベーション方式では設定された A にこれらの波長が含まれる確率が低くなることから、バックワードリザベーション方式の方が波長予約に要するオーバーヘッドが低いと考えられる。一方、未予約波長集合が時間とともに急速に変化する場合、すなわち、他の通信の開始と終了が頻繁に行なわれる場合には、バックワードリザベーション方式であらかじめ調査した未予約波長集合と波長予約メッセージを転送する時点での未予約波長集合との共通部分が小さくなっている可能性が高くなる。この場合、波長予約メッセージに含まれる波長集合をあらかじめ限定してしまっているバックワードリザベーション方式の方が波長予約に成功する確率が低くなり、予約に要するオーバーヘッドが増大すると考えられる。そこで、バックワードリザベーション方式とフォワードリザベーション方式の使い分けのために、波長予約度評価関数 $U(|A|, \frac{d}{dt}|A|)$ を導入する。ここで、 A は経路上のすべての光リンクで共通に未予約となっている波長の集合を、 $|A|$ はその集合の大きさ、すなわち A に含まれる波長の数を表す。また、 $U()$ は $|A|$

に対して単調増加であり、 $\frac{d}{dt}|A|$ に対して単調減少であるとする。ある閾値 U_{th} に対して、 $U() < U_{th}$ ならばバックワードリザベーション方式を用い、 $U() > U_{th}$ ならばフォワードリザベーション方式を用いる。

ところで、経路上のすべての光リンクで共通に未予約となっている波長の集合を継続的に観測するためには、この経路に沿って継続的に制御メッセージを転送し続けなければならない。また、未予約波長数とその時間変化率は、ネットワーク全体で様ではなく、各光リンクごとに異なる特性を持つものと考えられる。そこで、上で述べた波長予約度評価関数を局所的に各光リンクで適用することを考える。すなわち、経路上の送信元エッジルータおよびコアルータは、次ホップとの間の光リンクにおける波長予約について、その光リンクの未予約波長集合を A とするとき、 $U(|A|, \frac{d}{dt}|A|) > U_{th}$ であるならば、フォワードリザベーション方式を用いる。すなわち、この光リンクにおける波長予約をただちに行ない、次ホップルータに対して波長予約メッセージ $Res()$ を送信する。一方、 $U(|A|, \frac{d}{dt}|A|) < U_{th}$ であるならば、バックワードリザベーション方式を用いる。すなわち、この時点では波長の予約を行わず、未予約波長調査メッセージ $Prob()$ を次ホップルータに送信する。この光リンクの波長予約は、次ホップルータから波長予約メッセージ $Res()$ を受信した時点で行なう (図 3)。

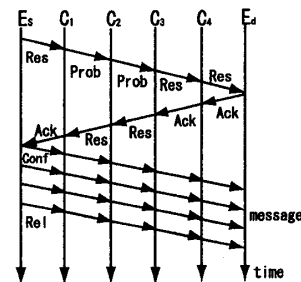


図 3: 複合波長予約プロトコル

4. まとめと今後の課題

本論文では、WDM 波長予約において、各光リンクの使用状況に応じてフォワードリザベーション方式とバックワードリザベーション方式とを組み合わせる複合予約方式を提案し、そのプロトコルの概要を示した。今後は、予約要求波長数、予約可能な波長が存在しない場合の処理方法を考慮した具体的なプロトコルを設計し、その性能評価を行なう。

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).