

分散型光パスネットワークにおける代替経路選択方式の評価

徳 隆宏, 荒川 伸一, 村田 正幸 (大阪大学)

An Evaluation of Alternate Routing for Distributed Lightpath Establishment in WDM Networks
Takahiro Toku, Shin'ichi Arakawa, Masayuki Murata (Osaka University)

1. はじめに

GMPLS 技術を用いたネットワークでは、データ通信の必要があるノード間で LSP (Label Switched Path) を設定し、データ伝送が行われる。効率良く LSP を設定するために、OSPF-TE を用いて各リンクにおける帯域の予約状況などの情報を配布する。各ノードでは、配布されたリンクステート情報を用いて経路選択を行い、RSVP-TE などのシグナリングプロトコルにより LSP を設定する⁽¹⁾。

WDM (Wavelength Division Multiplexing) ネットワークにおいて、各ノードが分散してオンデマンドで光パスを設定する際にも GMPLS が適用可能である。この場合、WDM の各波長をラベルとして光パスを確立する。効率良く光パスを設定するためには、光パス設定時の経路および波長を各リンクの波長利用状況に応じて選択する必要があり、ネットワークの各リンクにおける正確な空き波長情報が必要となる。一方、WDM ネットワークでは、光パス設定時にエンドノード間で波長を予約するため、波長予約のためのシグナリングの際に波長利用状況を収集することで光パス設定時に収集するリンク利用状況を減らしつつ、効率良い光パス設定ができる可能性がある。

本稿では、各ノードが分散して光パスを設定する WDM ネットワークを対象とし、そのようなネットワークに適用可能な経路制御方式の比較検討を行う。

2. 波長予約方式

光パス設定時の波長予約方式としてのフォワード型波長予約方式とバックワード型波長予約方式がある⁽²⁾。

フォワード型波長予約方式ではコネクション設定要求が送信ノードに到着した際、光パスを設定する経路と波長を選択する。次に、選択した波長を予約するための RESERVE 信号を選択した経路上に送信し、順次波長を予約し、受信ノードから ACK 信号を返送しパス設定を完了する。フォワード型波長予約方式では送信ノードにおいて波長を選択するため、リンクステート情報として波長毎の利用状況が必要となる。

バックワード型波長予約方式ではコネクション設定要求が送信ノードに到着すると、光パス設定に使用する経路を選択する。次に、隣接リンクにおいて波長予約が可能な波長を PROBE 信号に書き込み、選択経路上に沿って PROBE 信号を送信し、中間ノードでは PROBE 信号中に書き込まれた波長集合と次ノード間のリンクにおいて波長予約が可能な波長との積集合を PROBE 信号に書き込み、次ノードへ送信する。これを受信ノードまで順次行ない、経路上で光パス設定が可能な波長の情報を取得し、受信ノードで波長を選択し送信ノードに向けて順次波長を予約する。バックワード型波長予約方式では送信ノードでは波長選択は行わないため、リンクステート情報としてはリンクで利用可能な波長数で良い。

3. 経路選択方式

経路選択方式として、各ノードペアに対してあらかじめ用意した最短経路を選択する固定経路選択手法、事前に決められた候補経路波長の中からリンクの波長の利用状況 (リンクステート) にもとづいて経路を選択する適応型経路選択手法がある。固定的に経路を選択する手法のデメリットとして、負荷の変動への対応が遅れる点がある。すなわち、経路選択が行われた後に負荷が高くなったとしても別経路を選択できない。一方、適

表 1. 比較評価を行う経路制御方式

Shortest Path	各ノードペアに対してあらかじめ用意した最短経路のみを用いる
Least Loaded	経路再計算を行い、負荷が最も低い経路を選択
FAR with LL	負荷の低い経路を K 本用意し、負荷が低い順に経路を選択
FAR with ISP and LL	ホップ数最小の最短経路に加え、負荷の低い経路を $K - 1$ 本用意する。経路は最短経路選択を第一とし、パス設定失敗時には $K - 1$ 本の候補経路から負荷が低い順に経路を選択

応型経路選択手法では、高負荷のリンクやリンク障害によってパス設定が失敗したとしても、そのリンクを迂回する経路を用いたパス設定が可能となる。

分散型光パスネットワークにおいて、リンクステート情報が各ノードに遅れて到着することによって光パス設定の棄却率が劣化すること示されている⁽³⁾。そこでは、最短経路選択および最小負荷経路選択を対象として性能評価を行っている。一方、高負荷のリンクやリンク障害に対しては、事前に候補経路を与えて候補経路を順番に選択する代替経路選択 (FAR: Fixed Alternate Routing) が考えられる。

そこで本稿では、正確なリンクステート情報を利用できない分散型光パスネットワークに対して、表 1 に示す各経路選択方式を適用した際に、リンクステート情報を定期的に変換することによる性能への影響を明らかにする。その上で分散型光パスネットワークに適切な経路選択方式を示す。

4. 評価

評価に用いるトポロジーを図 1 に示す。15 ノードで構成され、各リンクにはファイバが双方向に 1 本あるとし、各リンクの波長多重数を 8 とする。リンク伝搬遅延時間は各リンクの長さの比に係数を乗じた値 (平均 1.0ms) を用いる。ネットワーク内の各ノードは隣接ファイバの波長利用状況を取得可能であるとし、他のノードにその利用状況をリンクステート情報として配布する。光パス設定要求は、各ノードペアに対して一様に発生し、平均到着率 λ のポアソン分布にしたがって発生するとし、光パスの設定時間は平均 1ms の指数分布に従う。また、ノードでの処理遅延時間を 0 と仮定する。経路選択時に用意する候補経路数 K は 5 とする。定期的に変換する場合その間隔を T_{sec} とする。 T を 0 とした場合は、リンク利用状況に変更があると即時リンクステート情報を配布する。一方、経路選択時にネットワーク内のすべてのリンクステート情報が正確に情報を利用できると仮定した場合の結果も比較のため示す (図中では Global と表記している)。

まず、パス設定に失敗すれば即時棄却するとし、フォワード型波長予約方式およびバックワード型波長予約方式それぞれの棄却率を光パス設定要求の到着率に対して求めた結果を図 2 に示す。フォワード型波長予約方式での棄却率はバックワード型波長予約方式の場合より高い傾向が確認できる⁽²⁾。フォワード型波長予約方式においてリンクステート情報の更新間隔に着目すると、高負荷時には、更新間隔が大きくなるにつれて棄却率が劣化することがわかる。これは、フォワード型波長予約方式では送信ノードにおいて経路と波長を選択することから、

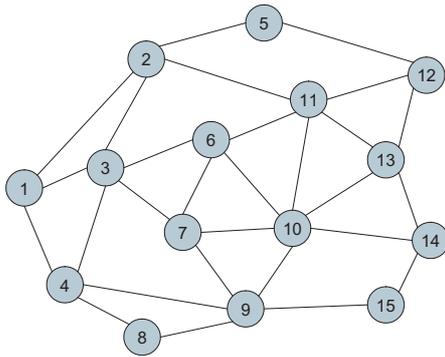


図 1. ネットワークモデル

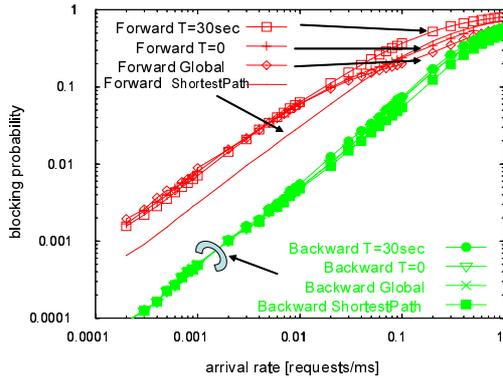


図 2. 各波長予約方式における棄却率の比較

不正確な情報に基づいて波長を選択するためである。一方、利用可能な波長情報を収集するバックワード型波長予約方式ではリンクステート情報の更新間隔による性能差は見られない。リンクステート情報の配布の間隔が光パス設定時間と比較して大きい場合には、送信ノードが保持するリンクステート情報と現在のリンク利用状態の違いが大きくなると考えられるが、棄却率の劣化はほとんどない。これは光パス設定要求はポアソン到着および指数分布の保持時間としているため、定期的なリンク負荷がほとんど変わらず、その結果バックワード型波長予約方式における経路選択への影響が小さくなるためであると考えられる。以上のことから、フォワード型波長予約方式と比較し、バックワード型波長予約方式はリンクステート情報の更新間隔を大きくすることなく良い性能を得ることができる。

次に、バックワード型波長予約方式を対象とし、光パス設定要求が発生してから光パス設定完了までの時間を表 1 に示す各経路選択方式に対して求めた結果を図 3 および 4 に示す。縦軸は光パス設定の完了に要した時間の平均であり、横軸は到着率である。

図 3 では各ノードがすべてのリンクステート情報を正確に知っていると仮定した時 (Global) の結果とリンク利用状況に変更がある度にリンクステート情報を配布する時 ($T=0$) の結果を比較している。この図を見ると、 $T=0$ とした場合においてもリンクステート情報の配布に伝搬遅延時間必要となるため経路選択に利用する情報が遅れて各ノードに届き、その結果、Global と比較して性能が悪くなっていることがわかる。また、最短経路のみを選択する手法 (Shortest Path) と最小負荷経路選択手法を比較すると、負荷が低い場合には Shortest Path の方がパス設定完了までの時間が短くなることわかる。これは、Shortest Path では光パス設定に要する波長資源が少なくなるためである。FAR with 1SP and LL は負荷が低い時には Shortest Path と同等の性能を示し、負荷が高い場合にも最も良い性能を示している。最小負荷経路選択による代替経路選択

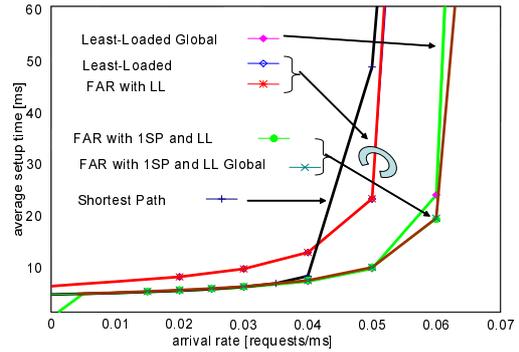


図 3. リンクステート情報に変更がある度に配布する場合の光パス設定に要した時間の結果

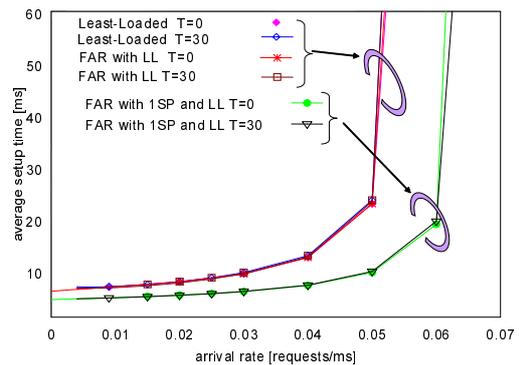


図 4. 定期的にリンクステート情報を交換する場合の光パス設定に要した時間の比較

では、選択経路のホップ長が大きくなり光パス設定に要する波長資源数は増大する。一方、FAR with 1st and LL の場合、1 回目の光パス設定試行の経路はホップ数最小となる経路を用いており、2 回目以降の試行に対してはリンクの負荷に応じた経路選択を行っているため、全体的に良い性能を示している。

最後に、 $T=0$ の結果と $T=30\text{sec}$ とした時の比較結果を図 4 に示す。この図から、図 2 のバックワード型波長予約方式の結果と同じ傾向を示しており、 $T=30\text{sec}$ としても $T=0$ の結果と性能差がほとんどないことがわかる。

以上のことより、波長予約時にリンク利用状況を収集するバックワード型波長予約方式ではリンクステート情報の更新間隔に対する性能差はほとんど無く、また、光パス設定要求に対する 1 回目の経路選択をホップ数最小とすることによって光パス設定時間が短くなることわかった。今後は、経路計算に要する時間の評価を含めて、分散型光パスネットワークにおいてどのような経路制御手法が有効であるかを明かにしていく予定である。

謝辞

本研究の一部は通信・放送機構 (TAO) および文部科学省科学研究費基盤研究 (A) (14208027) によっている。ここに記して謝意を表す。

文献

- (1) A. Banerjee, J. Drake, J. Lang, B. Turner, K. Kompella, and Y. Rekhter, "Generalized multiprotocol label switching: An overview of routing and management enhancements," *IEEE Communication Magazine*, vol. 9, pp. 144–150, Jan. 2001.
- (2) X. Yuan, R. Gupta, and R. Melhem, "Distributed control in optical WDM networks," in *Proceedings of IEEE Conference on Military Communications (MILCOM'96)*, vol. 3, pp. 100–104, Oct. 1996.
- (3) 徳 隆宏, 荒川 伸一, 村田 正幸, "WDM ネットワークにおける分散型経路制御方式の評価," 電子情報通信学会技術報告 (IN2003-43), pp. 7–12, Sept. 2003.