

WDM ネットワークにおける波長予約に基づく 光パス設定の高速化手法の提案

蟹谷 陽介[†] 荒川 伸一^{††} 村田 正幸^{†††} 北山 研一[†]

[†] 大阪大学大学院 工学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

^{††} 大阪大学大学院 経済学研究科 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-7

^{†††} 大阪大学 サイバーメディアセンター 〒 560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-30

E-mail: [†]kanitani@ac.eie.comm.eng.osaka-u.ac.jp, kitayama@comm.eng.osaka-u.ac.jp

^{††}arakawa@econ.osaka-u.ac.jp, ^{†††}murata@cmc.osaka-u.ac.jp

あらまし WDM を利用した通信形態のひとつに、ノードにおいて光パス設定要求が発生すると同時に高速に波長を予約し、通信を行う方式が考えられている。ただし、光パス設定時に資源の競合が生じた場合は再度光パス設定を試みる必要があることから、通信要求発生から通信開始が可能となるまでの時間は光パス設定の試行回数に大きく依存する。本稿では、通信開始までの時間の短縮を目的としたパス設定手法を提案する。具体的には、従来のパス設定手法を組み合わせることで往復伝搬遅延時間あたりに光パス設定を 2 回試みることにより、往復伝搬遅延時間あたりに 1 回光パス設定を試みる従来方式よりも高速に光パス設定が完了できる。提案方式と従来方式の比較を計算機シミュレーションにより行い、その結果、光パスの保持時間が大きい場合に有効であることを明らかにしている。一方、保持時間が小さい場合には、ノードにおける処理遅延時間による性能差が見られるものの、提案方式と従来方式には有意な差がないことがわかった。

キーワード フォトニックネットワーク、光パス、波長予約、バックワード、コネクション設定遅延

A Proposal of Fast Wavelength Reservation Method with Retrials for Distributed Lightpath Establishment in WDM Networks

Yosuke KANITANI[†], Shin'ichi ARAKAWA^{††}, Masayuki MURATA^{†††}, and Ken-ichi KITAYAMA[†]

[†] Graduate School of Engineering, Osaka University
Suita, Osaka 565-0871, Japan

^{††} Graduate School of Economics, Osaka University
Mathikaneyama 1-7, Toyonaka, Osaka, 560-0043 Japan

^{†††} Cybermedia Center, Osaka University
Mathikaneyama 1-30, Toyonaka, Osaka, 560-0043 Japan

E-mail: [†]kanitani@ac.eie.comm.eng.osaka-u.ac.jp, kitayama@comm.eng.osaka-u.ac.jp

^{††}arakawa@econ.osaka-u.ac.jp, ^{†††}murata@cmc.osaka-u.ac.jp

Abstract One promising approach to effectively utilize WDM networks is to transfer the data on-demand basis through a fast wavelength reservation. Then, the data is transferred using the assigned wavelength channel. If the wavelength reservation fails, the data transfer delay, which is defined as the time from when the data transfer request arises at the source node to when the data is successfully received by the destination node, is much affected since retrieval of the wavelength reservation is delayed by the propagation delay. In this paper, we propose a new wavelength reservation method to reduce the data transfer delay. Our basic idea is to reserve the wavelength in *both* the forward and backward directions, whereas the conventional methods does *either* in the forward or backward direction. We compare the proposed method with the conventional methods via computer simulations. The results show that our method is effective when the holding time of the wavelength channel is large.

Key words Photonic Network, Lightpath, Wavelength Reservation, Backward, Setup Delay

1. はじめに

波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) における通信形態の一つに、通信要求の発生時に波長の予約を高速に行い、その後通信を行う方式が考えられている [1]。この場合、送受信ノード間で波長のチャンネルを設定することで光パスを設定し、通信を行う。

光パス設定をネットワーク内の各ノードが分散して行うための波長予約方式として、波長を送信側、または、受信側から予約する波長予約方式 (それぞれ、フォワード型波長予約方式、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は送信ノードから受信ノードに向かって各リンクで波長を予約していく波長予約方式である。一方、バックワード型波長予約方式は、送信ノードから受信ノードへ向かう時は各リンクの波長の利用状況を調べるのみで、それに基づいて受信ノードから送信ノードに向かって各リンクの波長を予約していく。文献 [2] では、光パス設定時における波長の予約時間、および、予約する波長数の違いに基づいてフォワード型/バックワード型波長予約方式の比較評価が行われている。その結果、フォワード型波長予約方式よりもバックワード型波長予約方式のスループット性能が良いことが示されている。

送受信ノード間で波長予約を行う際に競合が発生し、光パス設定に失敗した場合、送信ノードから再び波長を予約する必要がある。そのため、通信要求が到着してから通信開始が可能となるまでの時間 (以降、コネクション設定遅延時間) は、ネットワークの各リンクの伝搬遅延時間に大きく依存する。文献 [3,4] ではバックワード型波長予約をもとにして、光パス設定時の棄却率を小さくする方式が提案されている。文献 [3] では、送信ノードから受信ノードまでの複数の経路における各リンクの波長利用状況を受信ノードに通知し、受信ノードにおいて最新の波長利用状況に基づいた経路選択を行うことで性能向上を図っている。一方、文献 [4] では、波長が予約されている時間のみを他のデータ転送に使用する Nested Reservation 方式が提案されている。

上記を含む分散型波長予約に関する多くの研究では、受信ノードから送信ノードに対してのみ波長予約を試みるのみであり、往復伝搬遅延時間あたりの光パス設定の試行回数は 1 回である。そのため、光パス設定のための波長予約に失敗すると、波長予約に成功し、通信が可能となるまでの時間は往復伝搬遅延時間だけ遅れる。そこで、本稿では、コネクション設定遅延時間の短縮を目的として、従来の波長予約手法を組み合わせることで往復伝搬遅延時間あたりの波長予約を 2 回とする光パス設定手法を提案する。なお、本稿で提案する光パス設定手法は OBS (Optical Burst Switching) [5] だけでなく、コネクション型の通信に適用することができる。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 章において、本稿で想定するネットワークモデル、および、従来の波長予約方式を説明する。次に、3 章において提案方式を述べる。4 章では、計算機シミュレーションによって提案方式方式と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の比較評価を行う。

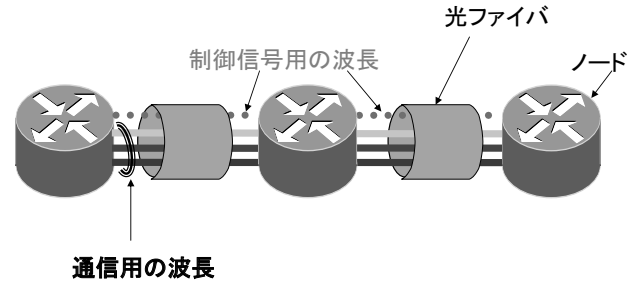


図1 ネットワークモデル

最後に 5 章で本稿のまとめ、今後の課題を述べる。

2. 分散型波長予約方式

2.1 ネットワークモデル

本稿で想定するネットワークを図 1 に示す。ネットワークは、ノードと光ファイバから構成される。各ノードは、波長スイッチとその制御を行う制御部から構成されており、ノード間は光ファイバで連結されている。光ファイバ中の 1 波長は、制御用のデータをやりとりするための波長である。残りの波長は送受信ノード間の通信に用いるための波長であり波長スイッチと連結される。波長スイッチは、入力光ファイバ中の特定の波長を電気処理を行うことなく光信号のまま出力光ファイバに送り出す装置である。ノード間で通信を開始する場合、送信ノードから波長スイッチの調整を行うための制御信号を送出し、受信ノードまでの各ノードにおいて波長スイッチの設定を行うことで光パスを設定し、その後通信を行う。なお、本稿では、波長変換は行わないとし、送受信ノード間において同一の波長を用いて光パスを設定するものとする。

2.2 フォワード型波長予約方式

フォワード型波長予約方式の動作を図 2 に示す。送信ノードで通信要求が発生すると、まず送信ノードに接続されているリンクの波長の利用状況を調べる。空いている波長の中から 1 波長を選択し、その波長を予約するとともに、波長番号を RES 信号に書き込んで次ノードに向けて送信する。受信ノードまでの各ノードでは、RES 信号に書き込まれた波長番号にもとづき次リンクの波長を予約する。波長予約に失敗した場合 RES 信号を NACK 信号に置き換える。受信ノードで RES 信号を受け取ると、光パスの設定が完了されたとし、ACK 信号を送信ノードに向けて送出する。NACK 信号を受け取った場合、NACK 信号を送信ノードに向けて送出する。送信ノードが ACK 信号を受け取ると送受信ノード間で通信を開始する。一方、NACK 信号を受け取ると、光パスの設定に失敗したため予約した波長を解放する REL 信号を送出するとともに、再度波長の予約を試みる。

2.3 バックワード型波長予約方式

バックワード型波長予約方式の動作を図 3 に示す。送信ノードにおいて通信要求が発生すると、PROBE (予備の検査) 信号を生成し、送信ノードに接続されているリンクの波長の利用状況を調べ、その結果を PROBE 信号に書き込んで次ノードに向けて送出する。受信ノードまでの各ノードでは、PROBE 信号に書き込まれた波長利用状況と次リンクの波長利用状況との積

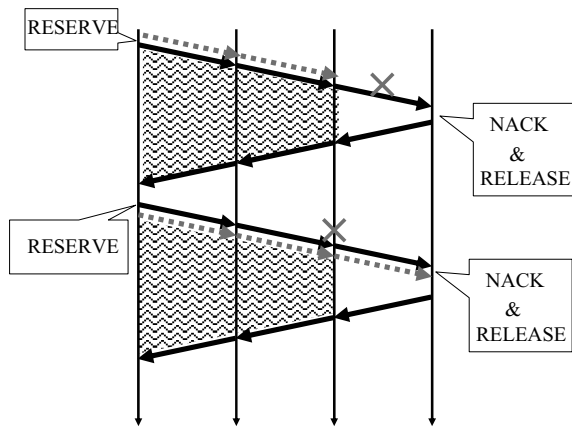


図2 フォワード型波長予約方式

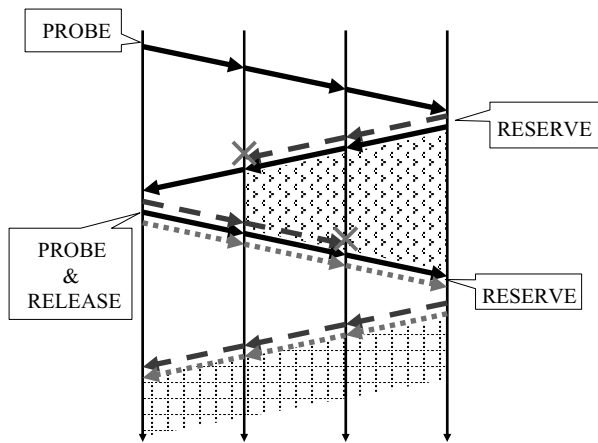


図3 バックワード型波長予約方式

集合をとる。受信ノードでは、PROBE 信号中に書き込まれた波長利用状況にもとづいて1波長選択し、RES 信号を用いて受信ノードから送信ノードに向けて波長予約を試みる。すべてのリンクで波長予約に成功すると設定された光パスを用いて通信を開始し、通信が終了すると予約した波長を解放するREL 信号を受信ノードに向けて送出する。波長の予約に失敗した場合、光パスの設定に失敗したため予約した波長を解放するREL 信号を送信するとともに、再度波長の予約を試みる。

3. 通信開始までの時間短縮を目指した光パス設定方式の提案

本章では、従来の波長予約手法を組み合わせることで往復伝搬遅延時間あたりの波長予約を2回とする提案手法の説明を行う。提案方式の基本的動作は図4のようになる。図4に示すように、通信要求が送信ノードに到着すると、送信ノ

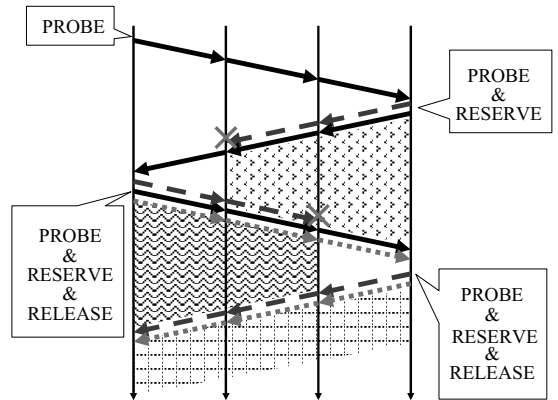


図4 提案方式

ドはバックワード型波長予約方式と同様に PROBE 信号を受信ノードに向けて送出する。従来方式と異なる点は、受信ノードで PROBE 信号を受け取った時に、RES 信号を送出するだけではなく、PROBE 信号を生成し送信ノードに向けて送出する点にある。受信ノードから RES 信号によって波長予約が順次行われている時に、競合により波長予約に失敗すると、送信ノードでは受信ノードから送られてくる PROBE 信号から波長を選択し、フォワード型波長予約方式と同様に送信ノードから受信ノードに向けて波長予約を試みる。また、バックワード型波長予約方式と同様に PROBE 信号を生成し、受信ノードに向けて送出する。

以上のように、提案方式では往復伝搬遅延時間あたりの波長予約の試行回数が2回となるため、従来方式に比べて波長予約のための制御信号の往復回数が少なくなる。その結果、高速な光パス設定を行うことができる。提案方式の詳細な動作は以下の通りである。

(1) 送信ノードの動作

- (S1) 端末から通信要求を受取ると PROBE 信号を生成し、最初のリンクにおける空き波長を候補波長として PROBE 信号へ書き込み、次のノードへ送出する。
- (S2) 中間(受信)ノードから RES 信号を受取ると、端末へコネクシオン設定が完了したことを知らせる。端末は、RES 信号中に書き込まれた波長を用いて通信を開始する。
- (S3) NACK 信号を受取ると(NACK 信号中の予約波長が空集合の場合)、受信ノードから送られてくる PROBE 信号中の空き波長を調べ、ランダムに選んだ1波長を予約波長とし隣接リンクの波長を予約する。次に、波長番号を RES 信号に書き込み、受信ノードに向けて送出する。また、受信ノードから送信ノードにむけての波長予約に備え、(S1)に従って PROBE 信号を再度作成し、受信ノードに向けて送出する。
- (S4) NACK 信号を受取ると(予約波長が空集合以外の場合)予約波長が書き込まれた REL 信号を受信端末に送出す

る。続いて (S3) と同様に RES 信号および PROBE 信号を生成し、これらの信号を受信ノードに向けて送出する。

- (S5) ACK 信号を受取ると、ACK 信号中に書き込まれた波長を用いて通信を開始する。
- (S6) 通信が終わると最初のリンクで予約された波長を解放するとともに予約波長が書き込まれた REL 信号を受信端末へ送出する。

(2) 中間ノードの動作

- (I1) PROBE 信号を受取ると次のリンクでの空き波長の集合と、PROBE 信号中の候補波長の集合の積集合をとり、次のノードへ PROBE 信号を送出する。
- (I2) RES 信号を受取ると RES 信号中の予約波長の集合と次のリンクの空き波長の集合の積集合をとる。予約波長が空集合でない場合は RES 信号を次のノードへ送出する。予約波長が空集合である場合、NACK 信号を送信ノードに向けて送出する。
- (I3) NACK 信号、あるいは、ACK 信号を受取ると、そのまま次のノードへ送出する。
- (I4) REL 信号を受取ると、次のリンクの予約波長を解放し、次のノードへ REL 信号を送出する。

(3) 受信ノードの動作

- (R1) PROBE 信号を受取ると、PROBE 信号中の空き波長を調べ、1 波長をランダムに選び予約波長とする。次に、受信ノードにつながったリンクでその予約波長が空いているかを調べる。空いていない場合は予約波長を空集合とし、NACK 信号を送信ノードへ送出する。空いている場合には予約波長を予約し、RES 信号を送信ノードへ送出する。
- (R2) RES 信号を受取ると、RES 信号中の予約波長を調べ、空集合の場合は NACK 信号を送信ノードへ送出する。空集合以外の場合は ACK 信号を送信ノードへ送出する。
- (R3) NACK 信号、あるいは、ACK 信号を受取ると、それらをそのまま送信ノードへ送出する。

4. 性能評価

本章では、提案方式の評価を、従来手法である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と比較することで行う。トポロジーは、3 ノードタンデムネットワーク (図 5) および 14 ノード 20 リンクから構成される NSFNET (図 6) を用いる。いずれのトポロジーにおいても、リンクの伝搬遅延時間は 1.0 ms とし、また、各ノード間に対して事前にホップ数最小の経路を与えている。エンドノード間の通信要求の到着過程はポアソン過程に従うと仮定し、光パスの保持時間 (サービス時間) は指数分布に従うものとする。また、到着率および保

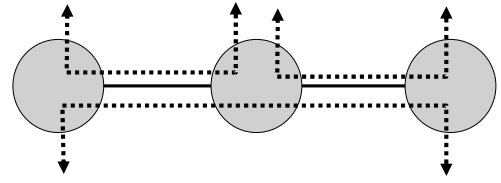


図 5 3 ノードタンデムネットワーク

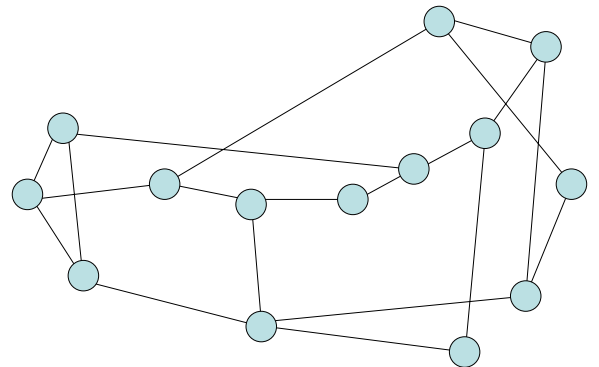


図 6 NSFNET

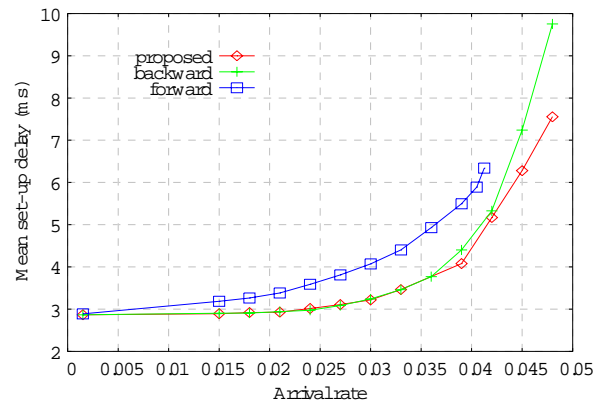


図 7 提案方式と従来方式の比較: 3 ノードタンデム、平均サービス時間 50ms

持時間はすべてノード間で等しいとする。性能指標には、通信要求が発生してから光パス設定が完了し通信開始が可能となるまでの時間であるコネクション設定遅延時間を用いる。また、本稿では、送受信ノードにおいて制御信号の処理に必要な処理遅延時間は 0.1 ms と設定する。また、送受信ノード間の中間ノードにおける制御信号の処理遅延時間は 0 としている [6]。

図 7 に、3 ノードタンデムネットワークにおいて平均サービス時間を 50 ms とした時の、1ms あたりの到着率に対するコネクション設定遅延時間を示す。図中の “proposed” は提案方式、“backward” はバックワード型波長予約方式、“forward” はフォワード型波長予約方式の結果である。文献 [2] に示されている

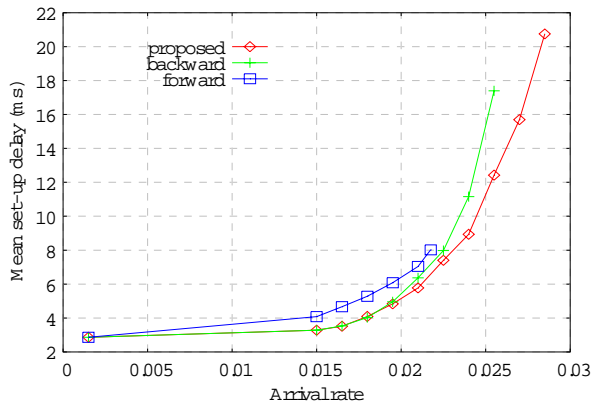


図 8 提案方式と従来方式の比較: 3 ノードタンデム、平均サービス時間 100ms

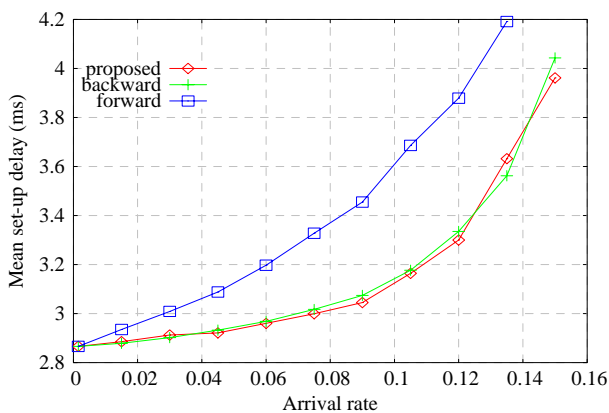


図 9 提案方式と従来方式の比較: 3 ノードタンデム、平均サービス時間 10ms

ように、フォワード型波長予約方式の接続設定遅延時間は他の方式に比べて大きく劣化していることがわかる。次に、提案方式とバックワード型波長予約方式の結果を比較すると、到着率が高い時に提案方式の性能が良くなっていることがわかる。一方、到着率が低い時には性能差はほとんどない。これは、提案方式により接続設定遅延時間に性能差が現れるのは連続して 2 回以上波長予約に失敗する場合であるが、到着率が低くなるにつれて波長予約に失敗する回数が減少していくためである。平均サービス時間を 100ms とした時も同様の傾向が示されている（図 8）。平均サービス時間を 10ms とした時の各波長予約方式の結果が図 9 である。この図を見ると、提案方式とバックワード型波長予約方式の差がほとんどないことがわかる。平均サービス時間が比較的短い場合、PROBE 信号を用いて波長の利用状況を集めても波長の利用状況が頻繁に変わるためである。

次に、中間ノードにおいて処理遅延が生じる場合について、提案方式およびバックワード型波長予約方式の結果を図 10 と図 11 に示す。なお、ここでは、中間ノードの処理遅延を 0.1ms としている。先に述べたように、平均サービス時間が短い場合（図 10）には提案方式とバックワード型波長予約方式の間に有意な性能差は見られない。一方、中間ノードにおいて処理遅延

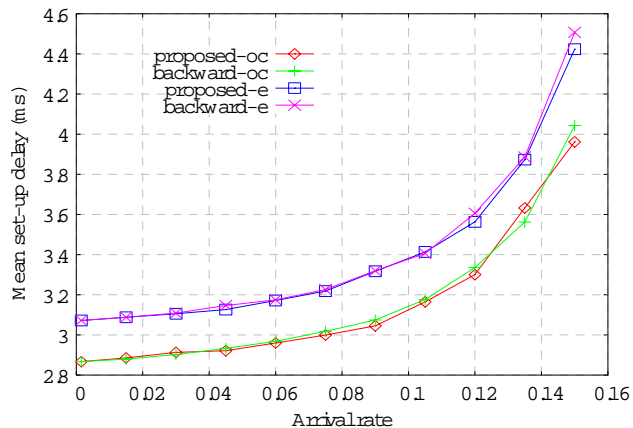


図 10 中間ノードにおける処理遅延時間の影響: 3 ノード、平均サービス時間 10ms

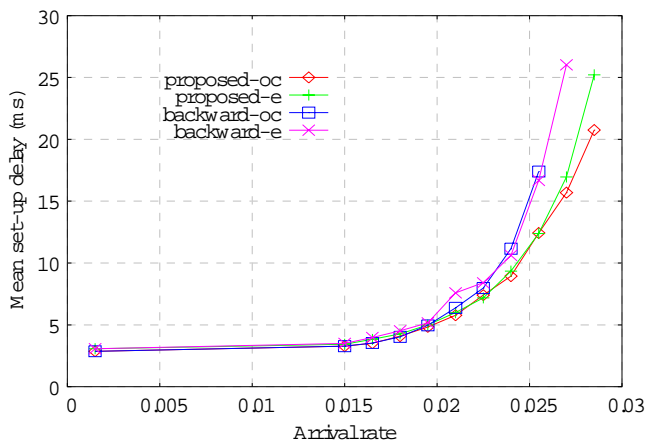


図 11 中間ノードにおける処理遅延時間の影響: 3 ノード、平均サービス時間 100ms

を伴う場合と伴わない場合の接続設定遅延時間を比較すると、到着率が高くなるにつれて差が大きくなっている。平均サービス時間が長くなると（図 11 参照）、サービス時間に対する処理遅延時間の割合が小さくなるため、中間ノードにおいて処理遅延を伴う場合と伴わない場合の接続設定遅延時間の性能差が小さくなる。ただし、バックワード型波長予約方式に比べ、提案方式の接続設定遅延時間は短まっている。

最後に、トポロジーを NSFNET に変更した時の結果を示す。NSFNET においても 3 ノードタンデムネットワークと同様の傾向を示しており、バックワード型波長予約方式に比べ、提案方式は接続設定遅延時間が短くなっている。

5. まとめ

本稿では、通信要求が到着してから通信開始までの時間の短縮を目的とした波長予約手法の提案を行った。提案手法では、受信ノードから送信ノードに向けて波長を予約するとともに、波長の空き状況を調べるための PROBE 信号を送信ノードに向けて送る。波長予約に失敗した場合に送信ノードから受信ノードに向けて波長を予約することにより、往復伝搬遅延時間の光

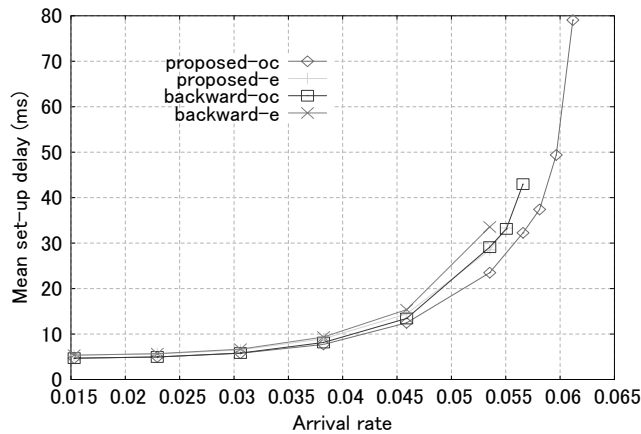


図 12 電気処理と光符号処理の比較: NSFNET, 平均サービス長 50ms

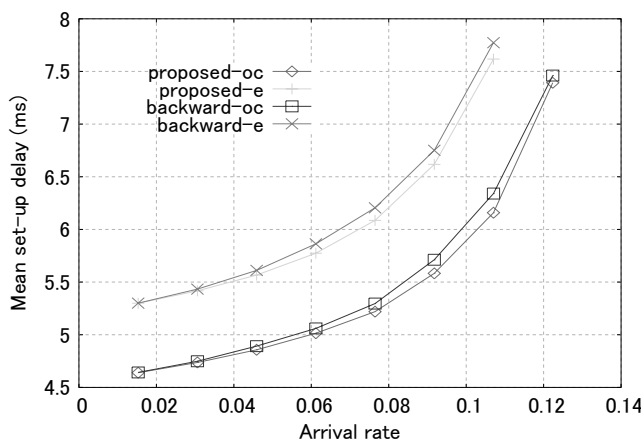


図 13 電気処理と光符号処理の比較: NSFNET, 平均サービス長 10ms

パス設定の試行を 2 回とすることにより、通信が可能になるまでの時間を短縮している。計算機シミュレーションにより従来手法との比較評価を行った結果、提案手法は光パスの保持時間が大きい場合に有効であることがわかった。また、光パスの保持時間が小さい場合には、性能に差がないことが明らかとなった。ただし、中間ノードにおける処理遅延時間を小さくすることにより、通信が可能になるまでの時間が小さくなることも明らかとなった。今後は、解析手法を用いて提案方式と従来手法を比較評価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] I. Chlamtac, A. Ganz, and G. Karmi, "Lightpath communications: An approach to high bandwidth optical WAN's," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 40, pp. 1171–1182, July 1992.
- [2] X. Yuan, R. Melhem, R. Gupta, Y. Mei, and C. Qiao, "Distributed control protocols for wavelength reservation and their performance evaluationin," *Photonic Network Communications*, vol. 1, no. 3, pp. 207–218, 1999.
- [3] J. Zheng and H. T. Mouftah, "Distributed lightpath control based on destination routing for wavelength-routed WDM networks," *Optical Network Magazine*, vol. 3, pp. 38–46, July 2002.
- [4] J. Zheng and H. T. Mouftah, "A nested path reservation protocol for multiplexed all-optical networks," in *Proceedings of ONDM*,

pp. 401–411, Feb. 2003.

- [5] D. Michael and P. Bayvel, "Analysis of a dynamically wavelength-routed optical burst switched network architecture," *Journal of Light-wave Technology*, pp. 574–585, Apr. 2002.
- [6] 荒川, 大串, 村田, 北山, "GMPLS ネットワークにおける高速パス設定のための光符号を用いたアーキテクチャの提案," 電子情報通信学会技術報告 PNI2002-6, pp. 26–32, Apr. 2002.