

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

荒川 伸一[†] 大串幾太郎^{††} 村田 正幸^{†††} 北山 研一^{††}

[†] 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

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

Tel: 06-6879-7728 Fax: 06-6879-7688

^{†††} 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: [†]ogushi@comf5.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 GMPLS (Generalized MPLS) ネットワークにおけるパス設定方式としてデータ駆動型によるパス設定方式が考えられている。この方式は、データ発生もしくはトラヒックの変動に対して動的にパス設定を行えるため、トラヒックの変動に対して有効であると考えられる。ただし、パス設定が完了してデータ転送が開始するまでの時間によって性能が大きく変わるため、パス設定時間の高速化が必要である。本稿では、パス設定に必要となる各ノードでの制御を、光符号処理を用いることによって高速化を図るアーキテクチャを提案している。また、計算機シミュレーションによって、提案アーキテクチャが有効となるネットワーク環境を明らかにしている。

キーワード Generalized MPLS、データ駆動型、データ転送、光符号、パス設定、OC-MPLS

A Study on Architecture using Optical Code Processing for Fast Path Setup in Generalized MPLS Network

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

[†] Graduate School of Economics, Osaka University
Mathikaneyama 1-7, Toyonaka, Osaka, 560-0043 Japan

^{††} Graduate School of Engineering, Osaka University
Suita, Osaka 565-0871, Japan

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

E-mail: [†]ogushi@comf5.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 In a GMPLS (Generalized MPLS) network employing a WDM technology, a path setup method based on a data-driven approach is effective against the changing of traffic patterns. It is because the path is dynamically set up between source and destination nodes when the burst transfer request arises at the source node. However, the influence of the path setup time, including the propagation delay between source and destination nodes and the processing delay at the intermediate nodes, becomes a key issue in order to achieve a high throughput. In this paper, we propose an architecture, which eliminates electronic processing at intermediate nodes by utilizing the optical code processing technology. Through computer simulations, we demonstrate the effects of introducing our architecture.

Key words Generalized MPLS, Data-driven model, Data Transfer, Optical Code, Path Setup, OC-MPLS

1. はじめに

高速大容量データ伝送のための次世代ネットワークとして、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) を基盤としたフォトニックネットワークが期待されている。フォトニックネットワークでは、ノードにおける電気処理を光領域で行うことによって、エレクトロニクスデバイスの速度限界を超える高速なネットワークを構築することを目指している。

その一方で、従来の IP (Internet Protocol) ルーティング技術は、増加をたどるトラフィックに対し、柔軟かつ高度なサービスを提供することが困難になりつつある。そこで、次世代ネットワーク技術として MPLS (MultiProtocol Label Switching) 技術が注目されている。MPLS ネットワークでは、その入口に配置されたルータ (Edge-LSR) において、IP パケットに固定長の短いラベルをつける。MPLS ネットワーク内のルータ (Core-LSR) では、固定長のヘッダーを見てパケットフォワーディングを行うため、高速転送が実現できる。また、ラベルの割り当てを送受信ノード間で行い、Edge-LSR において IP パケットをラベルに適切にマッピングすることで、これまでの IP ルーティング技術では困難であったトラフィックエンジニアリング・通信品質の差別化を比較的容易に実現可能になる。近年、この MPLS ネットワーク技術を光通信技術に基づいたネットワークに適用できるように拡張した GMPLS (Generalized MPLS) が広く研究されており、ラベルとしてさまざまなものが適用できるようになっている。例えば、タイムスロット、波長群、ファイバなどがある [?]。また新しいフォトニックネットワーク技術を対象に、光符号 (OC: Optical Code) を MPLS のラベルに適用した OC-MPLS [?, ?]、および、WDM ネットワークにおいて波長自体をラベルとして扱う λ -MPLS などの研究が進められている [?]

GMPLS ネットワークにおける LSP (Label Switched Path) 設定手法として、コントロール駆動型とデータ駆動型が考えられている。コントロール駆動型では、経路情報などの制御情報が更新された時に、LSP の再設定を行う。一方、データ駆動型によるパス設定方式では、受信したパケットのヘッダ情報に基づいてオンデマンドで LSP の設定を試みる。データ駆動型では、データ発生もしくはトラフィックの変動に対して動的にパス設定を試みるため、ネットワークの環境の変化に柔軟に対応できる。しかし実際には、パス設定要求の発生後、パス設定が完了してデータ転送が開始されるまでの時間によって性能が大きく変わるため、現状ではコントロール駆動型設定方式が現実的であると考えられている。しかし、パス設定を高速に行うことができれば、データ駆動型による LSP 設定が有用になる。本稿では、パス設定に必要な各ノードでの制御を、光符

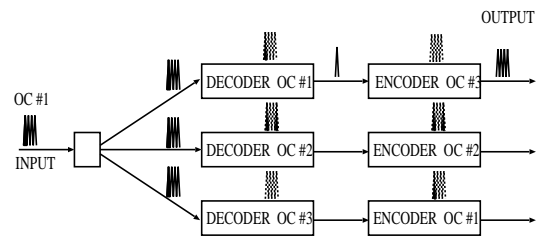


図 1 光符号認識・書き換えのためのデバイス構成

号 (OC: Optical Code) を用いることによって高速化を図る OC-MPLS ネットワークの検討を行っている。高速パス設定を実現するためのアーキテクチャを提案し、計算機シミュレーションによってその有効性を明らかにしている。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 章において、光符号を用いたスイッチング技術について説明する。次に、3 章において光符号を用いたパス設定アーキテクチャの提案を行う。4 章では、シミュレーションによって、評価を行う。最後に 5 章で本稿のまとめを行い、今後の課題を述べる。

2. 光符号を用いたスイッチング技術

本稿では、光符号を用いてパス設定を行う。そのため、光符号の認識、および書き換え機能が必要となる。図 ?? に、光符号認識および書き換えのための構成を示す。入射する光符号をカプラーにより各光復号器に分岐させる。次に、前節に示した光符号 / 光復号の原理により、光復号器と一致する光符号のみが認識される。ただし、認識のために必要となる光復号器の数は、想定する光符号の数だけ必要となる。光復号器からの出力をモニタリングすることにより、光符号の認識が可能となる。一方、光符号の書き換えは、光復号器の後段に光符号器を配置することで実現が可能である。図 ?? では、光復号器とのマッチドフィルタリングが行われ (OC#1 が取り出される)、その後所望の光符号器を通すことで光符号の書き換えが行われる。これらの光符号の認識および書き換えは、光受動素子を用いることによっておこなわれるため、光領域での高速処理が実現可能となる。

3. 高速パス設定のための光符号を用いたアーキテクチャ

3.1 波長予約方式

従来のパス設定方式として、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がある [?]。フォワード型波長予約方式では、パス設定要求が発生すると、送信ノードから受信ノードに無かって波長予約を試みる。一方、バックワード方式 (図 ??) では、送信ノードから受信ノードに向かう途中では波長予約は行わず、リンクの利用情報のみを集める。受信ノードでは、集めた情報をもとに予約する波長を選択し、その後受信ノードから送信ノード

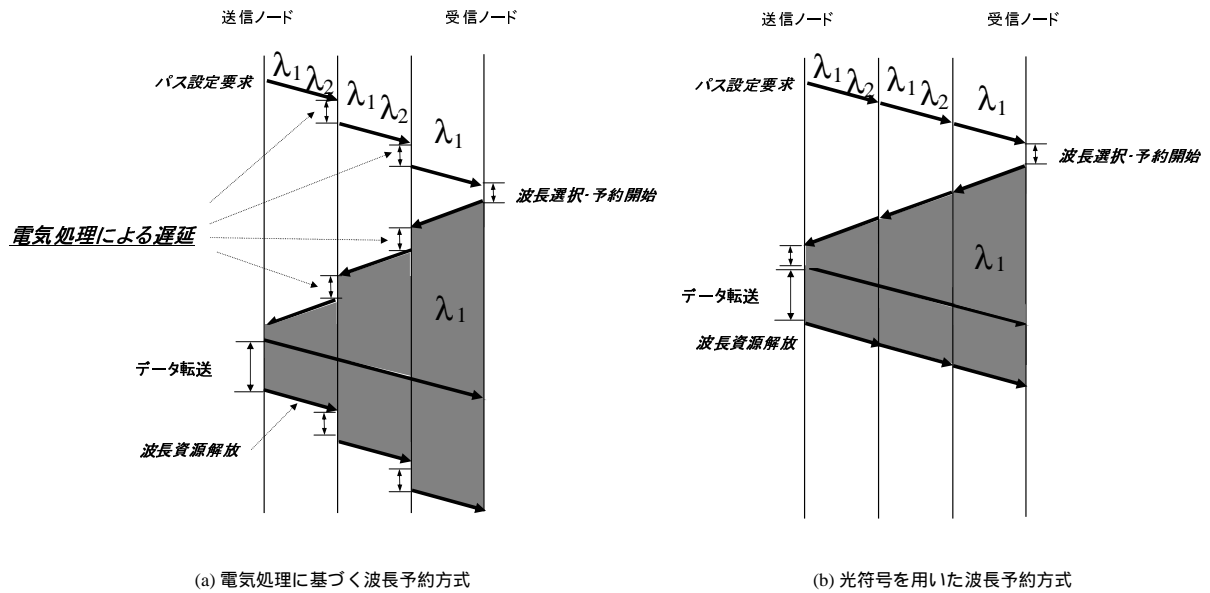


図2 従来アーキテクチャと提案アーキテクチャの比較

に向けて波長予約が行われる。いずれの方式においても、送受信間のすべてのリンクにおいて波長予約が成功した場合、その波長を用いてデータ転送を行う。また、光パスの設定に失敗した場合、そのデータ転送要求をブロックとし、棄却する。

3章で提案するアーキテクチャでは、図??における各中間ノードでの処理遅延時間を短縮化し(図??)、波長が予約されている時間および転送開始までの遅延時間を小さくすることで性能向上を図る。以下では、本稿で対象とするバックワード型波長予約方式(??)の概略を述べる。

(1) 送信ノードは次リンクの波長の利用状況を調べ、利用可能な波長を候補波長集合とし、 $W_0 = \{\lambda_i, \dots, \lambda_j\}$ に設定する。利用可能な波長が存在する場合($W_0 \neq \phi$) W_0 を PROBE (予備的検査) 信号に書き込み、受信ノードに向けて送出する。利用可能な波長がない場合($W_0 = \phi$)、その転送要求をブロックとし、端末に通知する。

(2) 中間ノードが PROBE 信号を受け取ると、候補波長集合 $W_0 = \{\lambda_i, \dots, \lambda_j\}$ と次リンクにおいて利用可能な波長集合 $W_k = \{\lambda_p, \dots, \lambda_q\}$ との積集合を求め、それを W_l に設定する。

この時、

- 次リンクにおいて利用可能な波長が存在する場合 ($W_l \neq \phi$) 候補波長集合 W_l を PROBE 信号に書き込み、次ノードに送出する。

- 利用可能な波長が存在しない場合 ($W_l = \phi$) 波長予約に失敗したとして、NACK 信号を送信ノードに向けて送出する。この場合、波長予約は行われなため波長の解放も行われない。

(3) 受信ノードに PROBE 信号が到着すると、PROBE

信号中の候補波長集合 $W_0 = \{\lambda_p, \dots, \lambda_q\}$ と受信ノードからみた次リンクにおいて予約可能な波長集合 $W_m = \{\lambda_s, \dots, \lambda_t\}$ との積集合を求め、それを W_n に設定する。

この時、

- 予約可能な波長が存在する場合 ($W_n \neq \phi$)、候補波長集合 $W_n = \{\lambda_s, \dots, \lambda_t\}$ の中から1波長を選択し(その波長を λ_u とする) λ_u を予約するとともに RESEVE 信号に λ_u を書き込み、次ノードに送出する。

- 予約可能な波長が存在しない場合 ($W_n = \phi$)、NACK 信号を送信ノードに向けて送出する。

(4) 中間ノードが RESERVE 信号を受け取ると、RESERVE 信号中の波長 λ_u と次リンクにおいて予約可能な波長集合 $W_m = \{\lambda_s, \dots, \lambda_t\}$ との積集合を求め、それを W_n に設定する。

この時、

- 予約可能な波長が存在する場合 ($W_n \neq \phi$)、RESERVE 信号を次ノードに送出する。

- 予約可能な波長が存在しない場合 ($W_n = \phi$)、RELEASE 信号に λ_u を書き込み受信ノードに向けて送出し、波長 λ_u を解放する。

(5) 送信ノードに RES 信号が到着すると、RESERVE 信号中の波長 λ_u を用いてデータ転送を開始する。データの転送が終了すると、送信ノードから受信ノードに向けて RELEASE 信号を送出し、波長 λ_k を解放する。

(6) 送信ノードに NACK 信号が到着すると、その転送要求をブロックとし、端末に通知する。

3.2 制御パケットフォーマットモデル

本節では、前節で示した波長予約方式を、光符号を用い

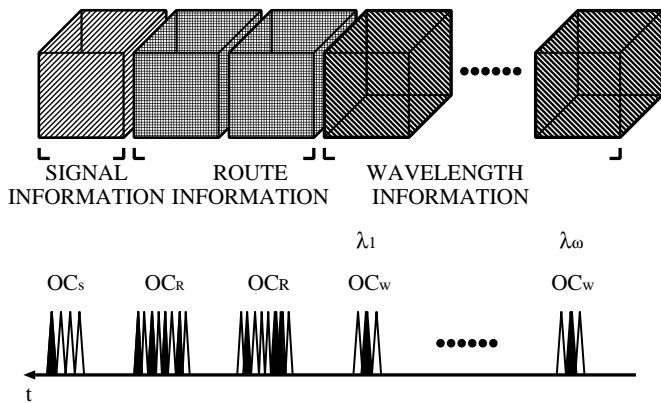


図3 光符号化した制御情報パケットフォーマット

て実現するための制御パケットフォーマットを規定する。制御パケットは、

- シグナル情報部
- 経路情報部
- 波長情報部

から構成される。送受信間のパス設定を高速に行うために、これらの情報はすべて送信側で制御情報パケットとして光符号化され、制御情報転送ネットワークでは光領域のまま処理される。図 3 に制御情報パケットのフォーマットを示す。シグナル情報部には、各パス設定方式で用いる信号の種類を判別するための光符号が入る。経路情報部には、各ノードに到着する信号が自身のノード宛ての制御パケットであるかを判別するための情報を書き込む。波長情報部には各リンクの波長予約状況、または予約する波長を記録する。以下にこれらの情報に対して、光符号を用いた場合のパケットフォーマットを示す。

3.2.1 シグナル情報部

シグナル情報部は各パス設定方式で用いる信号の種類を判別するための情報である。フォワード型、バックワード型のいずれのパス設定方式においても、使用する信号は高々5種類であるため、単一パルスを4チップパルスに分解して光符号化を行えばよい。以下に、バックワード型パス設定方式における各信号に対して、4チップパルスを用いた光符号を示す。

PROBE 信号 (OC_1^1): $[0, 0, 0, \pi]$

RESERVE 信号 (OC_2^3): $[0, 0, \pi, 0]$

ACK 信号 (OC_3^3): $[0, \pi, 0, 0]$

NACK 信号 (OC_4^4): $[\pi, 0, 0, 0]$

RELEASE 信号 (OC_5^5): $[\pi, 0, 0, \pi]$

各信号の説明については次のとおりである。

(1) PROBE 信号

送信ノードから受信ノードまでに利用可能な波長を調べ

るための信号であり、バックワード型波長予約方式にのみ存在する。PROBE 信号は送信ノードから受信ノードに向けてのみ送られる。中間ノードでは、各ノードにおいて利用可能な候補波長を PROBE 信号に書き込む。そのため、光符号を用いた場合、PROBE 信号は各ノードにおいて、PROBE 信号のもつ波長情報の書き換え操作を行う必要がある。受信ノードに PROBE 信号が到着すると、その波長情報をもとに空き波長の中から1波長をランダムに選び、RESERVE 信号を送信ノードに向けて送る。もし、利用可能な候補波長がまったくない場合は、NACK 信号を送信ノードに向けて送信する。

PROBE 信号を含めてすべての信号は光符号化されるため、2章で示した信号情報の読み取り、また書き換えを光受動素子を通すことで光領域で処理が行える。

(2) RESERVE 信号

RESERVE 信号は、予約する波長の情報を各ノードに通知し、実際に波長を予約するために用いる信号である。フォワード型波長予約方式においては、送信ノードから受信ノードに向けて送信される。

各ノードでは、RESERVE 信号から予約すべき波長情報を取り出し、波長予約を行う。波長予約時には光クロスコネクットの切り替え操作、およびそのノードにおける波長情報の変更が必要となる。一方、バックワード型波長予約方式においては、受信ノードより送信ノードに向けて送られる。受信ノードから波長を予約する場合もフォワード方式と同様の手順が必要となる。

PROBE 信号と同様に、RESERVE 信号の読み取りは光受動素子を通すことで光領域で処理が行える。波長予約は、予約するノードに保持されている波長の利用情報を変えることであり、光符号器の書き換えが必要となる。

(3) ACK 信号

ACK 信号は波長予約に成功したことを表す信号である。この信号は、フォワード型波長予約方式においてのみ存在する。ACK 信号は予約した波長情報を載せ、受信ノードから送信ノードに向けて送信される。ACK 信号から波長情報を読み取るのは、送信ノードのみである。ACK 信号が送信ノードに到着すると、波長情報の読み取りが行われ、その波長を用いてデータ転送が開始される。

(4) NACK 信号

設定に失敗した場合、それを送信ノードに知らせる必要がある、それを表す信号が NACK 信号である。フォワード型波長予約方式においては受信ノードから送信ノードに向けて送信され、予約に失敗した波長情報を載せて送られる。ACK 信号同様、NACK 信号を読み取る必要があるのは、送信ノードのみである。また、バックワード型波長予約方式において、設定が失敗する場合として以下の2通り考えられる。一つは、PROBE 信号によって波長の利

用情報を集めた結果、書き込むことが可能な波長がなくなる場合である。この場合、受信ノードより送信ノードに向けて NACK 信号を送信する。また、RESERVE 信号を送信した後に、すでにその予約波長がその他のパス設定要求によって予約、もしくは使用されている場合である。これは、RESERVE 信号中の波長情報の有無によって決定できる。つまり、RESERVE 信号中に予約する波長情報が書き込まれていない場合を予約の失敗と考えることで、この RESERVE 信号と NACK 信号は同一とみなせる。

(5) RELEASE 信号

データ転送完了もしくは波長予約を終了させる場合、各ノードにおいて予約していた波長を解放させる必要があり、そのための信号が RELEASE 信号である。各ノードで RELEASE 信号を受け取ると、RELEASE 信号を読み取り、指定された波長を解放する。波長解放は、波長予約と同様の操作で行うことになる。すなわち光符号器の書き換えが必要となる。なお、各リンクで予約された波長資源は、RELEASE 信号の衝突によって解放されないことが考えられる。それを防ぐためには、ソフトステートにより波長資源を管理する必要がある。ただし、ソフトステート実現のための詳細な検討は今後の課題である。

3.2.2 経路情報部

経路情報部は、設定する光パスの経由するノードおよびリンク情報を表す。制御パケットは経路情報部の情報にしたがって、各ノードでスイッチングされる。経路情報部の光符号の割り当て方法として、各ノードに応じて固有の光符号を割り当てる場合を考える。用意すべき光符号の総数はノード数となるため、その数はネットワークの規模に依存する。また、パス設定プロトコルは送受信間で光パスを設定するので制御パケットとしては、送信ノードと受信ノードの2つの情報を載せる必要があり、送受信ノードをあらわす2つの光符号が制御パケットに必要である。以下にノード A から D まで光符号化した例を示す。

$$\text{ノード A } (OC_R^1): [0, 0, 0, 0, \pi]$$

$$\text{ノード B } (OC_R^2): [0, 0, 0, \pi, 0]$$

$$\text{ノード C } (OC_R^3): [0, 0, \pi, 0, 0]$$

$$\text{ノード D } (OC_R^4): [0, \pi, 0, 0, 0]$$

3.2.3 波長情報部

波長情報部は、制御パケットの信号の種類によって保持する情報が異なる。制御パケットが PROBE 信号の場合、波長情報部には、各リンクにおいて利用可能な波長情報が保持されている。ある一つの波長 λ_j が利用可能であることを表す光符号を 1 ビット用意し、これを各波長に対して時系列順に並べることで利用可能な波長情報を表現している。利用可能 / 不可能をその光符号の有無で判断す

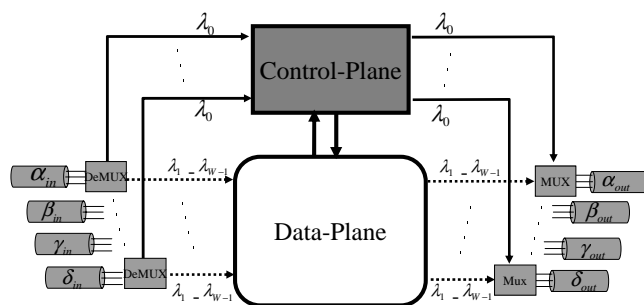


図4 OC-MPLS ノードアーキテクチャ

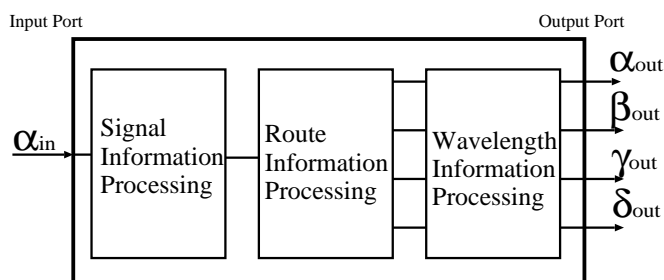


図5 制御プレーンの論理構成図

る。必要となるビット長は、ネットワークにおいて利用可能なデータチャンネル数に等しく、 $W - 1$ ビットとなる。また、利用可能なデータチャンネル数に等しい数だけ光符号を用意する必要がある。一方、制御パケットが RESERVE 信号の場合は、波長情報部には予約する波長が記録されている。予約する波長は、PROBE 信号と同じ光符号を用いて 1 ビットで表現される。以下にデータチャンネル数を 4 とした場合に、波長情報部に用いる光符号の例を示す。

$$\text{波長 } \lambda_1 \text{ を利用可能 } (OC_{\lambda_1}^{ON}): [0, 0, \pi]$$

$$\text{波長 } \lambda_2 \text{ を利用可能 } (OC_{\lambda_2}^{ON}): [0, \pi, 0]$$

$$\text{波長 } \lambda_3 \text{ を利用可能 } (OC_{\lambda_3}^{ON}): [\pi, 0, 0]$$

$$\text{波長 } \lambda_4 \text{ を利用可能 } (OC_{\lambda_4}^{ON}): [\pi, \pi, \pi]$$

3.3 制御プレーンアーキテクチャ

図 ?? は、波長予約に基づいたパス設定を行うための OC-MPLS ノードアーキテクチャである。光符号化された制御パケットは、ある特定の波長 (λ_0 とする) を使用して、各ノード間で相互に交換される。各ノードでは、入力ファイバ中の λ_0 を取り出し、 λ_0 中の制御パケットの情報に基づいてデータ転送部 ($\lambda_1 \dots \lambda_W$) のスイッチ構成を変更する。本稿では、制御パケットの処理を光符号を用いて高速化するためのアーキテクチャを示す。まず、図 ?? に、制御パケットの処理を行う制御プレーンの論理構成図を示す。制御プレーンは、シグナル情報処理部、経路情報処理部、波長情報処理部の 3 段構成になっている。それぞれの処理部では、制御パケットフォーマットに沿って、シグナル情報部、経路情報部、波長情報部の 3 つの情報を読みとり、読

み取った内容に応じてそれぞれの処理を行う。まず最初に制御パケットのシグナル情報部を取り出し、制御信号を判別する。次に、経路情報部を取り出して次ノードへの出線を決する。最後に、その出線の波長の利用情報を反映させるために、波長情報処理部でマッチドフィルタリングを行う。これらの3種類の情報部はすべて組み合わせの異なるチップパルス列で光符号化されるため、各光符号に対応した光復号器をあらかじめ用意しておくことで情報の読み取りおよび書き換えが行える。なお、制御パケットの信号の種類によって波長情報部の処理が不要になることもある(例えば NACK 信号)。そのため、提案するノードアーキテクチャでは、まず最初にシグナル情報部を取り出し、その信号の種類に応じて経路情報部・波長情報部の処理を行っている。以下、それぞれの情報処理部のアーキテクチャを説明する。

シグナル情報部の処理のためのアーキテクチャを図??に示す。シグナル情報部には、制御パケットの信号(PROBE、RESERVE、RELEASE、NACK)が書き込まれているが、信号の種類によって行う処理が異なる。バックワード型パス設定方式では、制御パケットの波長情報部の書き換えが必要な信号は、PROBE 信号(利用状況の収集)および RESERVE 信号(波長予約の可否)である。逆に、RELEASE 信号中の波長情報部は、各ノードによって読み出され、マッチドフィルタリングに用いる光復号器に反映させる。また、NACK 信号は、中間ノードにおいて波長情報部の読み取り、書き換え操作、および光復号器への反映は一切不要である。そのため、経路情報部を取り出した後は、そのまま次ノードに出力される。

制御パケットはシグナル情報処理部による判別が終わると、次段の経路情報処理部へ出力する。制御パケットの経路情報部を処理するためのアーキテクチャを図??に示す。経路情報処理部では、宛先ノードに対応する光符号をマッチドフィルタリングによって求め、出力ポートを判別する。なお、すべての宛先ノードの制御パケットに対応するため、各ノード自身を表す光符号および光復号器を割り当てる。ただし、入力された制御パケットの宛先ノードが自身のノードであった場合、宛先ノードから発信ノードに向けて RESERVE 信号を送り出す必要があるため、この宛先ノードで送信ノードの認識を行う。

最後に波長情報部の読み書きのための構成を図??に示す。波長情報処理部では、制御パケットの波長情報部の読み取り、および、書き換えを行う。波長情報部の書き換え操作を必要とするのは、PROBE 信号および RESERVE 信号である。これらの信号の制御パケットは、まず図??に入力され、 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$ を表す光符号が各光復号器で復号される。次に、この出力線における現在の波長の利用状況との積集合を取るために、光符号器に通過させている。

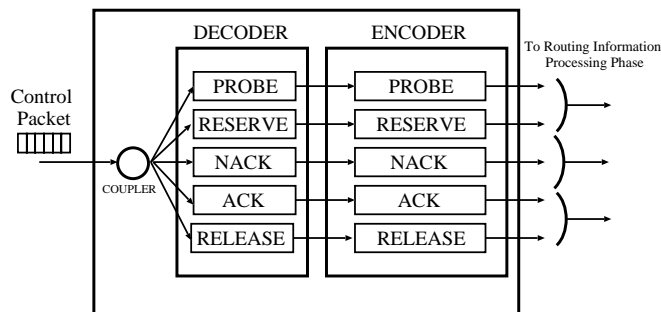


図 6 シグナル情報部の処理

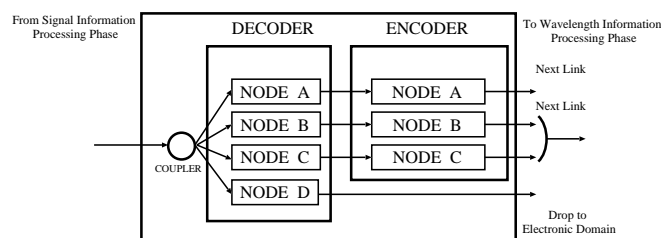


図 7 経路情報部の処理

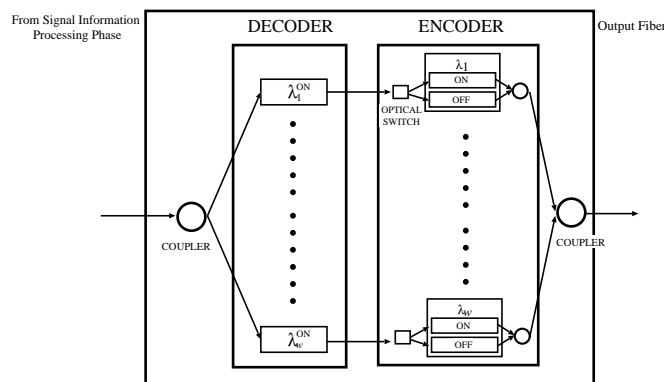


図 8 波長情報部の処理

ここで、あらかじめ波長が利用可能である状態 (ON) と利用できない状態 (OFF) を表す二つの光符号器を用意しておくものとする。すなわち、波長が利用可能であればスイッチが ON を表す光符号器へスイッチングし、利用できない場合には OFF を表す光符号器へスイッチングする。この操作により、現在の波長利用状況を反映することが可能である。光スイッチに対する制御自体は電気信号を用いた電気処理を行う。

4. 性能評価

本章では、提案する OC-MPLS ネットワークの有効性を、計算機シミュレーションを用いて明らかにする。

図??に計算機シミュレーションで用いる N ノードネットワークモデルを示す。パス設定要求は、リンク L_1, L_2, \dots, L_{N-1} のみを經由する R_1, R_2, \dots, R_{N-1} と、 $N - 1$ 本のリンク L_1, L_2, \dots, L_{N-1} を經由する R_0 において発生するものとする。各パス設定要求の到着過程はポアソン過程とし、すべてのコネクションに対して等しく

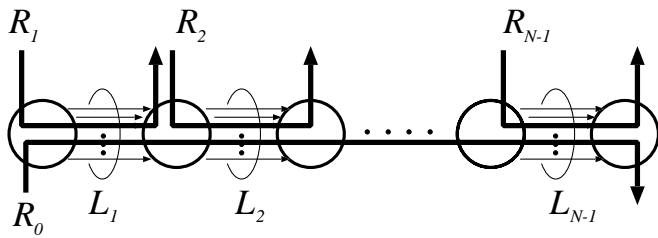


図9 N ノードネットワークモデル

表1 シミュレーションの諸元

回線容量 C	40 Gbps
ノード数 N	4
波長数 W	33
ノード処理遅延 D	0.1 ms

λ [個/ms]とする。また、要求するデータ転送量(データ長)は指数分布に従うとし、その平均を $1/\mu$ とする。1波長あたりの回線容量を C Gbps とし、各リンクにおいて利用可能な波長数はすべてのリンクで同一とし、 W とする。その内、1波長を制御パケット転送用に割り当て、残りの $W-1$ 波長をデータ転送用に使用する。また、すべてのリンクにおいて伝搬遅延時間は一定であるとし、 p ms で表す。各ノードにおいて、制御パケットを電気処理で行う際の処理遅延時間を D ms で表す。負荷 ρ はネットワークへ到着するパス設定要求量とし、以下のように求める。

$$\rho = \lambda \times C \quad (1)$$

また、本稿では、性能指標としてブロッキング率を用いる。ブロッキング率は発生したパス設定要求に対して、波長予約が失敗し、要求が棄却される確率を表す。なお、シミュレーションにおいては、波長予約に失敗したパス設定要求数を、発生させたパス設定要求数で割った値をブロッキング率としている。

シミュレーションの諸元は表1に示すとおりである。これらのパラメータをもとに、各ノードで電気処理を行う従来方式と光符号を用いて高速化を図った提案方式の比較検討を行う。なお、本稿では、文献[?]において性能が良いとされているバックワード方式を対象としてシミュレーションを行っている。

図2に負荷 ρ に対する従来方式(Conventional)と提案方式(OC-MPLS)の平均ブロッキング率を示す。ただし、データ長を 1.0 ms (5 MByte に相当)、リンクの伝搬遅延時間 p を 0.01 (ノード間の距離 2 km に相当)としている。

図を見ると、光符号を用いて高速化を図った提案方式は、従来方式と比べてあらゆる負荷において性能向上が見られる。

次に、リンクの伝搬遅延時間 p を変化させた時の、データ長に対するブロッキング率を求めた結果を図3に示す。なお、リンクの伝搬遅延時間 p はノード間の距離に相

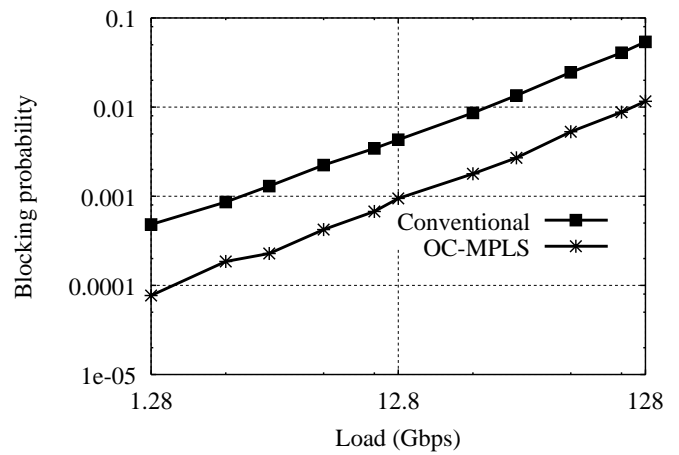


図10 提案方式と従来方式の性能評価の比較

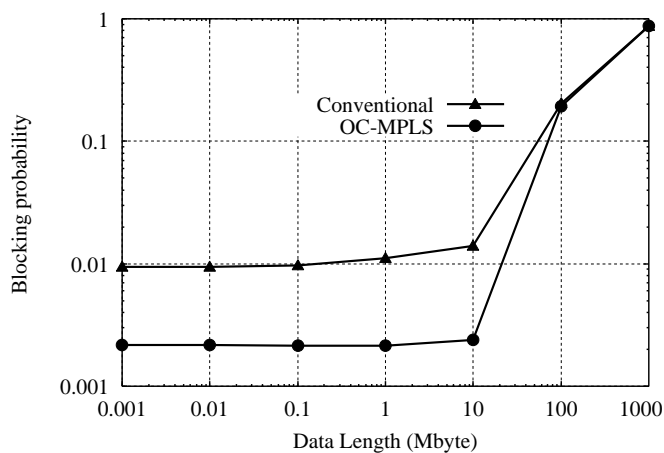
当し、LAN (Local Area Network) 環境として $p = 0.005$ (1 km)、MAN (Metropolitan Area Network) 環境として $p = 0.05, 0.5$ (10 km, 100 km)、WAN (Wide Area Network) 環境として $p = 5.0$ (1000 km) とした時の結果を示している。これらの図を見ると、リンクの伝搬遅延時間が大きくなるにつれ、従来方式と提案方式の双方のブロッキング率が上昇していることがわかる。また、従来方式と提案方式を比較すると、 p が大きくなるにつれ、その性能差は縮まることがわかる。これは、ノードの電気処理による遅延を 0.1 ms としているため、リンクの伝搬遅延時間が比較的小さい LAN 環境では、電気処理による遅延が相対的に大きくなり、制御部の光符号を用いたスイッチングの効果が大きくなるためである。一方、WAN 環境では、伝搬遅延時間が 5 ms と大きいため、光符号を用いたスイッチングの効果が相対的に少なくなっている。

また、データ長に注目するとデータ長が大きい場合 (100 Mbyte から 1 Gbyte) には従来方式と提案方式との間に有意な性能差は見られないが、比較的小さい場合 (1 Kbyte から 10 Mbyte) は提案方式を用いることでブロッキング率を低く抑えることができることがわかる。これらの結果より、提案方式は LAN 環境から MAN 環境下において、ある程度のデータ長 (1 Kbyte - 10 Mbyte) のデータ転送で有効であることがわかった。

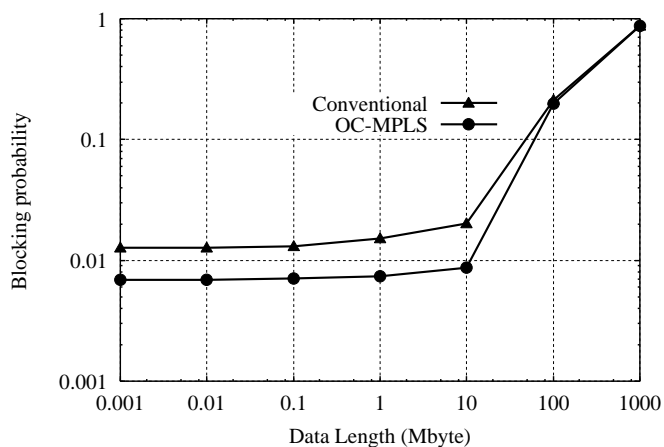
5. まとめ

本稿では、GMPLS ネットワークにおけるパス設定を高速で行うための、光符号を用いたアーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャでは、これまで電気処理を想定していた制御パケットの処理を、光符号のマッチドフィルタリングを用いることで光信号のまま行い、設定時間の短縮化を図っている。

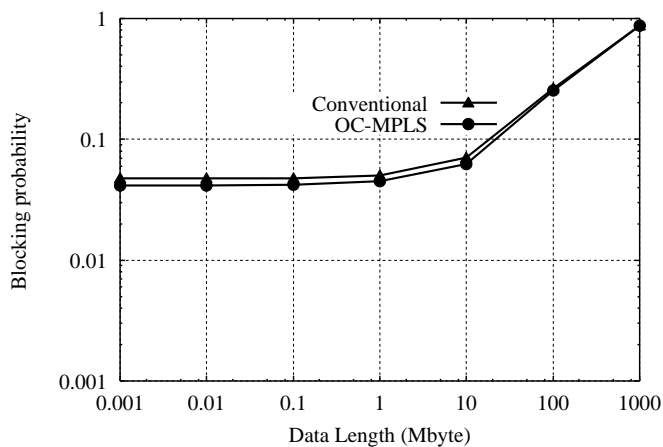
次に、提案アーキテクチャの有効性を示すために、計算機シミュレーションによる性能評価を行った。その結果、提案アーキテクチャを用いることで、従来のアーキテク



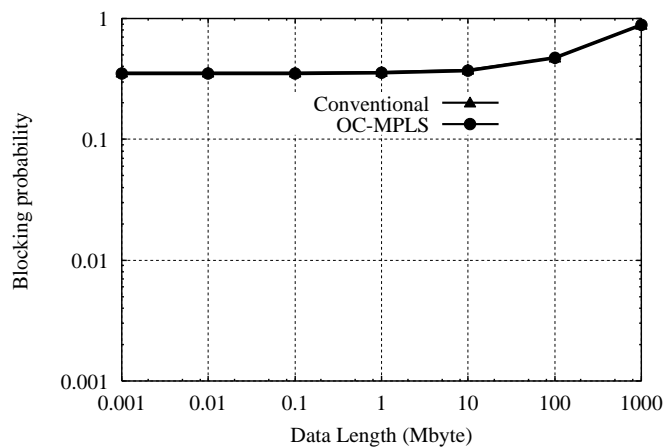
(a) LAN 環境 ($p = 0.005$) における比較結果



(b) MAN 環境 ($p = 0.05$) における比較結果



(c) MAN 環境 ($p = 0.5$) における比較結果



(d) WAN 環境 ($p = 5.0$) における比較結果

図 11 リンク伝搬遅延時間の違いによる提案方式と従来方式の比較

チャと比較して性能が良くなることを示した。しかし、パス設定に必要な時間はエンドノード間の伝搬遅延時間に依存しているため、ノード間の距離が 1000 km 以上の場合には、提案アーキテクチャによる性能向上の効果はほとんど見られないことがわかった。ただし、提案アーキテクチャの適用可能性を明らかにするには、パス設定要求が棄却された場合の再送機構を含めた、より現実に近いモデルでの性能評価が必要である。今後は、再送要求の影響を明ら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) によっている。ここに記して謝意を表す。