

# Dynamic Light-path Configuration with GMPLS for WDM Networks

橋 拓至

(奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程 現所属・同大学院大学情報科学研究科博士後期課程)  
指導教官 笠原正治 助教授

## 1. はじめに

Wavelength Division Multiplexing (WDM) 網ではルーティングの際の O/E/O (光/電気/光) 変換がボトルネックとなるため、伝送ノード間に波長パスと呼ばれるコネクションを設定して伝送を行う。WDM 伝送装置の一つである Optical Add/Drop Multiplexer (OADM) では、各ノードで波長を選択的に挿入/分岐することで伝送ノード間に波長パスを構築する。しかしながら、挿入/分岐波長は半固定的なので、トラフィック変動が激しい場合に性能が低下する。

そこで、本論文では OADM で構成された WDM 網で動的な波長パス構築を実現する動的波長パス設定法を提案し、性能評価を行う。

## 2. 動的波長パス設定法

提案方式では、各ノードを OADM と Label Switching Router (LSR) で構成し、hop by hop 伝送を行うデフォルトパスと、伝送ノード間で動的な設定/解放を実現する波長パスによってパケット伝送を行う。波長多重数  $W$  のとき、1 波長をデフォルトパス、 $W-1$  波長を波長パスとして利用し、各波長に専用バッファを設ける (図 1 参照)。

初期状態では、(1)パケットはデフォルトパス  $w_0$  を用いて隣接ノードに伝送される。デフォルトパスのバッファには閾値が設定されていて、(2)バッファ内パケット数が閾値を超えると輻輳状態と判断される。各パケットには始終点ノードを示すラベルが付与されており、(3)Generalized Multi Protocol Label Switching (GMPLS) を用いて、輻輳を引き起こしたパケットの始終点ノード間に波長パスが設定される [1]。また (4)設定されている波長パスのバッファが空になるとタイマが始動し、波長パス保持期間中に伝送パケットの到着がなければ、(5)GMPLS に従って波長パスを解放する。ここで、(3)、(5)に要する時間  $T_e$  及び  $T_r$  を波長パス設定/解放処理時間と呼ぶ。

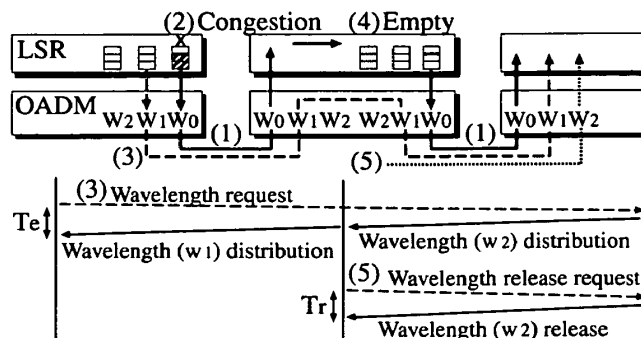


図 1 動的波長パス設定法

## 3. ネットワークモデル

ノード数  $L$ 、波長多重数  $W$  で、各ノードにアクセス網が接続されている WDM リング網を考える。各ノードのデフォルトパス (波長パス) 容量を  $K_d(K_i)$  とし、閾値を  $T_h$  とする。

パケットはアクセス網から率  $(L-1)\lambda$  で各ノードへポアソン到着し、到着パケットの伝送先は等確率  $1/(L-1)$  で選ばれる。パケット伝送時間、波長パス設定/解放処理時間、波長パス保持期間はそれぞれ、平均  $1/\mu$ ,  $1/p$ ,  $1/h$  の指数分布に従うと仮定する。

## 4. 性能評価

以下では、Light/Heavy traffic における提案方式の性能評価を行う。

Light traffic では波長パスの利用が少なく、パケット棄却も少ない。そこで、デフォルトパスのみで構成された Jackson Network として近似解析を行う。

各ノードのデフォルトパスには、アクセス網及び一つ前のノードからパケットが到着する。始終点ノードの組合せから、一つ前のノードを離脱したパケットは確率  $(L-2)/L$  でデフォルトパスに到着し、到着率は  $\lambda^{pre} = (L-1)(L-2)\lambda/2$  で与えられる。この到着がポアソン分布に従うと仮定すると、パケットは率  $\lambda_{all} = (L-1)\lambda + \lambda^{pre}$  で各ノードにポアソン到着する。

今、網内の任意ノードに対して複数並列待ち行列モ

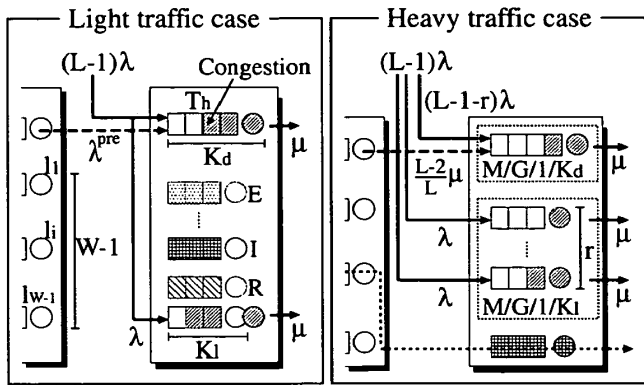


図2 近似解析モデル

モデルを構築する (図2参照).  $l_i (1 \leq i \leq W-1)$  を  $i$  番目の波長パスとする. 時刻  $t$  での  $l_i$  の状態を  $J_i(t)$  とし, パケット数 ( $0 \leq n \leq K_i$ ), アイドル状態 ( $I$ ), 設定中 ( $S$ ), 解放中 ( $R$ ) の計  $K_i+4$  個の状態をとる. また  $N_d(t)$  を時刻  $t$  でのデフォルトパス内パケット数とし, システムの状態を  $(N_d(t), \mathbf{J}_i(t))$  と定義する. ここで,  $\mathbf{J}_i(t) = (J_{i1}(t), \dots, J_{iW-1}(t))$  である. このとき,  $(N_d(t), \mathbf{J}_i(t))$  は連続時間マルコフ連鎖を形成する.

定常状態確率  $\pi(N_d, \mathbf{J}_i)$  は平衡状態方程式から一意に決定され, これよりパケット棄却率及び波長利用率が求められる.

Heavy traffic では各ノードが常に  $r$  本の波長パスを保持していると仮定する.  $r$  は各ノードが設定している波長パスの長さに依存し, 各ノードが最も短い波長パスから設定した場合の最大波長パス長  $n$  を使って, 上下限界が以下の式で与えられる.

$$\frac{2(W-1)}{L} \leq r \leq n + \frac{1}{n+1} \left\{ W-1 - \frac{n(n+1)}{2} \right\}.$$

パケットは一つ前のノードから率  $\mu$  の指数分布に従って離脱し, 確率  $(L-2)/L$  でデフォルトパスに到着する. 従って, 各ノードへは率  $\lambda_{au} = (L-1)\lambda + (L-2)\mu/L$  でポアソン到着し, デフォルトパスと各波長パスへの到着率は, それぞれ  $\lambda_{au} - r\lambda, \lambda$  で与えられる. このとき, デフォルトパスと波長パスを  $M/G/1/K_d, M/G/1/K_i$  でモデル化することで (図2参照), パケット棄却率及び波長利用率が求められる.

## 5. 数値例

$W=4, L=10, K_d=5, K_i=5, T_h=3, \mu=1.0$  の場合を考える. 図3は Light traffic の近似解析結果を表し, パケット到着率が  $(L-1)\lambda=0.045$  のときに波長パス設定/解放処理時間がパケット棄却率に与える影響を示している. この図から, 波長パス設定/解

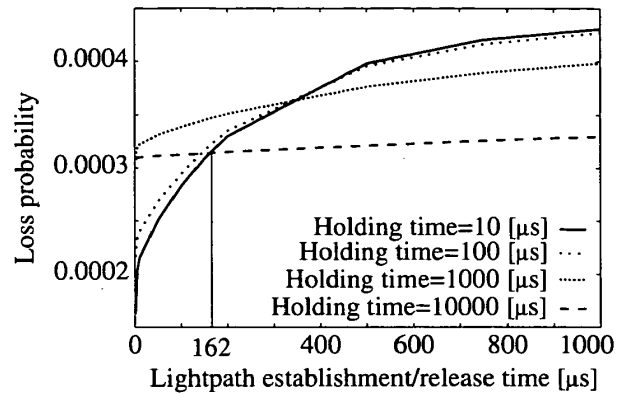


図3 波長パス設定/解放処理時間の影響

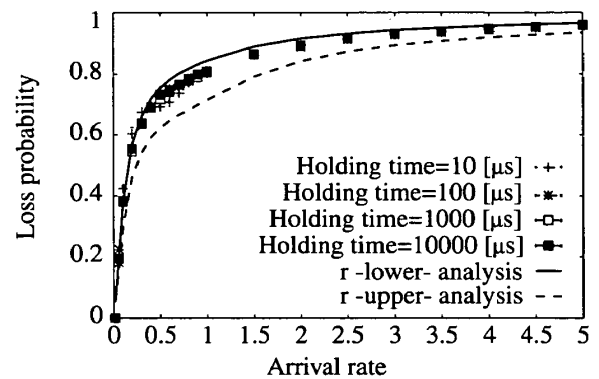


図4 パケット到着率の影響

放処理時間が  $162 \mu\text{s}$  以下ならば, 波長パス保持期間を  $10 \mu\text{s}$  に,  $162 \mu\text{s}$  以上であるならば保持期間を  $10,000 \mu\text{s}$  に設定すべきであることがわかる.

図4は Heavy traffic の数値例であり, 到着率によるパケット棄却率の変化を示している. この図から,  $r$  の下限値を用いた解析結果はシミュレーション結果に対して安全側を示すことがわかる. さらに  $r$  の下限値は  $r=2(W-1)/L$  で簡単に与えられるので, 棄却率の評価に有効である.

## 6. まとめ

本論文では, OADM で構成された WDM 網で動的な波長パス設定を実現する動的波長パス設定法を提案し, 近似解析とシミュレーションにより提案方式の性能評価を行った. 数値例では, 波長パス設定解放処理の影響及び解析モデルの妥当性を検討した.

## 参考文献

- [1] D. Awduche et al., "Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 3, pp. 111-116, Mar. 2001.