

## WDM ネットワークにおける負荷分散光波長パス設定方式

## An Optical Wavelength Path Establishment for Load Balancing in WDM Networks

永井 慎介†  
Shinsuke Nagai山口 実靖‡  
Saneyasu Yamaguchi浅谷 耕一\*  
Koichi Asatani

## 1. まえがき

WDM(Wavelength Division Multiplexing)は異なる複数波長を1ファイバに多重する技術である[1,2]. WDM ネットワークにおける光パス設定では, 送受信ノード間で同一の空き波長を選択する必要がある. よって, 高負荷時には光パス設定が困難になり棄却率が増加する RWA(Routing and Wavelength Assignment)問題がある [1,2]. 棄却率低減には, 各ノードが定期的に配布している LSAs(Link State Advertisements)を基にした LLR(Least Load Route)が有効である. しかし, LSAs 配布直後はネットワーク内の波長使用状況と各ノードが保持する LSAs は同等であるが, 時間の経過とともに LSAs と実際の波長使用状況に差異が生じる. このため, 配布間隔 MinLSInterval 後の次の LSAs までは, 各リンクの使用波長数が増加してもそれを把握できず棄却率が増加する問題がある. 一方, 消費波長資源が最小である LHR(Least Hops Route)は, 経路上に空き波長が存在する場合は短時間で光パス設定を完了できるが, 波長使用状況を考慮しないため高負荷時には棄却率が高くなる欠点がある.

本研究では, 負荷の変動に対して, 一定間隔での LSAs 配布の他に LHR 上の中継ノードから波長が解放されたことを通知する手法を加える. また, 経路選択手法としては, LHR と LLR を動的に選択する手法を提案する. 具体的には, 先に消費波長資源が最小である LHR で光パス設定を試み, 失敗時には高負荷経路を迂回する LLR で光パス設定を試みる.

## 2. LSAs 配布後の要求棄却数の増加

本章では, LSAs の配布間隔 MinLSInterval と要求棄却数の関係をシミュレーションにより明らかにする. シミュレーションモデルは4章にて後述するモデルに従う. 経路選択方式は LLR, 波長予約方式は要求発生時に送受信ノード間の往路で波長使用状況を収集し, 復路で波長予約を行う Backward Reservation Protocol (BRP)[2]を用いた. MinLSInterval は RFC 規定の 5s とした.

要求棄却数の時間変動を図1に示す. LSAs 配布時刻は点線で示す. 図1より, LSAs 配布直後から次の配布時刻まで要求の棄却数が増加していることが確認できる. よって, 棄却数を低減させるためにはネットワークの波長使用状況を LSAs により配布する以外にも, 空き波長の存在を通知する必要があると考えられる.

## 3. 提案方式

本章では, LHR 上の中継ノードから波長が解放されたことを通知する手法, および LHR と LLR を動的に選択する手法を提案する. 前者を3.1節, 後者を3.2節で説明する.

†\*工学院大学工学研究科電気電子工学科

‡\*工学院大学工学部電子工学科

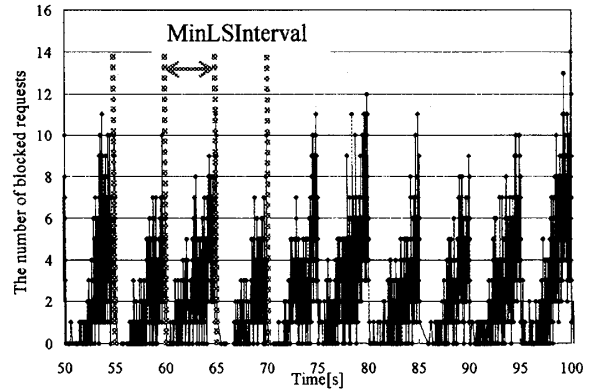


図1 LSAs 配布時刻と要求棄却数の関係

## 3.1 LHR 上の中継ノードからの波長解放通知手法

LHR 上の中継ノードからの波長解放通知手法の動作例を図2に示す. LHR はリンク数(ホップ数)が最小であるため, 送受信ノード間の全リンク数に対する1リンクの割合が高い. そのため, 中継ノードの隣接リンクにおいて使用していた波長の解放時に, 中継ノードが波長解放通知を再光パス設定待ち状態にある送信ノードに通知することで成功率が向上すると考えられる.

一方, 再光パス設定待ち状態であるバックオフ時間内に波長解放通知手法が到着しない場合は, LHR が高負荷である判断し, LLR 上で光パス設定を開始する. 本稿では, LHR 上の中継ノードからの波長解放通知を NRW (Notification of Released Wavelength)と呼ぶ.

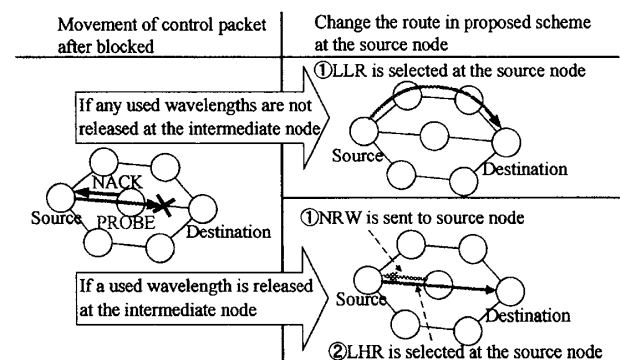


図2 LHR 上の中継ノードからの波長解放通知手法の動作例

## 3.2 受信ノードから LLR 上での光パス設定手法

受信ノードからの LLR 上での光パス設定手法の動作例を図3に示す. 受信ノードで決定した波長が LHR 上の中継ノードにおいて既に予約, または使用されている場合, 従来方式では棄却を通知するため送信ノードに NAK 信号を送信する. しかし, 提案方式では, 棄却とせず受信ノードから光パス設定を行うため, RELEASE 信号のみを受信ノード

ドに送信する。RELEASE 信号が到着した受信ノードでは、LLRで送信ノードに向けて波長予約を行う。

LHRはネットワーク内の波長使用状況の変化に追従することが困難であるため、他経路に空き波長が存在するにも関わらず棄却される可能性がある。これより、LHRからLLRに切り替えることで、波長使用状況を基にした経路上での2回目の光パス設定が可能となる。

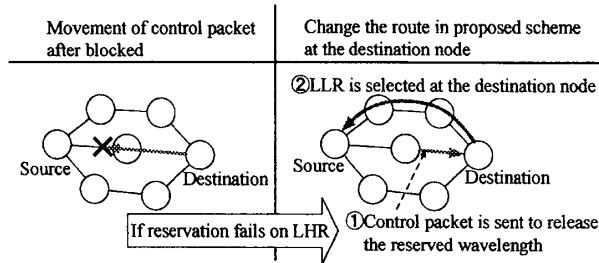


図3 受信ノードからLLR上での光パス設定手法

#### 4. 性能評価

本章では、従来方式として経路選択にLLRまたはLHRを適用したBRPと提案方式を比較評価する。

1リンク当たりの波長数を128、ネットワークトポロジを8x8格子状ネットワークとした。サービス時間を平均5s、バックオフ時間を平均5msの指数分布、光パス設定要求を平均λのポアソン分布に従う。パケット処理遅延時間は500μsとし、LLRは使用波長数をコストとしたDijkstra法により決定する。MinLSIntervalは5s、および50msとした。

MinLSIntervalを5sとした場合の棄却率を図4、MinLSIntervalを50msとした場合の棄却率を図5に示す。図4、5より、提案方式の方が従来方式よりも棄却率を低減していることがわかる。従来方式において、平均サービス時間とMinLSIntervalが同程度の場合、LHRを適用した方がLLRを適用するよりも棄却率を低減していることがわかる。また、平均サービス時間に対してMinLSIntervalが小さい場合は、ネットワーク内の波長使用状況の変化に追従することができるためLLRを適用した方が棄却率を低減していることがわかる。以上より、提案方式では、先にLHR上で試みることで低負荷状態でも棄却率が低減しており、失敗した場合はLLRに切り替えることで高負荷状態でも棄却率低減が実現したと考えられる。

次に、到着率を0.3、MinLSIntervalを50msにおける提案方式およびLLRを適用したBRPにおけるリンクごとの平均使用波長数分布を図6に示す。提案手法の方が従来方式よりも平均使用波長数が約20多い。これは、一定MinLSInterval以外のLSAs配布として提案方式のNRWが有効であり、波長を効果的に活用していることを示している。NRWにより空き波長が存在する時に資源最小のLHRで光パス設定が成功していることは棄却率が低減していることから確認できる。

#### 5. まとめ

本稿では、時間変動する負荷に対して、LSAsの配布間隔であるMinLSIntervalが一定間隔であるため棄却数が増加する問題点を明確にした。これよりMinLSInterval以外にLHRのノードから波長が解放されたことを通知する手法を提案した。提案手法により、LHR上での光パス設定の成功

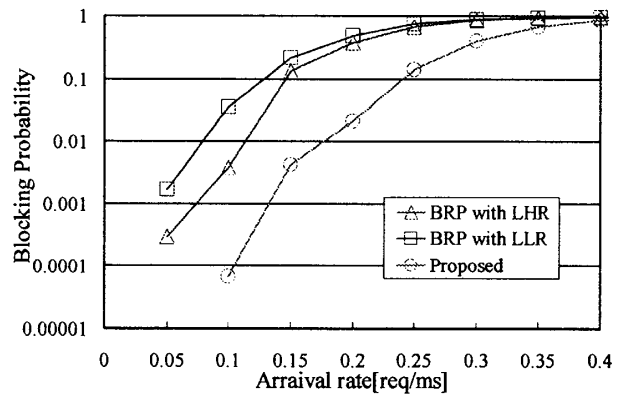


図4 MinLSIntervalを5sにした場合の棄却率

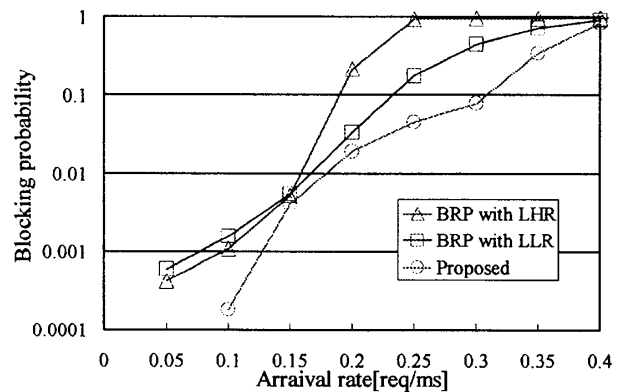


図5 MinLSIntervalを50msにした場合の棄却率

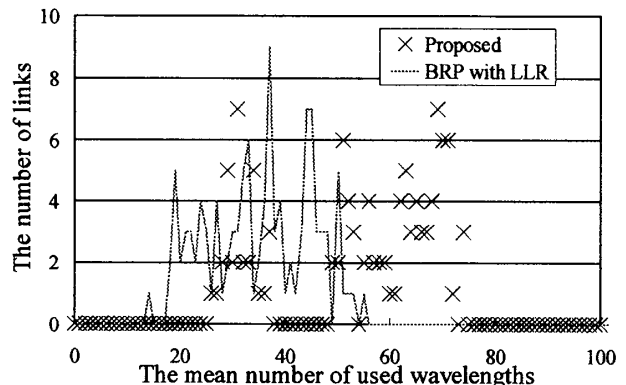


図6 リンクごとの平均使用波長数分布

率が向上した。また、LHRでの光パス設定失敗後に経路をLLRに切り替えることで変動負荷および高負荷リンク迂回による負荷分散が可能となる。シミュレーションにより性能評価した結果、提案方式の方が従来方式よりも棄却率、波長使用率ともに優れていることが確認できた。

#### 参考文献

- [1] H. Zang, L. Sahasrabudde, J. P. Jue, S. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength in Wavelength-Routed WDM Networks," IEEE Commun.Mag., pp. 100-108, Sep. 2001.
- [2] D. Saha, "An Efficient Wavelength Reservation Protocol for Lightpath Establishment in All-Optical Networks (AONs)," Proc., IEEE GLOBECOM'00, vol. 2, pp.1264-1268, Nov. 2000.