

# 階層化 QoS ルーティング・シグナリングプロトコルの インタードメイン光パスルーティングへの適用

藤川 賢治<sup>†</sup> 太田 昌孝<sup>††</sup>

<sup>†</sup> (独) 情報通信研究機構新世代ネットワーク研究センター 〒184-8795 東京都小金井市貴井北町 4-2-1

<sup>††</sup> 東京工業大学大学院情報理工学部研究科 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

E-mail: <sup>†</sup>hudikaha@nict.go.jp, <sup>††</sup>mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

あらまし 本稿ではドメインを跨ぐ動的な光パス構築手法について検討する。光パスルーティングは QoS 経路制御の一種であり、経路の振動、スケーラビリティ、インタードメイン間の最適経路選択など、様々な困難があることが知られている。これらの困難の解決の為に PCE が提案されているが、PCE では全ての困難を解決できない。本稿では分散制御による階層化 QoS ルーティング・シグナリング方式を提案し、各種困難を解決できることを示す。また提案方式を光パスルーティングに適用することで、動的なインタードメイン光パス構築が可能であることを示す。

キーワード PCE, 光パス, PQC, FAQ, HQLIP, SRSVP, 経路制御, 分散制御

## Adapting Hierarchical QoS Routing/Signaling Protocols to Inter-domain Optical Path Routing

Kenji FUJIKAWA<sup>†</sup> and Masataka OHTA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> National Institute of Information and Communication Technology, New Generation Network Research Center,  
4-2-1 Nukui-kita, Koganei, Tokyo, 184-8795, Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,  
2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552, Japan

E-mail: <sup>†</sup>hudikaha@nict.go.jp, <sup>††</sup>mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp

**Abstract** In this paper, we discuss the method of constructing dynamic inter-domain optical paths. Optical path routing is one type of QoS routings, and has some difficulties such as route flapping, scalability and inter-domain best path selection. For the purpose of solving these difficulties, PCE is proposed, but it cannot solve all the problems. In this paper, we propose distributedly-controlled hierarchical QoS routing/signaling methods, and show the solution of these difficulties. In addition, we adapt the proposed methods to optical path routing, and show the way to construct dynamic inter-domain optical paths.

**Key words** PCE, optical path, PQC, FAQ, HQLIP, SRSVP, routing, distributed control

### 1. はじめに

本稿ではドメインを跨ぐ動的な光パス構築手法について検討する。

光パスルーティングは QoS 経路制御の一種であり、QoS 経路制御には様々な困難があることが知られている。

その解決手法として Path Computational Element (PCE) の利用が提案されている [1]。PCE は集中制御により経路振動の問題を解決できるが、スケーラビリティやインタードメイン間の最適経路選択の問題解決に関しては不十分である。

そこで我々は分散制御による階層化 QoS ルーティング・シグナリング方式を提案し、各種問題が解決できることを示す。ま

た光パスルーティングに適用することで、インタードメイン光パス構築が可能であることを示す。

以下、2 章では QoS 経路制御の困難を述べ、3 章では PCE の利用とその問題点を述べ、4 章では階層化 QoS ルーティングプロトコル・シグナリングによる解決手法を提案する。

### 2. QoS 経路制御の問題

QoS 経路制御とは、各リンク等で現時点での空き帯域や遅延等を広告し、帯域や遅延、料金等の QoS 条件を満たす経路の内から最適なものを探す経路制御方式である。しかし、

(1) 経路の振動

(2) スケーラビリティ

### (3) インタードメイン間の最適経路選択

といった困難が知られており、それぞれが密接に絡合っている。以下、これらについて説明する。

#### 2.1 経路の振動

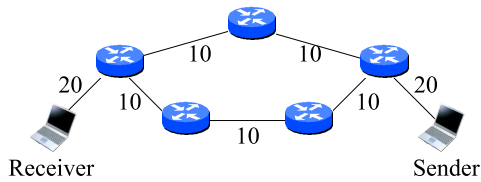


図1 QoS情報の広告

図1で示されるネットワーク中では、送信者と受信者が五台のルータを介して繋がれており、上回りと下回りの経路が存在している。各リンクの数字は残り帯域である。通常、リンクは双方向で、帯域は各方向毎に異なる値を取り得るが、図の簡略化の為、双方向で同じ値を取るものとする。リンク毎の遅延はすべて同じ、つまりホップ数が少ない経路が遅延が小さい経路とする。

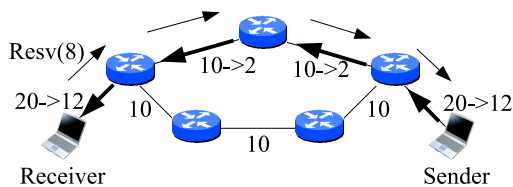


図2 資源予約と予約後のQoS情報

ここで受信者が帯域8で最小遅延の経路を予約したとする(図2)。ここではシグナリングプロトコルとしてはRSVP[2]の様なフロー毎の資源予約で受信者主導型のものを想定している。これはマルチキャストも考慮する為である。資源予約の結果、帯域は図2のように変化する。

ここで受信者が再度同じフローに対して資源予約をしようとした場合、あるいは別の受信者が同一フローに対して資源予約をしようとした場合、経路が振動するという問題が発生する。何故なら変化した後のQoS情報では、帯域8の資源予約は下回りの経路でしか予約が出来無いように見えるからである。下回りの経路で予約し直すと、今度は上回りの経路しか使えないように見えて、とこれが延々と繰返されてしまう。

#### 2.2 スケーラビリティ

振動の問題を、各ルータでフロー毎に消費しているQoS情報を広告することで解決する方法がまず考えられるが、ルータが受け取るQoS情報の量が、ノードの数とフローの数の積となってしまう、スケーラビリティの観点から問題である。

#### 2.3 インタードメイン間の最適経路選択

QoS保証は資源を専有する為、従量制課金が自然である。従量制課金体系下で、ある宛先に対して複数の事業者を跨ぐ複数の経路が存在したとする。末端の利用者が安価なサービスを提供している事業者を選べないとすると、これは公正取引上大きな問題である。

### 3. PCEの利用とその問題点

MultiProtocol Label Switching (MPLS)/Generalized MPLS (GMPLS)において、Path Computational Element (PCE)の利用が期待されている[1]。PCEは集中制御により振動の問題を解決できる。

またPCEを利用することで、ルータのポリシーを外部から操作できるという利点も生まれる。更にフロー数増大によるスケーラビリティの問題もPCEの処理能力さえ増やせば問題とはならない。

しかしPCE利用においては未解決の問題及び新たに生じる問題がある。

まず末端の利用者がポリシーを選べない。事業者のポリシーにより、末端利用者が安価なサービスを利用でき無いとすれば、これは大きな問題である。

また大規模ネットワークになると、集中制御方式は耐障害性に劣るといふ、ノード数に対するスケーラビリティの問題が顕在化してしまう。そこでネットワーク全体をドメインと呼ぶ管理単位に分割し、複数のPCEが各々ドメインを担当し協調動作する方式が提案されている[3]。

しかしこの方式でも、末端の利用者が経路を選択する手法は無い。また分散PCE方式が可能であるのなら、そもそも各ルータごとの分散制御が可能では無いかという疑問が沸起る。

### 4. 階層化QoSルーティングプロトコル・シグナリングによる解決手法の提案

以上の問題点を踏まえ、我々は最初から分散制御方式による各種困難の解決を目指す。スケーラビリティ向上の為、階層化も同時に考える。

以下、

- hop-by-hopの資源予約で経路を安定させる手法
- 階層化による情報の集約
- 階層化による情報の不完全性補正法

について述べる。

なお以下の議論では、QoS情報はもともと(帯域、遅延)の組、もしくは(帯域、料金)の組を想定している。しかし波長変換機能のある光パススイッチによるネットワークの場合には、リンクで提供できる波長の数を帯域の一種と看做すことで議論を適用できる。つまり(波長数、遅延)もしくは(波長数、料金)のQoS情報が記載されていると考えて差支えない。

#### 4.1 hop-by-hopの資源予約で経路を安定させるPQC

我々は図2の環境下においても安定的な経路を得る為、Path QoS Collection (PQC)と呼ぶ手法を提案している[4]。

Path QoSとは、ある予約されたフローに対して、もしそのフローが無ければ実際にはどれだけのQoSがリンクに残っているかという情報である。PQCでは、これらの情報をRSVPのPathメッセージに載せ受信者が取得する。受信者は、広告されているQoS情報を補正し、経路再計算の際に利用することで、経路振動の問題を解決することが出来る(図3)。

ただ本来のRSVPはResvメッセージを送る前にPathを受取

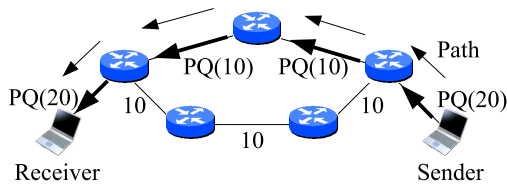


図3 Path QoS 情報

ることになっており、Resv メッセージ送信前に PQC を実行する場合に問題となる。そこで我々は、Path メッセージを要求することを目的とした Resv0 と呼ぶメッセージを新たに追加した Simple RSVP (SRSVP) [5] を設計した<sup>(注1)</sup>。

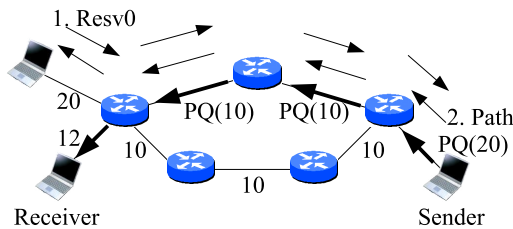


図4 Resv0 による PQ 情報の収集 (PQC)

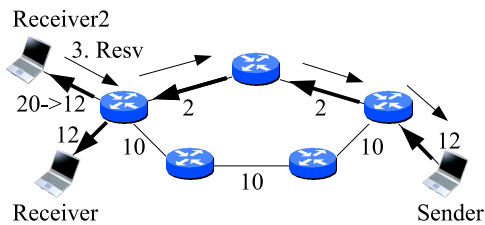


図5 安定的なマルチキャスト木

図4は Resv0 を用いて別の受信者 (Receiver2) が PQC を実行しているところを示している。メッセージ交換の順番は、Resv0、Path、Resv となる。最初の受信者 (Receiver) が予約したフローによる帯域の消費が無い場合の QoS 情報を知ることが出来る為、次の Resv により安定的なマルチキャスト木を構築することが出来る (図5)。なお Resv0 は、該当フローの予約が存在しないルータではベストエフォート経路に沿って、既に存在するルータでは既に確立された資源予約経路に沿って転送される。

本手法におけるスケラビリティに関して考察する。各ルータはフロー毎に個別の PQ を管理する必要がある。しかしルータでのフロー毎の管理は、資源予約に RSVP の様なフロー毎の資源予約を想定している為、元から必要なものである。よって PQC を行ったからといってスケラビリティが悪化するという問題は起きない。

(注1): SRSVP は、この拡張の他、RSVP の幾つかの機能を削って単純化も行っている。その為このように呼んでいる。詳細は本稿では割愛する。

## 4.2 階層化による情報の集約

スケラビリティを向上させる為の QoS 情報の集約の手順を説明する。

我々は階層化 QoS ルーティングプロトコルとして Hierarchical QoS Link Information Protocol (HQLIP) [6] を設計してきた。

HQLIP の QoS 情報の集約には二段階あり、まずポータルルータから隣接エリアの代表ノードへのリンク情報が集約され、次に代表ノードから隣接エリアの代表ノードへのリンク情報が集約される。以下リンク情報の集約手順について述べる。

### 4.2.1 ポータルルータによるリンク情報の集約

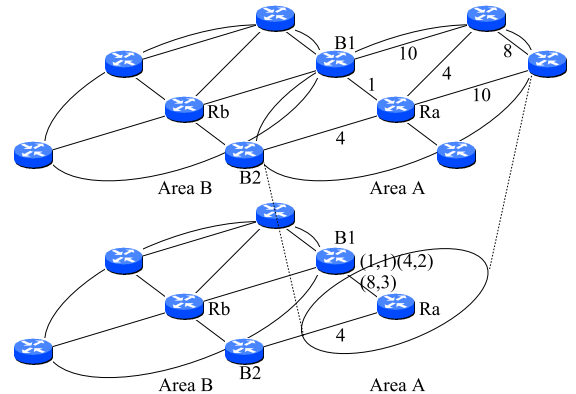


図6 ポータルルータによる情報集約 (エリア B から見た QoS 情報)

図6では幾つかのノードがリンクで接続されており、各ノードは A のエリアもしくは B のエリア、もしくは両方のエリアに所属している。ノード Ra と Rb は代表ルータであり、両方のエリアに所属しているノード B1 と B2 はエリア A とエリア B のポータルルータと呼ばれる。

また図6でリンク情報としては帯域単体、もしくは(帯域、遅延)の組を示している。帯域単体が示されているリンクの遅延は1であり、以降の図でも省略されている。

HQLIP ではマルチキャストを考慮し資源予約は受信者側から行うことに制限している。よってリンク情報も、受信者側から見た場合のリンク情報が提示される。例えば B1 から Ra で終るリンク情報とは、B1 から Ra に受信者主導資源予約を行うときに必要な QoS 情報、つまりフローのデータパケットが Ra から B1 へ向う際の QoS 情報を示す。

ポータルルータは所属する或るエリアの代表ノードへの QoS 情報を集約し、所属する別のエリア内に広告する。この際一般的に、リンク情報はベクトル値となる。

図6では、B1 から Ra への経路は、

- (1,1)
- (10,1) (4,1)
- (10,1) (8,1) (10,1)

の三通りが考えられる。複数のリンクを直列させた場合の QoS は、帯域は最小の物を取り、遅延は総和となる為、QoS 情報は (1,1) (4,2) (8,3) となる。この情報を、集約された QoS 情報として、ポータルルータ B1 は、B1 から エリア A への QoS 情報 (ベクトル値) として エリア B 内で広告する。HQLIP では、

ポータルルータから隣接エリアの代表ルータへの QoS 情報を特に「外部リンク情報」と呼んでいる。

代表ノードへの QoS 情報の計算手法としては、Shortest Path Tree (SPT) アルゴリズムが利用できる。例えば (4,1) の情報は、帯域が 4 以上のリンクだけを残し、SPT アルゴリズムを適用すれば Deterministic に計算可能である。

加えて、集約される QoS 情報のベクトル値の計算も Deterministic にするには、予め決められた幾つかの帯域で SPT を適用することにしておけば好い。例えば 1, 2, 4, 8 の帯域についてのみ計算すると決めておくこととする。図 6 の場合では、計算の結果、(1,1) (2,2) (4,2) (8,3) となるが、(2,2) は (4,2) よりも優れた点が無い為、(4,2) の方を残し、(1,1) (4,2) (8,3) をベクトル値として広告する。一般に(帯域, 遅延)という値は束 (lattice) を成し、値同志の優劣を比較できる場合がある為、その場合には優れている方だけを残せば好い。

ポータルルータから隣接エリアへの QoS 情報がエリア内に広告されることで、エリア内のノードが、隣接エリア内の正確な QoS 情報を知らなくても、隣接エリアへの経路の QoS 情報を知ることが出来る。

HQLIP においては、実際の QoS 情報より良い情報を広告することを禁止しており(過大広告の禁止)、集約された QoS 情報が確実に利用できることが保証されている。その為、QoS 情報を元にした資源予約が失敗することは基本的に無い。よってクランクバックも必要としない。ただし、QoS 情報を受取ってから資源予約開始・完了する迄の間に、他の資源予約により資源が消費されるなど残り資源が変動した場合はこの限りでは無い。

#### 4.2.2 代表ノードから隣接代表ノードへのリンク情報の集約

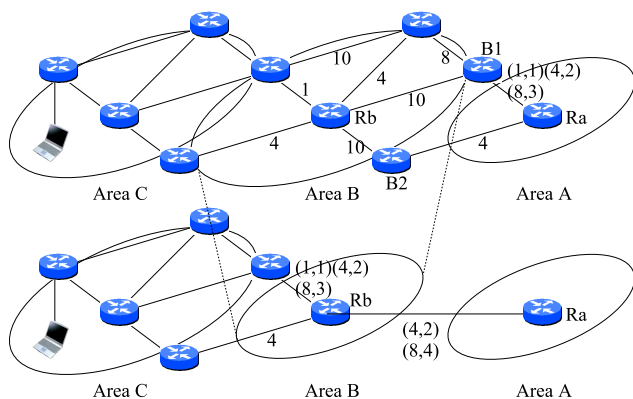


図 7 代表ルータによる情報集約(エリア C から見た QoS 情報)

代表ノードは、外部リンク情報(ポータルルータから隣接エリアの代表ノードへのリンク情報)を利用して、代表ノードへの QoS 情報を計算し、上位のエリアに広告する。図 7 では、エリア B の代表ルータ Rb が、ポータルルータ B1 と B2 が広告するエリア A への集約された QoS 情報を用いて、Rb からエリア A への QoS 情報を計算し、エリア B からエリア A への QoS 情報として広告している。

更に図 7 をエリア C から見た場合、エリア C からエリア A への実際の経路の QoS 情報は分らない。しかしエリア C のポータル

ルータもエリア B への外部リンク情報を生成するので、これを利用してエリア C からエリア A への経路を求めることが出来る。具体的には、エリア C 内からエリア B への外部リンク情報と、エリア B からエリア A への QoS 情報から、エリア C からエリア A への QoS 情報を計算することが出来る。

HQLIP ではこれまでに述べた QoS 情報の集約を多段の階層で行い、インターネット全体にも適用可能な QoS ルーティング機構を提供する。

#### 4.3 階層化による情報の不完全性補正法

階層化による情報の不完全性に起因する資源予約失敗を防ぐ情報の補正法に関して説明する。

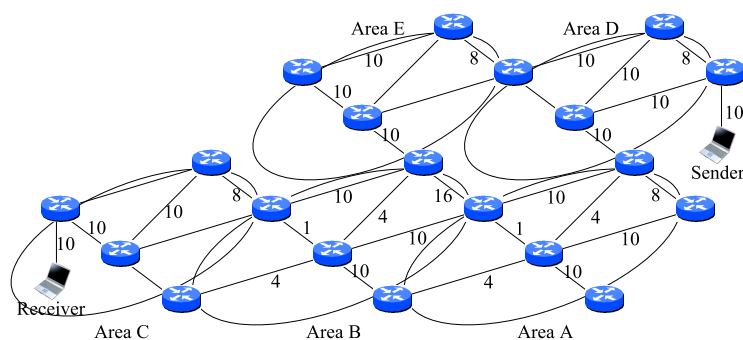


図 8 全体の QoS 情報

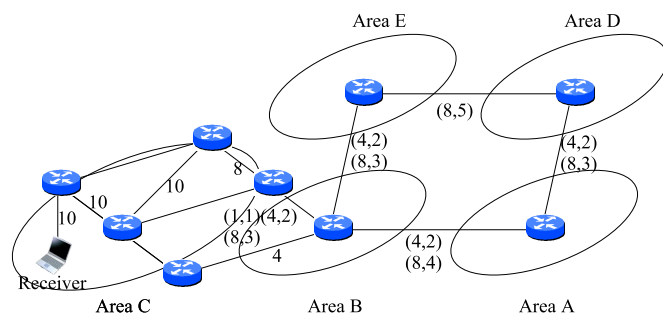


図 9 集約された QoS 情報の広告

図 8 で示されるネットワークを考える。HQLIP での階層化の手順に従い、受信者が居るエリア C においては QoS 情報が図 9 のように見える。

##### 4.3.1 FAQ による QoS 情報の補正

図 9 では、受信者から見て、送信者が居るエリアの代表ルータまでの QoS が確保できることは分るが、送信者までの QoS が確保できるかどうかは分らない。エリアの代表ルータまでの経路が確保できても、そこから送信者までの経路が確保できるとは限らないからである。

この問題を解決する為、我々は First Aggregated QoS (FAQ) を提案している [5]。FAQ は、受信者から、受信者が所属するエリアの代表ルータへの QoS 情報である(図 10)。この情報を用いることで、受信者が送信者まで QoS が確保できるかを調べることが出来るようになる。これもクランクバックを抑制する

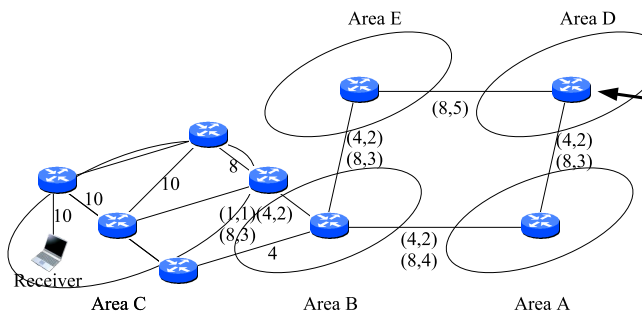


図 10 FAQ による QoS 情報の補正

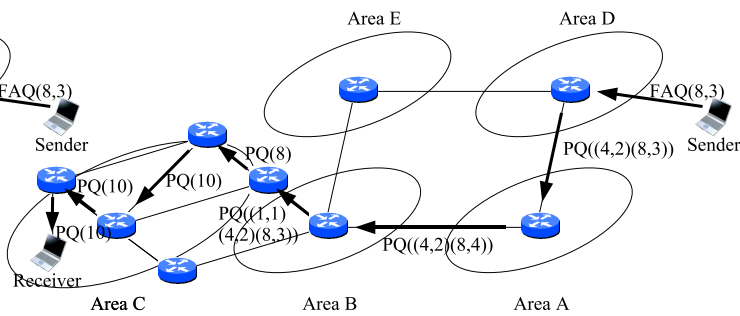


図 13 FAQ と階層化 PQ

一手法である。

なお図では FAQ 情報が一つしか書かれていないが、一般にノードは複数のエリアに所属するので、FAQ は複数生成されことになる。

#### 4.3.2 階層化 PQ による QoS 情報の補正

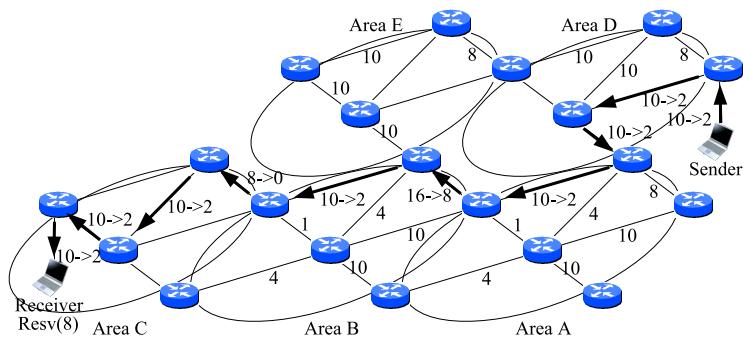


図 11 資源予約と予約後の QoS 情報

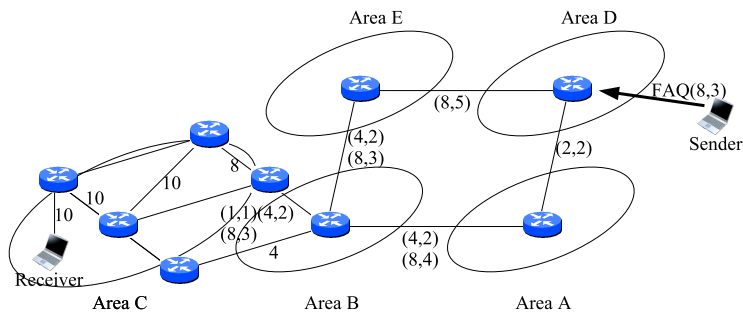


図 12 予約後の集約された QoS 情報

資源予約経路と予約後の QoS 情報は図 11 のようになる。また予約後の集約された QoS 情報は図 12 のようになる。

ここでまた自身の資源予約により、実際には利用できる経路が利用不可のように見えてしまうという、経路振動の問題が発生する。この問題は階層化に対応した PQC を適用することで解決できる (図 13)。図 13 に示す PQC 情報により、受信者は図 10 に示す QoS 情報を復元でき、経路の振動を抑えることが出来る。

以上これまで述べてきたように、分散制御による階層化 QoS ルーティング・シグナリングを用いることで、経路の振動、スケラビリティ、インタードメイン間最適経路選択の各種困難を解決することが出来る。また本手法を波長変換機能が有る光パススイッチによるネットワークにも適用することで、インタードメイン間光パスルーティングを実現することが出来る。

## 5. おわりに

本稿ではドメインを跨ぐ動的な光パス構築手法について検討を行った。QoS 経路制御の一種である光パスルーティングには、様々な困難があることを示し、PCE では全ての問題を解決できていないことを示した。そこで我々は分散制御による階層化 QoS ルーティング・シグナリング方式を提案し、各種問題が解決できることを示した。また提案手法を光パスルーティングに適用することで、インタードメイン光パス構築が可能であることを示した。

今後の課題としては、本手法を波長変換機能が無いスイッチの場合に拡張することが挙げられる。この場合、利用可能な波長のリストを広告することになると考えており、その情報を集約する方法も必要だと考えている。また波長変換機能が有るもの無いものが混在する場合についても考慮する予定である。

## 文 献

- [1] A. Farrel, J.-P. Vasseur, and J. Ash, "A Path Computation Element (PCE)-Based Architecture," RFC 4655, August 2006.
- [2] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, and S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification," RFC 2205, September 1997.
- [3] 新留憲介, 藤原和弘, 加藤慎一, 武田知典, 大木英司, 井上一郎, 塩本公平, "マルチレイヤ網統合運用管理アーキテクチャにおけるインタードメイン LSP 制御機能の実装," 信学技報, vol. 107, no. 524, NS2007-168, pp. 211-214, 2008 年 3 月.
- [4] Y. Goto, M. Ohta, K. Araki, "Path QoS Collection for Stable Hop-by-Hop QoS Routing," INET'97, [http://www.isoc.org/inet97/proceedings/F4/F4\\_2.HTM](http://www.isoc.org/inet97/proceedings/F4/F4_2.HTM), Jun 2007.
- [5] 関口隆昭, 藤川賢治, 岡部寿男, 岩間一雄, "QoS 保証マルチキャストプロトコル SRSVP における階層化 PathQoS," 情報処理学会研究報告 2001-DPS-102, pp.163-168, March 2001.
- [6] 佐々木基晴, 小山洋一, 藤川賢治, 岡部寿男, "QoS ルーティングにおけるメトリック情報の良し悪しに応じた LSA の時間間隔制限手法," 情報処理学会研究報告 2001-DPS-105, pp.25-30, November 2001.