

## 資源予約における階層伝送と QoS ルーティング

嶋吉 隆夫      藤川 賢治      池田 克夫  
京都大学工学研究科      京都大学情報学研究科

本稿では、資源予約とその周辺技術とを連携して、受信者の QoS 要求を満たすことを考える。まず、フローが必要とする QoS に適した経路で資源予約するために、QoS ルーティング技術と資源予約を連携することを考える。その場合の問題点を明らかにし、QoS ルーティングに求められる条件と RSVP に必要となる変更について考察する。次に、受信者によって QoS 要求が異なる場合に対応するために、階層伝送との連携を考える。階層伝送されるフローを RSVP を用いて予約する場合の手法について比較した後、そのために必要となる拡張方法を提案する。

### Cooperation of Resource Reservation with QoS-based Routing and Hierarchical Transmission

SHIMAYOSHI Takao      FUJIKAWA Kenji      IKEDA Katsuo  
Faculty of Engineering,      Graduate School of Informatics,  
Kyoto University      Kyoto University

We propose a method to satisfy QoS request by cooperating resource reservation with QoS technology. First, it is discussed to incorporate of resource reservation with QoS-based routing, in order to reserve resource along a suited path for a QoS request for the flow. Issues of the cooperation are discussed, then requirements of QoS-based routing and extensions of RSVP for the cooperation are considered. Next, resource reservation and hierarchical transmission are coordinated, aimed to enable heterogeneous reservations. Schemes of reserving resource for a layered flow are compared. Then extensions of RSVP for the adopted scheme are proposed.

#### 1. はじめに

近年、インターネット上でリアルタイム通信するために、通信品質 (QoS: Quality of Service) を保証する必要性が高まっている。QoS を保証する方法として、資源予約が考えられている。資源予約ではデータ通信に先だって必要となる回線資源を確保しておく。現在、インターネットで標準の資源予約プロトコルとして RSVP (Resource ReSerVation Protocol)<sup>1)</sup> が提案されている。

QoS が要求されたフローを、最適なネットワーク経路で転送するためのルーティング技術として、QoS ルーティング技術がある。QoS ルーティングでは、フローに要求されている QoS と、ネットワーク資源の利用可能量に基づいて、経路が決定される。

また、複数の受信者が同じデータを受け取る通

信方式として、IP マルチキャストがある。そのとき、受信側の利用できる帯域が異なる場合に、それに応じてデータを送信する方法として、階層伝送がある。この階層伝送と資源予約プロトコルを組み合わせることによって、受信者がさまざまな QoS を選択できる資源予約が実現できる。

#### 2. RSVP と QoS ルーティングの連携

##### 2.1 QoS 技術

インターネットで QoS を保証してデータを転送するための技術として、資源予約、QoS 保証技術、QoS ルーティングの三つがある。

RSVP などの資源予約プロトコルは、ユーザがネットワーク資源を要求し、予約する方法を提供する。つまり、資源予約プロトコルによって、ユーザからの QoS 要求が、ネットワーク上に伝えられる。

QoS 保証技術は、特定のデータフローに対して QoS を実際に保証するために必要となる。ATM のように、データリンク層で QoS 保証が可能なものや、CBQ<sup>2)</sup> のように、ノードでシェーピングするものなどがある。

QoS ルーティングは、フローが要求する QoS と、利用できるネットワーク資源の量に基づいて、要求された QoS に適したフローの経路を決定する機構である。

端末間で送受信するフローに対して最適な QoS を保証するためには、資源予約プロトコルだけではなく、QoS ルーティングも必要となる。しかし、資源予約と QoS ルーティングの連携については十分には研究されていない。ここでは、資源予約プロトコル RSVP と QoS ルーティングの連携について、その問題点を考察した後、その解決方法について考える。

## 2.2 経路決定に必要な知識の相互依存

RSVP と QoS ルーティングとを連携するためには、経路決定の問題を解決する必要がある。<sup>3)</sup>

QoS ルーティングは、QoS に基づいた経路を決定するために、各受信者の要求する QoS の知識を必要とする。それに対して RSVP では、各受信者が Resv メッセージを送信者へ伝えるためには、まず Path メッセージを受け取る必要がある。そして、Path メッセージを伝送するためにはフローの経路が決定していなければならない。

このように、QoS ルーティングは経路を決定するために QoS 要求を必要とするが、RSVP は QoS 要求を決定するために経路を必要とする。つまり、RSVP と QoS ルーティングではそれぞれが必要とする知識が相互に依存しているため、経路決定に行き詰まることになる。

## 2.3 解決方法

前節の問題を解決する方法として、次の二つを考える。

(1) 送信側が指定した QoS を用いて経路を決定する。フローの経路を決定するときに、各受信者からの実際の QoS 要求を用いるかわりに、送信者側で決定した適当な QoS を用いて、フローの経路を決定する。QOSPF<sup>4)</sup> では、RSVP の Tspec を QoS 要求の代わりに用いている。Tspec はフローのトラ

フィックパラメータをあらわし、送信者側で決定されて、すべての受信者に共通である。

この方法は、既存の QoS ルーティングおよび RSVP に対しての変更が少なく、比較的容易に実現できる。しかし、この方法で決定される経路は、各受信者にとって必ずしも最適な経路とはならない。また、受信者の要求する QoS が送信側で選んだ QoS よりも小さい場合、データを受信できない可能性がある。

(2) データ経路決定前に Resv メッセージを送信データの経路が決定する以前に Resv メッセージを送信できるように、RSVP に対して改良を加える。この方法はさらに二つに分けられる。

(a) Path メッセージなしに Resv メッセージを発信する方法

(b) Path メッセージを QoS に基づかない経路で送信する方法

これらの方法は、RSVP に必要な変更点が多い。前者は Path メッセージの情報を他の手段で受信者に伝える必要があり、後者は Path メッセージの経路とデータの経路が一致しないという問題点がある。

本研究では (2b) の方法を採用する。(1) の方法では受信者がデータを受け取れない可能性がある。これは重要な問題である。(2a) の方法について、RSVP では送信者の動的な変化もサポートしており、また送信者ごとに異なる QoS を要求できる。そのためやはり、Path メッセージを用いてこれらの情報を各受信者に伝える方法が優れていると考えられる。

## 2.4 QoS ルーティングに求められる条件

RSVP は、その下にあるルーティングプロトコルと独立して動作するように設計されている。しかし、ソースルーティングのモデルにうまく適応するように設計されているため、QoS 要求があった後で経路が決定する QoS ルーティングには、この設計はうまく合致しない。そのため、QoS ルーティングには RSVP との親和性を高めるために、いくつかの条件が求められる。また逆に、QoS ルーティングと連携するためには、RSVP にもいくつかの変更を必要とする。

まず、本節で QoS ルーティングに求められる条件について考察した後、次の 2.5 節で、RSVP に

必要な変更について述べる。

QoS ルーティングに求められる条件として、以下の三つがある。

- フロー単位でのルーティング
- 受信者主導ルーティング
- リバースパスの取得

#### 2.4.1 フロー単位でのルーティング

RSVP の資源予約は、フロー単位で行われる。そのため、RSVP による資源予約を有効なものとするために、QoS ルーティングプロトコルは、フロー単位でのルーティングが行える必要がある。

ただし、セッション内のフローの経路がすべて独立している必要はない。ルーティングプロトコルにはフローの経路をセッション内で共用するものがあるかも知れないが、それは問題ない。ここで必要なことは、フローに対してルーティングを得られることである。

#### 2.4.2 受信者主導ルーティング

既存の RSVP のルーティングモデルとうまく調和するルーティングは、送信者側のルータが経路を決定するソースルーティングである。しかし、資源予約と QoS ルーティングをうまく組み合わせるためには、ソースルーティングでは次のような不都合がある。一つのマルチキャストセッションにおいて異なる QoS 要求がある場合、それぞれの受信者が要求する QoS がわからなければ、QoS ルーティングはデータの経路を決定できない。そのため、ソースルーティングでは、経路を決定するために複雑な仕組みが必要となる<sup>3)</sup>。

一方、受信者主導型ルーティングは、QoS 要求を行った受信者側で、データの経路を決定するルーティングである。受信者主導型ルーティングの場合、経路は受信者側から決定されるので、異なる QoS 要求がある場合にも簡単に対応できる。

#### 2.4.3 リバースパスの取得

Path メッセージを QoS に基づく経路とは異なる経路で送信する場合、Path メッセージの経路はデータの経路とは異なる。そのため、Path メッセージの情報が届かない中間ノードが存在し、そのノードでは Resv メッセージをどのノードに送ってよいか分からない。

そこで、データの流れとは逆向きの経路を知ることのできる、リバースパスを取得する能力が必要

となる。リバースパス情報を用いれば、Path メッセージを受信していない中間ノードでも、Resv メッセージを上流ノードへと送ることができる。

## 2.5 RSVP への変更

QoS ルーティングと連携するために、RSVP に対して以下の点を変更する必要がある。

- Path メッセージの送信経路
- ルーティング機構とのインタフェース
- 中間ノードでのメッセージ処理
- 資源保証の開始

### 2.5.1 Path メッセージの送信経路

各受信者が要求する QoS を決定し、Resv メッセージを送信するためには、Path メッセージ中に含まれる情報を必要とする。それは、Sender Template, Sender Tspec, Adspec である。Sender Template は送信者の識別情報であり、Sender Tspec はその送信者からのフローのトラフィック特徴を表す。Adspec は、中間ノードの利用できる資源情報を集めるために使われる。

しかし、QoS ルーティングは受信者の QoS 要求を必要とするため、受信者が最初に受け取るべき Path メッセージを送信する時点では、データの経路は決まっていない。そこで、QoS に基づいた経路が決定するまでは、Path メッセージを best-effort での経路に基づいて送信する。そして、QoS に基づいた経路が決定された後は、QoS に基づく経路へと Path メッセージを送信する。

ここで、新しく受信者がセッションに参加した場合、その受信者は QoS 要求をまだ発信していない。そこで、その受信者へも Path メッセージが到達できるようにするために、中間ノードからさらに best-effort での経路に Path メッセージを送信することになる。

### 2.5.2 ルーティング機構とのインタフェース

現在の RSVP では、QoS に考慮せずに、Path メッセージを受け取った際に経路を取得する仕組みになっている。しかし、QoS ルーティングを用いる場合、QoS 要求がノードに到着しなければフローの経路は求められない。そのため、ルーティング機構とのインタフェースについても RSVP の処理手順を変更する必要がある。

受信者が要求する QoS は、Resv メッセージを使って送信者側へと転送されていく。各中間ノ

ドの RSVP プロセスは Resv メッセージを受信すると、QoS 経路を取得するためにメッセージ中の QoS 要求をルーティング機構へと通知しなければならない。このとき、新しい Resv メッセージが到着するか、Resv メッセージに変更が認められた時点で、QoS 経路情報を取得する。こうすることによって、QoS ルーティングを計算する頻度を抑えることができる。

### 2.5.3 中間ノードでのメッセージ処理

Path メッセージを best-effort ルーティングで送信した場合、データの経路と Path メッセージの経路が完全には一致しない。その場合の中間ノードにおけるメッセージの処理について考える。

Resv メッセージを受け取った中間ノードは、QoS に基づくフロー経路のリバースパスを使って Resv メッセージを送信する。こうして、Path メッセージが到着していないノード、もしくは Path メッセージでの上流とフロー経路の上流が異なるノードにおいても、フロー経路の逆方向へと Resv メッセージを伝送できる。

また、従来の RSVP では、Path メッセージを受け取っていないノードに到着した Resv メッセージは処理されない。このままでは、Resv メッセージだけを受け取ったノードで、Resv メッセージを処理し、その内容を保持することができない。そこで、Path メッセージの届いていない中間ルータでも、Resv メッセージを扱えるように変更する必要がある。

同じノードにおいて、異なるインタフェースから best-effort の経路をたどった Path メッセージ (以下、best-effort Path メッセージ) と QoS に基づく経路をたどった Path メッセージの両方を受け取った場合、best-effort Path メッセージを破棄する。これは、二方向に Path メッセージを送ることによって生じ得るメッセージのループを防ぐためである。

### 2.5.4 資源保証の開始

資源予約は、トラフィックパラメータ (フローに予想されるトラフィックの性質) と、QoS パラメータ (フローに要求されるサービス品質) との組で行われる。Sender Tspec は、トラフィックパラメータであり、QoS パラメータの過剰な資源確保の防止などに用いられる。つまり、Path メッセージを

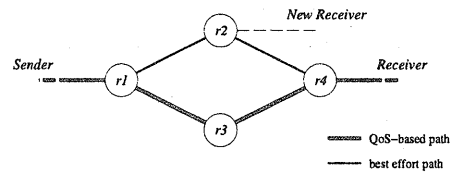


図1 メッセージの処理

受け取っていない中間ルータでは、有効な資源予約を行うことが難しい。しかし、Resv メッセージの情報に基づいて QoS に基づくフローの経路は決定しているため、データの転送自体は行える。そこで、Resv メッセージを受け取ったが Path メッセージが到着していないノードでは、QoS は保証せず、データの転送のみを行うことにする。そして、QoS に基づいた経路で送られる Path メッセージが到着した時点で、資源予約を開始する。この方法には、不正な Resv メッセージにより資源が無駄に消費される問題を防ぐ効果もある。

### 2.6 メッセージ処理例

本拡張を適応したときの、メッセージが処理される手順の簡単な例を以下に示す。このときのネットワーク構成は図1のとおりである。

- (1) Path メッセージが best-effort の経路に従って送信される。Path メッセージは (S) → r1 → r2 → r4 → (R) という経路をたどるとする。
- (2) Path メッセージを受け取った受信者が Resv メッセージを送信する。
- (3) Resv メッセージが r4 に届き、QoS 要求に基づいた経路が計算される。この場合、best-effort の経路と QoS に基づく経路が異なるが、QoS ルーティングに従い、r3 へとメッセージを転送する。
- (4) 同様に r4 → r3 → r1 → (S) とメッセージが伝送される。こうして受信者側から順に QoS 要求を満たす経路が決定していく。
- (5) QoS を満たす経路が決定した後、Path メッセージが QoS の経路に送信される。
- (6) (r2 の下流に新しい受信者が参加した場合) r1 から best-effort の経路へも Path メッセージを発信し、新しい受信者は Path メッセージを受信できる。

### 3. RSVP と階層伝送

#### 3.1 階層伝送と階層符号化

受信者が確保できる帯域が異なる場合に、それぞれに適した帯域でデータを受信できるように伝送する方法として、階層伝送がある。

階層伝送では、パケットを重要度ごとにいくつかの階層に分け、各々のパケットに優先度をつける。そして、輻輳が起こった時には、中間ルータで優先度の高いパケットを優先して伝送していく。こうすることで、それぞれの受信者は重要なパケットから階層的に、適した帯域で受信できる。

この時に、優先度の低いパケットが失われても復号できるよう符号化しておけば、受信者は帯域に応じた品質の有効なデータを受け取ることができる。これが階層符号化である。

#### 3.2 第2層メディアにおける階層伝送の実現

##### 3.2.1 共有メディアの場合

イーサネットなどのような共有メディアの場合、ネットワーク層における QoS 保証は提供されない。そこで、ノードのキューイングを使って階層伝送を実現する方法が考えられる。輻輳が発生した時には、優先度の低いパケットから順に破棄されるようにキューで処理する。

##### 3.2.2 コネクション型メディアの場合

コネクション型メディアでは、データの通信開始に先だって送受信端末間でチャンネルを確立する。また、それらのチャンネルを枝分かれさせることにより、マルチキャスト通信が実現できる。コネクション型の QoS 保証を提供する ATM などのようなメディアでは、通常 QoS パラメータは通信経路を通して一様であり、動的に変化させることはできない。

これらのメディア上で階層伝送を実現するには、中間ノードで接続するチャンネルの本数の多少によって帯域を増減させる方法が考えられる。この方法の場合、各階層ごとに一本のチャンネルを確立し、中間ノードでは確保する帯域に応じて優先度の高いチャンネルから順に中継する。

### 3.3 RSVP への適応

#### 3.3.1 RSVP による階層伝送の資源予約

階層伝送されるフローを RSVP でどのように扱うかについて、次の二つの方法が考えられる。

- 一つの階層ごとにセッションを割り当てる
- すべての階層を同一セッションで扱う

前者は、階層伝送の1階層ごとにそれぞれ異なる RSVP のセッションを割り当てる方法である。一つの階層ごとにマルチキャストアドレスあるいはポート番号を割り振り、階層ごとに独立して QoS を要求し資源予約する。この方法は、RSVP そのものを変更する事なく実現可能である。しかし、各階層ごとにセッションが割り当てられるため、一つのアプリケーションが複数のセッションを扱う必要がある。そして、アプリケーションはどのアドレスあるいはポートにどんな QoS で予約すべきかを、RSVP 以外の方法で知る必要がある。また、後者の方法に比べて、ネットワーク中に流れるメッセージ総数と各ノードで処理するセッション数は多くなる。

後者の方法では、すべての階層を共通のセッションで管理する。各階層のパケットの IPv4 の TOS フィールド、IPv6<sup>5)</sup> の Traffic Class フィールドなどに、そのパケットの優先度に応じた値を設定して、階層を識別する。そして、すべての階層のパケットを同じアドレス・ポートに向けて送信する。この方法では、すべての階層を同じフローで送受信するので、アプリケーションは特殊な処理を必要とされない。しかし、この方法をコネクション型メディアに適応する場合、複数のチャンネルをひとつのセッションで扱う必要がある。

本研究では、後者の方法を採用する。

#### 3.3.2 階層情報の伝達

階層伝送の全階層を同じセッションで扱う場合、前節に述べたように複数のチャンネルを同じセッションで扱う必要がある。このとき、中間ノードで中継するチャンネルを適切に選ぶために、フローがいくつかのどのような階層で伝送されているのかを知らなければならない。

そこで、階層に関する必要な情報を RSVP メッセージを利用して、各ノードに通知する方法を考える。また、アプリケーションは RSVP メッセージから予約に必要な階層の情報を知ることができる。

Sender Tspec は従来どおりトラフィック特徴を格納する。ただし、ここに格納するものはすべての階層を含むフローのトラフィック特徴とする。そして、Adspec へ新たに階層伝送の情報を追加す

る。ここで格納される情報は、全体の階層数、および各階層のトラフィック情報である。

### 3.4 階層とセッションの処理方法の比較

#### 3.4.1 メッセージ数

ネットワーク中に流される RSVP Resv メッセージの総数について、3.3.1節の各方法を比較する。

RSVP はソフトステートであるので、リフレッシュレートごとにメッセージが流される。1回のリフレッシュレートごとにネットワーク中に流れるメッセージの総数はそれぞれの方式で以下のようになる。

階層ごとに予約  $O(l \cdot p)$

全階層をまとめて予約  $p$

$p$ : メッセージが流されるパスの総数

$l$ : 階層伝送の階層数

階層ごとにセッションを確立する場合、受信ホストからは、そのホストが予約する階層と同じ数のメッセージが送信される。各中間ルータでは、その子孫ホストの予約する最大の階層の数のメッセージが送信される。

一方、全ての階層を同一セッションで扱う場合は、受信ホストから送られるメッセージの数は、予約する階層に関わらず常に一つである。そのため、ネットワーク中を流れるメッセージ数は、メッセージの流れるパスの数に完全に一致する。

#### 3.4.2 シミュレーション

前節の計算をシミュレーションで確認した。ネットワーク構成、階層伝送の条件を以下に記す。

- マルチキャストツリーの各ルータは、二分木を構成している。
- 二分木の段数は10段、総ルータ数は1024。
- 階層伝送のレイヤー数は5。

ランダムに選ばれたルータに接続されたホストが、データを受信、つまり、RSVP Resv メッセージを送信する。

このような条件のもとで、受信ホスト数を1から256まで順に増やして、ネットワーク中に流されるメッセージ総数を計算した。結果を図2に示す。

この結果では、それぞれの方式で、ホスト数にほぼ比例してメッセージ総数が増加している。また、ホスト数が増えるに従い、2つの方式間のメッセージ総数の差が大きくなっている。その比率は、

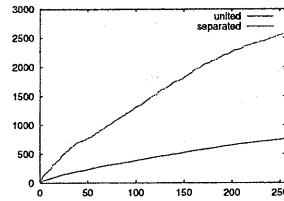


図2 シミュレーション結果

前者が後者のほぼ3-4倍のメッセージ数となっている。

これらのことから、本研究で採用する後者の方法が、前者に比べてネットワーク中のメッセージ数が少なくすむことが分かる。ゆえに、本研究で採用する、すべての階層を同一セッションで扱う方法が、メッセージ数において、実際のネットワーク上でも利点があることが推測される。

#### 4. おわりに

本稿では、資源予約とQoS要求、階層伝送を連携する方法を提案した。まず、資源予約を連携するためにQoSルーティングに求められる条件を考察し、その場合のRSVPへの変更点を提案した。次に、階層的に伝送されるフローをRSVPを用いて予約するための拡張方法を提案した。

今後の課題は、今回提案した拡張を実装することである。

#### 参考文献

- 1) Braden, R., Zhang, L., Berson, S., Herzog, S. and Jamin, S.: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification, RFC2205 (1997).
- 2) Floyd, S. and Jacobson, V.: Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, No. 4 (1995).
- 3) Crawley, E., Nair, R., Rajagopalan, B. and Sandick, H.: A Framework for QoS-based Routing in the Internet, RFC2386 (1998).
- 4) Zhang, Z., Sanchez, C., Salkewicz, B. and Crawley, E.: Quality of Service Extensions of OSPF, Internet Draft (1997).
- 5) Deering, S. and Hinden, R.: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC2460 (1998).