

## 帯域確保要求を自動的にスケジューリングするルータでの帯域制御方式とその実装

本圖 英承, 本多 弘樹

電気通信大学大学院 情報システム学研究科

本論文では、特定の単一ルータでユーザが直接、帯域制御を行う方式について述べる。すでに、ユーザによる帯域制御を実現する技術として、IETF (Internet Engineering Task Force) で RSVP (Resource Reservation Protocol) などの帯域予約プロトコルが提案されている。しかし、これは通信フローの経路上全てのルータを制御の対象としているものであり、単一のルータのみでの帯域制御を目的として用いるには利用コストが高く不便な点もある。本論文では、特定の単一ルータにおいてユーザによる帯域制御を実現する一方式として、「要求の保持」、「確保時間の明示」、「要求の実行順序スケジューリング」などの機能を持った帯域制御方式を提案し、その方式による帯域制御を実現するシステムの実装を行う。

### Adaptive Bandwidth Control Scheme for A Specific Single Router

Hidetsugu Motozu, Hiroki Honda

Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

In this paper, we discuss a scheme with which user can control bandwidth on a specific single router directly. To enable such scheme, the bandwidth reservation protocols such as RSVP (Resource Reservation Protocol) have been already proposed by IETF (Internet Engineering Task Force). However, the RSVP is aimed to control all routers that involved in the route of a communication-flow. For the case of the bandwidth control on a single router, utilization-cost of RSVP is high and some inconvenience problems are exists. We proposed a bandwidth control scheme for a specific single router that has features as request-holding, occupation-time direction and request-order based scheduling. And we have implemented a system that employs this bandwidth control scheme.

#### 1. はじめに

近年、通信経路上のボトルネックとなる回線の混雑による非効率的な通信速度低下を防ぐため、ルータのキューイング機構を用いた帯域制御技術が提案されている[1]。しかし、これらの技術のみでは、管理者が予め定めた帯域幅で制御するに留まり、突発的にユーザが要求する帯域幅での帯域制御に対応しづらいという問題点が存在する。そのため、ユーザの要求による帯域制御を実現するための RSVP [2]などの帯域予約プロトコルが提案されている。

しかし、これらの帯域予約プロトコルは、フローに対して比較的広域ネットワークでの帯域保証を目的として設計されている。そのため、

帯域制御の対象が通信経路上全てのルータであり、また、スケーラビリティを保つためにユーザの発行する要求の取り扱いが簡易化されている。したがって、ある特定の単一ルータでのみの帯域制御に用いるには、利用コストが高い上、不便であるという側面を持つ。

本論文では、これらの点に注目し、特定の単一ルータでのみの帯域制御を目的として、「要求の保持」、「確保時間の明示」、「要求の実行順序スケジューリング」などの機能を持つ帯域制御方式を提案する。また、同方式による帯域制御を実現するシステムを構築し、評価を行う。

#### 2. 従来の帯域制御方式

一般に、ユーザによる帯域制御は、ユーザが帯域確保の要求をルータに向けて発行し、その要求を受け取ったルータが要求にしたがった帯域制御を行うことで実現される。RSVPなどが採用している従来の方式では、図1に示すように、必要な時間分だけ帯域確保を行うために、ユーザの要求が発行されてから解放が宣言されるまでの時間で帯域制御が行われる。また、発行時に帯域確保が不可能な要求は破棄される仕様となっている。(実際には、RSVPはより複雑な手順を踏むが、図1では概念的なものを示している。)

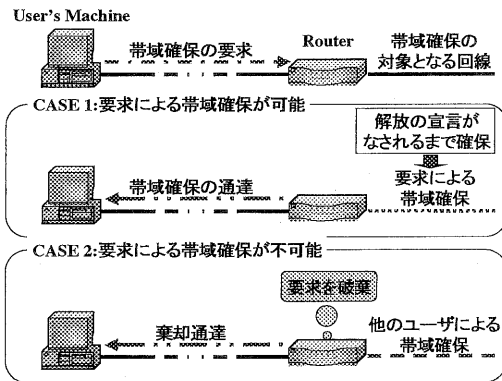


図1: 従来方式による帯域制御

本論文では、この従来方式の帯域制御によって生じる以下の問題点に注目した。

### 問題点 1: 棄却要求発行の多発

要求発行時に、他のユーザによる帯域確保が原因で要求が破棄されることがある。その場合、要求を発行したユーザは、破棄の原因となった他のユーザの確保がいつ終了するのかかわからず、自分がどの程度待てば確保可能になるのかを予測することができない。そのため、破棄された要求の内容で帯域確保を行うには、棄却が予想される同じ要求を繰り返し発行し続けることになり、ネットワークの効率が悪くなる。

### 問題点 2: 要求発行順序の不公平性

問題点1に示したように、棄却されると要求を繰り返し発行し続ける方式では、帯域確保が行われるか否かが、その要求の発行タイミン

グに大きく依存する。そのため、複数のユーザが確保可能帯域幅の使用を競合する状況では、要求発行順に確保するという公平性を保つことができない。

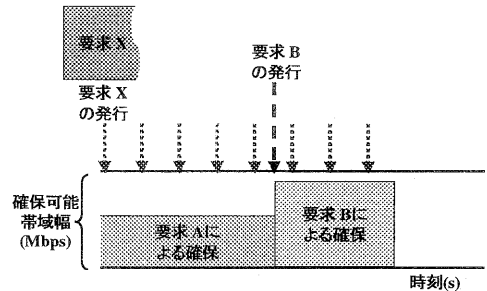


図2: 要求発行順序の不公平性

図2のように、要求Xが要求Aによる帯域確保のために棄却され、繰り返し発行されるとする。このとき、要求Aによる帯域確保が終了したタイミングで他の要求Bが発行されると、そちらの要求が優先されてしまう。

### 問題点 3: 要求帯域幅による確保開始の遅延

従来方式では、確保可能帯域幅の余剰帯域幅で確保可能な要求が発行されると、無条件にその帯域確保が行われる。したがって、図3のように帯域幅が大きい要求は、その確保開始時刻が遅延する可能性が高い。これは、帯域幅の大きい要求が、他の要求に比べ確保可能になる可能性が低くなることを意味している。

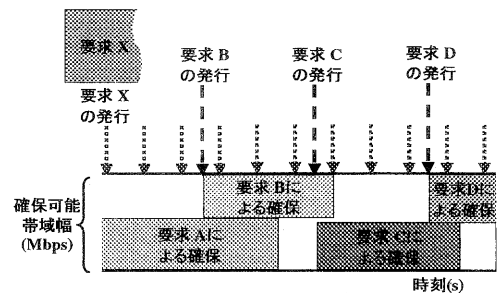


図3: 要求帯域幅による確保開始の遅延

## 3. 提案する帯域制御方式

### 3-1. 帯域確保時間の明示と要求の保持機能

本方式では、前述の問題点を回避するため、帯域確保時間を要求発行時に明示することを

義務付ける。さらに発行時に帯域確保不可能な要求をリストとして保持する機能を追加する。本方式での帯域確保の流れを図4に示す。

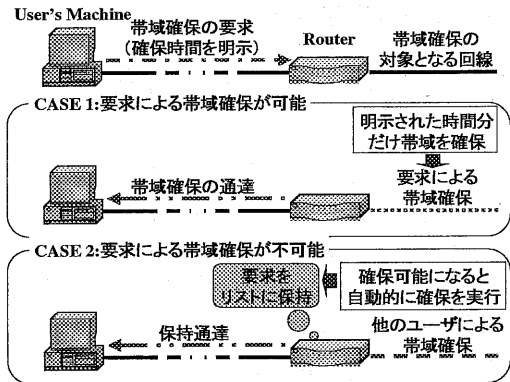


図4：提案方式による帯域制御

この方式により、発行時に帯域確保が不可能な要求でも、最初の一発だけの発行ですむ。また、ユーザは、自分がどれくらい待てば帯域確保可能となるのかを知ることできる。複数のユーザが帯域幅の使用を競合する場合は、各要求を保持することによって、要求の発行順序を考慮することが可能となり、要求の発行タイミングや要求帯域幅の大きさによる確保開始時刻の遅延を回避することが可能となる。さらに、リスト内に保持されている要求の順序を入れ替えることにより、意図的な優先度処理を行うことも可能となる。

### 3.2. 保持要求の実行順序スケジューリング

要求の保持機能を用いた場合、発行順序通りに確実に帯域確保ができる反面、確保可能帯域幅に対して効率的な要求の処理ができない場合もある。例えば、図5のCASE 1, 3では、CASE 2の場合とは異なり、要求C発行時に帯域確保を行っても要求Bによる帯域確保開始時刻の遅延はないので、CをBの終了前に割り当てても要求発行順序の不公平性は生じない。しかし、要求を保持するだけでは、要求A, B, Cの順で要求が発行されると、その順序で帯域が確保されるのみで、効率的な確保可

能帯域幅使用の可能性を全く切り捨ててしまっているといえる。

帯域確保Gantt図(確保要求保持機能のみ)

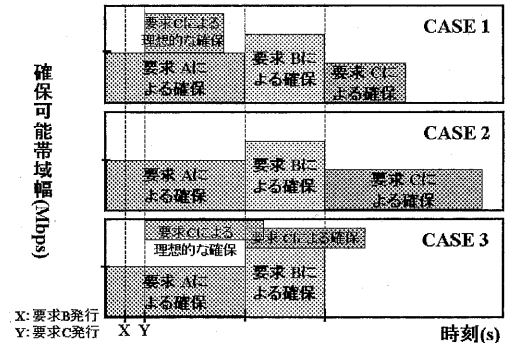


図5：要求を保持した場合の帯域確保

要求の効率的な処理ができない状況は、たとえ要求発行順序の公平性が保たれても、ユーザ全体から見た場合、それらの帯域確保がなされるまでの時間が遅延し、効率が悪くなる。

本論文では、要求発行時における帯域確保時間の明示という特徴を生かし、上記の要求の保持機能の問題点を回避する。具体的には、各ユーザが明示した確保時間と要求帯域幅により、ルータ側で保持されている要求群の帯域確保実行順序をスケジューリングする。以下、図6で、図5の例において要求Cが発行されたときのスケジューリング手法について述べる。

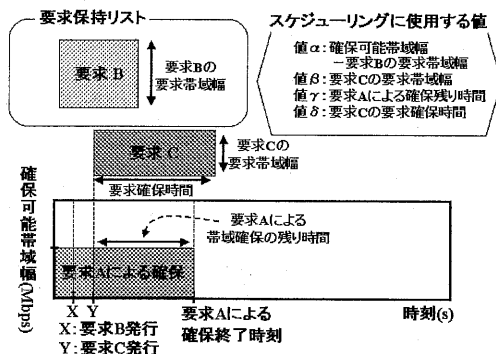


図6：スケジューリング方式

#### [スケジューリング手順]

手順1: 確保可能帯域幅と要求Bの要求帯域幅の差分と要求Cの要求帯域幅を比較  
 $\text{値 } \alpha > \text{値 } \beta \rightarrow \text{要求Cによる帯域確保実行}$

値  $\alpha < \beta \rightarrow$  手順 2 へ

手順 2: 要求 A による帯域確保残り時間と要求 C の要求確保時間を比較

値  $\gamma > \delta \rightarrow$  要求 C による帯域確保実行

値  $\gamma < \delta \rightarrow$  リストに保持

このスケジューリングを行う機構を要求の保持機能とともに組み込む。それにより、図 5 の例における CASE 1, 3 の場合に、理想的な確保可能帯域幅の使用が可能となる。すなわち、要求の発行順序を保ちながら、効率的な要求の処理を行うことが可能となる。

#### 4. 実装

前述の提案方式を実現するシステムを構築した。図 7 に示すようにクライアント・サーバシステムの形で実装し、実際の帯域制御を実行する機構には ALTQ-CBQ[3] のモジュールをそのまま流用した。ルータ上のサーバシステムには、リスト内の要求群の順序を優先度によって入れ替える優先度処理機能を試験的に持たせている。

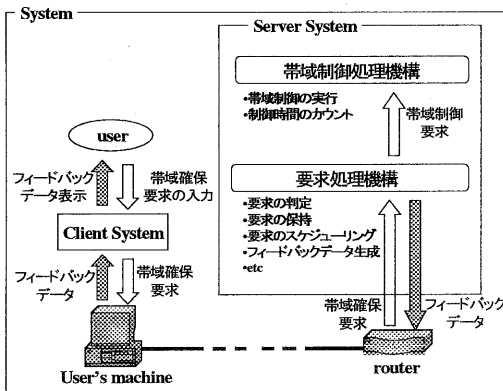


図 7: 構築した帯域制御システムの構成

ユーザは、クライアントシステムのユーザ・インターフェースに、表 1 に示すようなコマンドを入力することで、ルータへの要求の通知（帯域確保）の他に、保持されている自要求の削除、保持要求群の情報の取得、ルータ側で設定されている要求に対する制限情報の取得、な

どを行える。

表 1: ユーザが使用できる主なコマンド

command	目的
occupy	帯域確保要求の発行
list	リストに保持されている要求群の情報の表示
remove	リストに保持されている自要求の削除
status	対象ルータで設定されている帯域制御情報の表示

なお、ルータ上システムにおける保持要求群の情報をユーザが取得した場合のユーザ・インターフェースの表示を図 8 に示す。このような機能を設けることにより、ユーザは要求の発行以前に、どの程度の待ち時間で自分が帯域確保可能になるかを確認できる。

```

X root
command >list
--- request entries ---
id: user A bandwidth: 25 time: 412 ACTIVE
id: user B bandwidth: 40 time: 400
id: user C bandwidth: 20 time: 122 ACTIVE
id: user D bandwidth: 40 time: 300
id: user E bandwidth: 35 time: 700
id: user F bandwidth: 40 time: 300
command >
  
```

図 8: コマンド list による表示

#### 5. 評価

図 9 の実験環境において構築した帯域制御システムを用いて、提案方式通りの帯域確保が行えることを検証した。

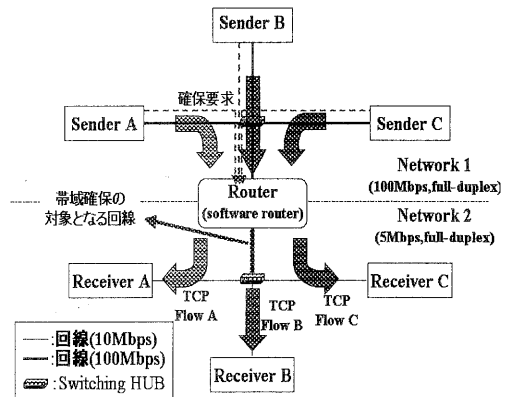


図 9: 帯域制御実験環境

Sender A, B, C にクライアントシステムを、Router にサーバシステムを搭載する。Sender

A, B, C から Receiver A, B, C へ通信フロー (TCP) を発生させる。この際、各 Receiver で単位時間当たりの受信情報量 (各フロー A, B, C の使用帯域幅) を測定する。その後、各 Sender から、各々が発生させているフローに対して、以下の要求発行の時刻表で帯域確保要求を発行する。その時の各 Receiver における受信情報量の変化を測定することで、Router における帯域確保の動作 (帯域確保, 要求保持, 優先度処理, 保持要求の実行順序スケジューリングの各動作) を確認する。なお、Network 2 の回線の帯域幅 5.0Mbps 全てを確保可能帯域幅として実験を行う。

[要求発行の時刻表]

- 00(s) : Flow A, B, C の通信開始
- 30(s) : Flow A に対して帯域確保要求 (要求 A) [2.5Mbps : 60 秒間]
- 35(s) : Flow B に対して帯域確保要求 (要求 B) [4.5Mbps : 30 秒間]
- 40(s) : Flow C に対して帯域確保要求 (要求 C)
  - CASE 1 → [2.0Mbps : 60 秒間]
  - CASE 2, 3 → [2.0Mbps : 40 秒間]

※ 要求の意図的な優先度付け

- CASE 1, 2 → なし
- CASE 3 → 要求 B < 要求 C

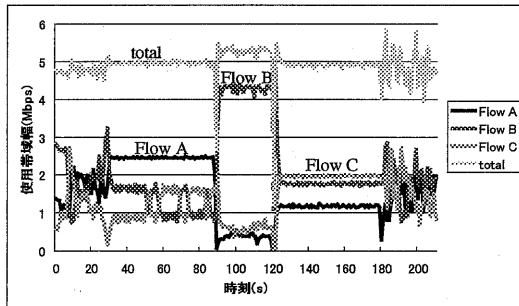


図 10 : CASE 1

図 10 のグラフは、作成したシステムの以下の動作を確認するものである。

1. 要求された帯域幅で、要求された確保時間分だけ帯域確保が行われているか、
2. 発行時に帯域確保不可能な要求が保持

されているか

3. 要求の発行順序が考慮されているか

[図 10 での動作]

- 30(s) : 要求 A が発行
  - Flow A に対し 2.5Mbps の帯域を確保
- 35(s) : 要求 B が発行
  - 確保不可能 → 要求をリストに保持
- 40(s) : 要求 C が発行
  - 確保不可能 → 実行順序スケジューリング
  - 要求 B の開始時刻に影響ありと判定
  - 要求をリストに保持
- 90(s) : Flow A に対する帯域確保終了時刻
  - 要求 A による確保(60 秒間)を自動的に終了
  - 保持されている要求 B による帯域確保開始
  - Flow B に対し 4.5Mbps の帯域を確保
- 120(s) : Flow B に対する帯域確保終了時刻
  - 要求 B による確保(30 秒間)を自動的に終了
  - 保持されている要求 C による帯域確保開始
  - Flow C に対し 2.0Mbps の帯域を確保
- 180(s) : Flow C に対する帯域確保終了時刻
  - 要求 C による確保(60 秒間)を自動的に終了

以上により、前述の 1~3 の動作が確認できる。また、40(s) のスケジューリングの際、要求 C による帯域確保が、要求 B による帯域確保開始時刻に影響がないのであれば、その帯域確保が行われる。その様子を、要求 C の確保時間を 20 秒短縮した CASE2 (図 11) の実験で確認する。

なお、図 10 において、Flow A, C の帯域確保が行われた際、理想的には、帯域確保外の余剰帯域幅を他の 2 つのフローが平等に使用するはずである。しかし、実際には片方のフローのみが帯域確保の影響を受けている。このような現象は、以下の実験にもあらわれるが、これは、本システムで帯域制御機構に用いた ALTQ-CBQ 機構の特性で、一般的な CBQ において、帯域確保外のフローに対する余剰帯域幅分配の明確な取り決めが存在しないことに起因する。

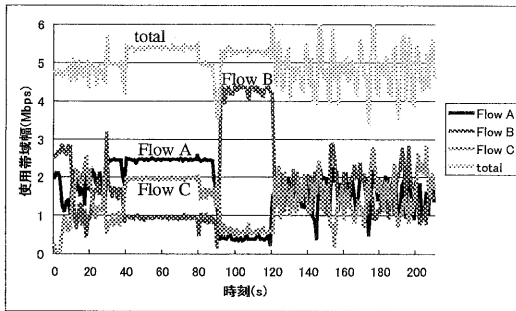


図 11 : CASE 2

図 11 により、提案方式通りに、帯域確保要求の実行順序のスケジューリングが行われていることが確認できる。また、システムに搭載した優先度処理機構を確認するために、CASE 1 において、優先度 要求 C > 要求 B を意図的に設定した CASE 3 の実験で確認する。

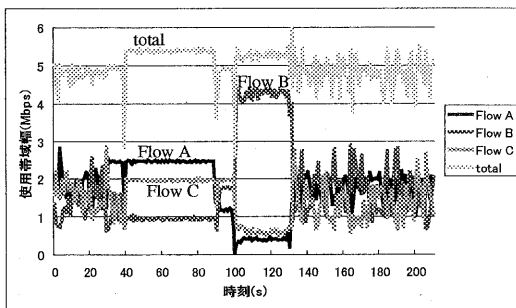


図 12 : CASE 3

図 12 より、要求 C が、先行して発行されている要求 B の帯域確保開始時刻に影響があっても、優先度上問題ないため、その確保が行われている様子が確認できる。

これら CASE 1, CASE 2, CASE 3 の結果により、基本動作（前述 1~3）の他にも、優先度を意識しつつ、発行順序の優位性を保ちながら、帯域確保要求の実行順序を効率的にスケジューリングするというシステムの動作を確認できた。

## 6. まとめと今後の課題

特定ルータでユーザ要求により帯域制御を行うための一方式を提案し、その方式を実現す

るシステムの構築を行った。実験環境を設定し、そのシステムにより実際に帯域制御が行えることを確認した。その結果、従来の帯域予約システムでは不可能であった、各要求の発行順序の優位性を保ちながら、効率的に確保可能帯域幅を使用することが可能となった。

しかし、今回の評価結果はシステムの基本動作の確認に留まっている。帯域確保時間を予め明示しなくてはならないという点を考えても、実環境に導入された際、どの程度の実用性が発揮できるかの評価は今後の課題である。また、複数台で帯域制御を同時に行うという機能拡張が考えられる。今後、これらの点を踏まえて、様々な面からのシステムの評価を行いながら、機能拡張をすすめる必要がある。

## 参考文献

- [1] Floyd, S., Notes on CBQ and Guaranteed Service. Draft document, July 1995
- [2] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin. "Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification," RFC 2205, September 1997.
- [3] ALTQ : Alternate Queuing for BSD UNIX (<http://www.csl.sony.co.jp/person/kjc/programs.html>)
- [4] K. Cho. "Traffic Control by PC-UNIX Based Routers," Proceeding of Internet Conference' 1997
- [5] 池辺, 菅原, 三木, "IP ネットワークにおける待時式帯域予約通信方式," 信学技報, IN2000-24, pp51-56, 2000
- [6] 荒川, 渥美, "RSVP を利用した適応的な帯域制御方式の検討," 信学技報, IN98-108, pp37-44, 1998.
- [7] 勝又ほか, "通信品質保証のための帯域管理機能の提案," 信学技報, IN97-168, 1998-02.
- [7] P. Ferguson, G. Huston. "インターネット QoS," オーム社, 1999