

DiffServにおけるドメイン間帯域予約の高速化手法の提案

小野田哲也[†] 飯田 勝吉[†] 羽田 久一[†] 今井 正和^{††} 砂原 秀樹^{†††}

[†] 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

^{††} 鳥取環境大学情報システム学科

〒 689-1111 鳥取県鳥取市若葉台北1丁目 1-1

^{†††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター

〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †tetsu-o@is.aist-nara.ac.jp

あらまし DiffServ(Differentiated Services)において、ドメインをまたがるトラヒックに対し、エンドエンドのQoS(Quality of Service)を保証するためには、各ドメインの帯域管理機構であるBB(Bandwidth Broker)間でのシグナリングによる連携が必要である。しかし、発呼毎に経路上全てのドメインのBB間でシグナリングを行うことは帯域予約遅延およびBBの処理負荷増大につながる。本稿では、ドメインをまたがるVoIP(Voice over IP)トラヒックに対し、あらかじめ複数呼分の帯域を確保しておき、常に余剰予約帯域が存在するような帯域確保手法を提案する。これにより、帯域予約遅延およびBBの処理負荷を低減できることをシミュレーションによって示す。

キーワード DiffServ, Bandwidth Broker, ドメイン間, 帯域予約

Speed improvements of inter-domain resource reservation in DiffServ networks

Tetsuya ONODA[†], Katsuyoshi IIDA[†], Hisakazu HADA[†], Masakazu IMAI^{††}, and Hideki SUNAHARA^{†††}

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Takayama 8916-5 Ikoma-shi, Nara, 630-0101 Japan

^{††} Department of Information System, Tottori University of Environmental Studies

Wakabadai Kita 1-1-1, Tottori-shi, 689-1111 Japan

^{†††} Information Technology Center, Nara Institute of Science and Technology

Takayama 8916-5 Ikoma-shi, Nara, 630-0101 Japan

E-mail: †tetsu-o@is.aist-nara.ac.jp

Abstract In order to guarantee end-to-end Quality-of-Service(QoS) for the traffic which passes multiple domains, Bandwidth Brokers(BBs) are required to communicate with each other in a cooperative way. However, it may cause large delay for call establishments and it increases the processing load of BBs. Therefore, we propose a new resource reservation scheme, which reserves small amount of additional bandwidth for future use. Through simulation experiments, we show that our scheme can achieve our goal.

Key words DiffServ, Bandwidth Broker, Inter Domain, Resource Reservation

1. まえがき

近年、インターネット上には動画や音声等、様々なマルチメディアアプリケーションが登場してきた。それに伴い、インターネットにおけるデータ配送の品質に対する要求も多様化してきている。例えば、動画等のマルチメディアデータの配送には非常に広い帯域が必要であるように、データの内容に応じた通信サービス品質の保証が必要となってきている。そこで、インターネットにおいて特定のユーザやアプリケーションに対してデータの配送を選択的に保証する QoS 制御技術が注目を集めている。DiffServ(Differentiated Services) [1] [2] [3] はパケットに優先度を設定し、トラフィックをクラス分けすることによって QoS(Quality of Service) を実現する技術である。しかし、DiffServ では、優先度が上位のクラスであっても、各サービスクラスに流入するトラフィック量が適切でなければ、輻輳等の理由によりパケットロスが発生する。DiffServ において実際に QoS を実現するには、各サービスクラスにどのように資源を割り当てるかをネットワーク管理の立場から決め、優先されたクラスのトラフィックが割り当てられた帯域を越えないように制御しなければならない。これを実現する帯域管理機構が BB(Bandwidth Broker) [4] [5] である。一方、QoS 保証を要求するアプリケーションとして、低遅延、低ジッタを要求する VoIP(Voice over IP) において、ドメインをまたがる通信を行う際、エンドエンドで QoS を保証するためにはドメイン間で帯域を割り当てる必要がある。この実現にはトラフィックが経由するドメインの BB 同士の連携が必要である。ドメイン間帯域予約方式として、Peer to Peer 方式 [5] が提案されている。これは呼の発生毎に BB 間でシグナリングを行い、ドメイン間で各フローに要求帯域を割り当てるものである。しかし経路上全てのドメインの BB 間でシグナリングを行うため、帯域予約が完了するまでの遅延が大きいということ、およびシグナリングによる BB の処理負荷が大きいという問題点 [7] がある。本研究では、あらかじめ複数呼分の帯域を適切に確保しておき、常に余剰予約帯域を存在させることによってドメイン間帯域予約の高速化および BB の負荷低減を実現する方式を提案する。

本稿では、まず 2 節において DiffServ と BB の概要について述べる。3 節において既存のドメイン間帯域予約方式である Peer to Peer 方式について述べ、その問題点を明かにする。4 節において提案するドメイン間帯域予約の高速化手法について説明する。5

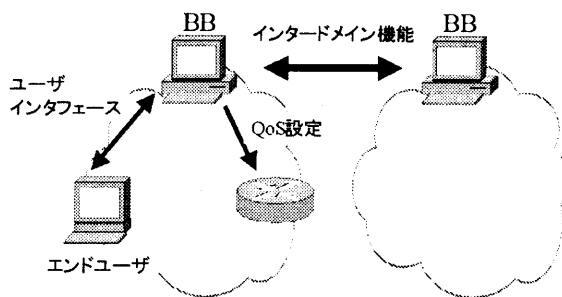


図1 Bandwidth Broker

節では提案手法の性能を検証するためのシミュレーション条件および結果を示し考察する。最後に 6 節でまとめを行う。

2. DiffServ と Bandwidth Broker

DiffServ は、インターネットにおいて QoS 制御を実現するための技術として注目を集めている [3]。ドメインの入口となる Ingress ノードにおいてフローを検出し、優先度情報を格納する IP ヘッダの DSCP(Differentiated Services CodePoint) を設定する。ドメインの内部ノードにおいては DSCP 値に基づいた転送処理を行うことによって、優先制御や帯域保証を可能とする。しかし、DiffServ では、優先度が上位のクラスであっても、各サービスクラスに流入するトラフィック量が適切でなければ、輻輳等の理由によりパケットロスが発生する。DiffServ において実際に QoS を実現するには、各サービスクラスにどのように資源を割り当てるかをネットワーク管理の立場から決め、優先されたクラスのトラフィックが割り当てられた帯域を越えないように制御しなければならない。これを実現する帯域管理機構が BB である。BB の基本機能のひとつにインタードメイン機能がある。これはドメインをまたがるトラフィックに対し、エンドエンドで QoS 保証を実現するための機能である。複数ドメインを経由するトラフィックに対し、エンドエンドでの QoS 保証を実現するためにはトラフィックが経由する全てのドメイン間でそのトラフィックに割り当てる資源について合意が取れていなければならない。このために経路上のドメインの BB 間で交渉、連携を行い、ドメイン間で帯域を確保する。

3. 既存のドメイン間帯域予約方式

既存のドメイン間帯域予約方式として Peer to Peer 方式 [5] がある。本方式では呼の発生毎に BB 間でシグナリングを行い、ドメイン間で各フローに要求帯域を割り当てる。本方式の動作概要を送信ノードが 10[kbps] の VoIP トラフィックを受信者に対して送信し

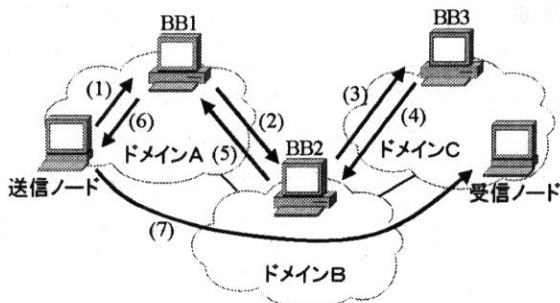


図2 Peer to Peer方式

ようとする場合を例にとって図2を用いて説明する。

(1) 送信ノードからBB1に対して受信ノードまでの経路について10[kbps]の帯域確保を要求するメッセージを送信

(2) BB1はBB2に対して受信ノードまでの経路について10[kbps]の帯域確保を要求するメッセージを送信

(3) BB2はBB3に対して受信ノードまでの経路について10[kbps]の帯域確保を要求するメッセージを送信

(4) BB3はドメインBから流入するトラフィックについて余剰帯域が存在するかどうか確認し、要求分の帯域を割り当てることができると判断すればBB2へとOKメッセージを送信

(5) BB2はドメインAから流入するトラフィックについて余剰帯域が存在するかどうか確認し、要求分の帯域を割り当てることができると判断すればBB1へとOKメッセージを送信

(6) BB1は送信ノードへとOKメッセージを送信

(7) 送信ノードは受信ノードへ10[kbps]のトラフィックを送信

このように、呼の発生毎に各ドメインのBB間でシグナリングを行うことにより、エンドエンドのQoSを実現する。しかし、本方式ではシグナリングによる遅延が大きいため、帯域予約が完了するまでに時間がかかってしまう。また、呼の発生毎に帯域計算を行うため、BBの処理負荷が大きいという問題点がある。呼が発生する度に帯域計算を行うことはスケラビリティに問題が生じる。

4. 提案手法

本稿では、Peer to Peer方式における帯域予約遅延およびBBの処理負荷の増大を改善する帯域確保手法を提案する。

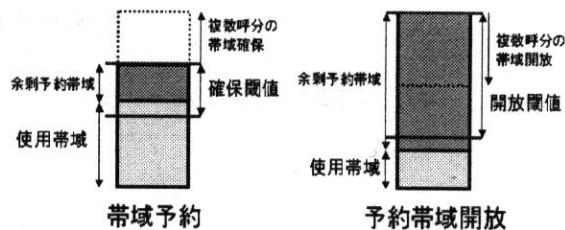


図3 提案手法の概念

4.1 余剰予約帯域の利用による帯域予約遅延の短縮

本手法では送信元ドメインと宛先ドメインでPeer to Peer方式と同じ要領で複数呼分の帯域を一度にまとめて確保する。このドメイン間における予約帯域と使用帯域についての情報を送信元ドメインのBBで保持しておく。宛先が同一ドメインの呼に対して要求量より少し大きな帯域を割り当てることにより、新たに要求帯域を確保するためのBB間シグナリングを大幅に削減できる。さらに、余剰予約帯域を利用する場合にはシグナリングによる遅延が発生しないため、帯域予約遅延を短縮することができる。余剰予約帯域が閾値を下回ると再びPeer to Peer方式と同様の手法で複数呼分の帯域をまとめて確保する。以下よりこの閾値を確保閾値と呼ぶ。また、余剰予約帯域が閾値を上回ると複数呼分の帯域をまとめて開放する。以下よりこの閾値を開放閾値と呼ぶ。このように、複数呼分の帯域をまとめて確保、開放するため、BBの帯域計算のための処理負荷を軽減することができる。

4.2 帯域予約時の動作概要

本方式における帯域予約時の動作概要を3節におけるPeer to Peer方式の動作概要の説明の際と同じ状況を例にとって、図4を用いて説明する。

(1) 送信ノードからBB1に対して受信ノードまでの経路について10[kbps]の帯域確保を要求するメッセージを送信

(2) BB1はあらかじめドメインAからドメインCへの経路について複数呼分の帯域を確保しており、余剰予約帯域が10[kbps]以上存在すると判断すると即座に送信ノードへとOKメッセージを送信

(3) 送信ノードは受信ノードへ10[kbps]のトラフィックを送信

余剰予約帯域が確保閾値を下回るとBB1はドメインCまでの経路について再び複数呼分の帯域をPeer to Peer方式の要領で確保する。

4.3 予約帯域開放時の動作概要

本方式における予約帯域開放時の動作概要を図5を

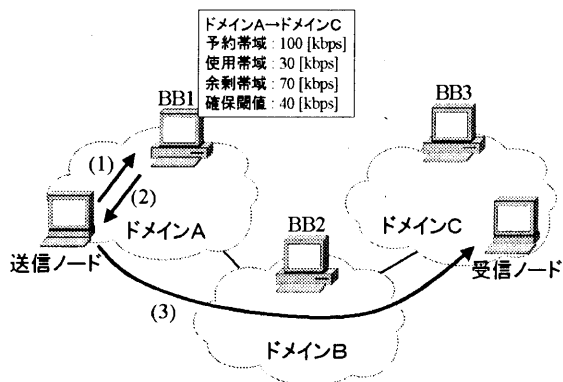


図4 提案手法における帯域予約

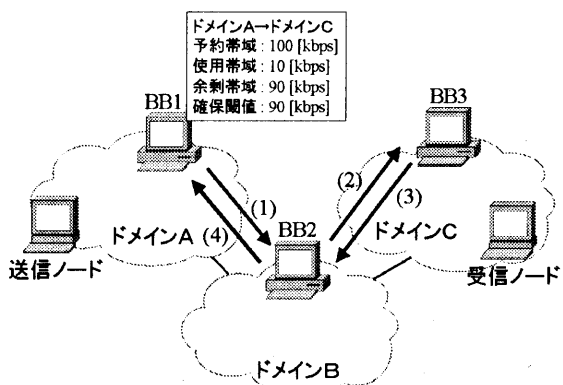


図5 提案手法における予約帯域の開放

用いて説明する。

(1) 余剰予約帯域が開放閾値以上になると BB1 は BB2 へと複数呼分の帯域の開放を要求するメッセージを送信

(2) BB2 はドメイン A から流入するトラヒックについて予約帯域を要求分開放し、BB3 へと開放要求メッセージを送信

(3) BB3 はドメイン B から流入するトラヒックについて予約帯域を要求分開放し、BB2 へ OK メッセージを送信

(4) BB2 は BB1 へと OK メッセージを送信し、開放が完了

4.4 関連研究

磯山ら [8] は、ドメイン内の QoS サーバと呼ばれるリソース割り当ての計算、提供を行うサーバに対し呼の到来に先立ち複数呼 (N 呼) 分の帯域を前もって要求し、要求分の帯域を確保する経路を MPLS (Multi Protocol Label Switching) の LSP (Label Switched Path) として確立するリソース確保方式を提案している。また、本方式では現在の接続呼数が閾値を越えた場合にはさらに N 呼分の追加リソースを要求し、呼が終了して使用リソースが閾値を下回った場合には N 呼分のリソース開放を要求する。これにより、呼の

到来に先立ってまとまった呼単位でリソース割り当てが計算されるため、QoS サーバのリソース割り当て計算時間が呼設定遅延の原因になることが避けられ、QoS サーバの必要処理能力の低減につながる。しかし、閾値の変化が QoS サーバの処理負荷に与える影響および呼設定遅延についての数値的な評価はされていない。また、単一ドメイン内でのリソース割り当てについての言及に留まっており、ドメイン間については考慮されていない。VoIP 等を QoS 保証を要求するアプリケーションとして想定した場合、ドメインをまたがった通信は頻繁に発生するため、複数ドメインを経由するトラヒックのための帯域予約遅延を短縮することは極めて重要である。

5. 性能評価

Peer to Peer 方式と比較することにより、提案手法の性能を評価するため計算機シミュレーションを行った。

5.1 シミュレーションモデル

シミュレーションにおいて、帯域予約遅延時間を評価するために図2のように複数ドメインを並列に接続したネットワーク構成を用いた。各ドメインに 10×10 の格子状に中継ノードを配置し、その中でランダムに選択した中継ノードに BB を一つ接続した。また、両端のドメインに送信ノード、受信ノードを配置した。各リンクの伝搬遅延は全てのリンクで $5[msec]$ とした。呼の生起間隔は平均 $1[sec]$ の指数分布に従うこととした。一つの呼あたりの要求帯域を送信ドメインから受信ドメインまでの経路上の $10[kbps]$ とし、サービス時間を $100[sec]$ とした。

5.2 評価指標

提案手法の性能を検証するための評価指標を以下のものとする。

- シグナリング回数
- 帯域利用効率
- 帯域予約遅延

シグナリング回数は帯域予約の際に各ドメインの BB 間で行われるシグナリングの回数である。シグナリング毎に帯域計算が行われるため、これを BB の処理回数とみなすことができる。帯域利用効率は予約帯域に対しての使用帯域の利用効率である。帯域予約遅延は送信ノードが帯域予約要求メッセージを送信してから OK メッセージが返送されるまでに要する時間である。

5.3 シミュレーション結果

5.3.1 シグナリング回数に与える影響

図6は、ドメイン数が4の場合に提案手法において確保閾値をそれぞれ20[kbps]、30[kbps]、40[kbps]、50[kbps]に固定し、開放閾値を変化させた場合のシグナリング回数に与える影響を表している。ここで、余剰予約帯域が確保閾値を下回った場合は確保閾値分の帯域を新たに確保し、余剰予約帯域が開放閾値を上回った場合は現在の余剰予約帯域の半分になるように予約帯域を開放した。縦軸がシグナリング回数、横軸が開放閾値である。この図より、開放閾値が大きくなるに従ってシグナリング回数が減少することが分かる。これは、開放閾値が大きいかほど開放後の余剰予約帯域も大きいため、余剰予約帯域が確保閾値を下回る回数が減少するためであると考えられる。また、開放閾値が大きくなるに従って、シグナリング回数の減少率も小さくなること分かる。これは、ある程度の開放閾値以上になると余剰予約帯域が開放閾値を上回る回数の差が小さくなり、開放閾値による影響が小さくなるためであると考えられる。また、開放閾値が50[kbps]から110[kbps]の範囲では、開放閾値が同じ値の場合には、確保閾値が小さい程シグナリング回数は少なくなっている。これは、確保閾値が小さいほど帯域確保後の余剰予約帯域が小さくなるため、余剰予約帯域が開放閾値を上回る回数が減少するためであると考えられる。また、同じ条件のもとでPeer to Peer方式を適用した場合のシグナリング回数は10057回であった。従って、確保閾値が20[kbps]の場合、開放閾値を110[kbps]程度とることによってシグナリング回数を約10分の1に減少させることができる。

図7は図2の条件のもとで、縦軸に帯域利用効率をとったもので、閾値と帯域利用効率の関係を表している。この図より、確保閾値、開放閾値ともに大きくなるに従って帯域利用効率は悪くなっていることが分かる。これは、確保閾値、開放閾値ともに大きいほど余剰予約帯域が大きくなるためである。同じ条件のもとでPeer to Peer方式を適用した場合、発呼毎に呼が要求する帯域を確保するため、帯域利用効率は100%となる。

また、図8は図2、図7の条件のもとで、横軸に帯域利用効率をとったもので、帯域利用効率がシグナリング回数に与える影響を表している。この図より、帯域利用効率が良くなるに従ってシグナリング回数が増加していることが分かる。また、同じ帯域利用効率であっても閾値のとり方によってシグナリング回数

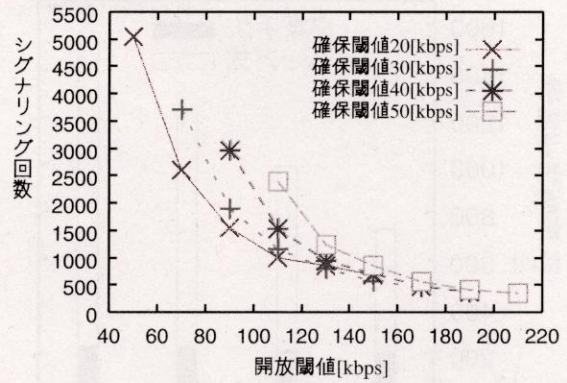


図6 閾値がシグナリング回数に与える影響

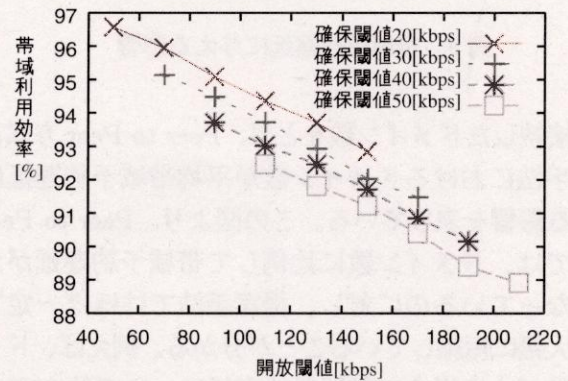


図7 閾値と帯域利用効率の関係

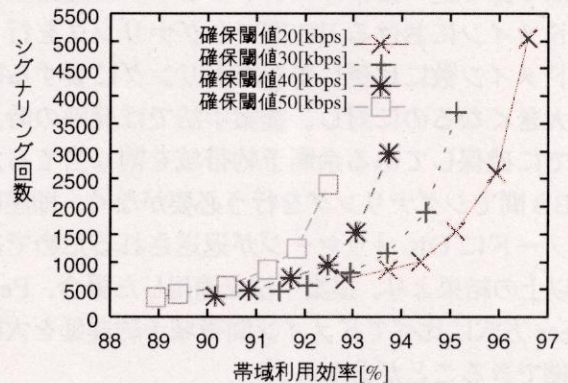


図8 帯域利用効率とシグナリング回数の関係

に変化が見られる。例えば、帯域利用効率が95%程度の場合、確保閾値20[kbps]の場合の方が確保閾値30[kbps]の場合に比べてシグナリング回数が減少している。従って帯域利用効率では確保閾値20[kbps]の場合の方が良い性能を示しているといえる。

5.3.2 帯域予約遅延に与える影響

図9は、縦軸に帯域予約遅延の平均値、横軸に並

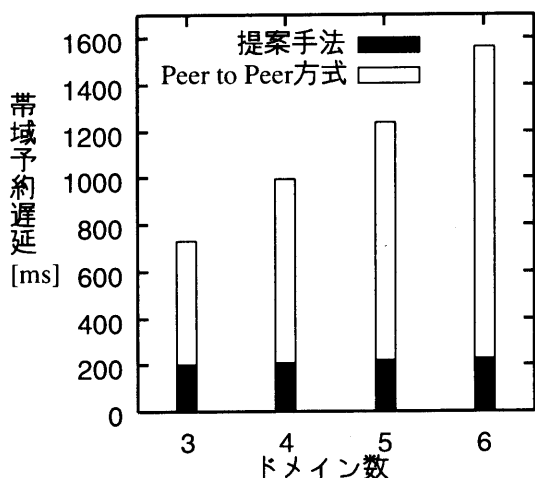


図9 帯域予約遅延に与える影響

列に接続したドメイン数を取り、Peer to Peer方式と提案手法におけるドメイン数が平均帯域予約遅延に与える影響を表している。この図より、Peer to Peer方式では、ドメイン数に比例して帯域予約遅延が大きくなっているのに対し、提案手法ではほぼ一定でかつ大幅に短縮していることが分かる。例えば、ドメイン数が6の場合で帯域予約遅延について約85%の改善効果が得られている。これは、Peer to Peer方式では3節で述べたように、トラヒックの経路上全てのドメインにおけるBB間でシグナリングを行うためドメイン数に比例してシグナリングに要する時間が大きくなるのに対し、提案手法では発呼の時点ですでに確保してある余剰予約帯域を割り当てるため、BB間でシグナリングを行う必要がなく、即座に送信ノードにOKメッセージが返送されるためである。以上の結果より、提案手法を適用した場合、Peer to Peer方式に比べてドメイン間帯域予約遅延を大幅に短縮できることが分かる。

6. まとめ

DiffServにおいてドメインをまたがるトラヒックに対しエンドエンドでのQoS保証を実現するためには、複数BB間で連携し、ドメイン間で帯域を割り当てる必要がある。本稿では、余剰予約帯域を利用することにより、ドメイン間の帯域予約を高速化する手法を提案した。本手法では、あらかじめ複数呼分の帯域を特定ドメイン間で確保し、発呼の際には余剰予約帯域を割り当てることによりPeer to Peer方式に比べて帯域予約遅延を短縮することができる。また、余剰予約帯域が確保閾値を下回った場合、再び複数呼分の帯域を確保し、余剰予約帯域が開放閾値を上回った場合、複数呼分の予約帯域を開放する。

これによってBBの帯域計算のための処理負荷を軽減することができる。

計算機シミュレーションを用いた性能評価により、本手法をDiffServネットワークに適用した場合、ドメイン間の帯域予約遅延およびBBの処理負荷について改善されることを示した。なお、詳細な検討により、BBの負荷については開放閾値が大きいほどシグナリング回数の減少にともない軽減されることを示した。また、帯域利用効率については確保閾値が小さいほど良いことを示した。さらに、帯域予約遅延についてはトラヒックが経由するドメイン数が増加してもほぼ一定であり、Peer to Peer方式に比べて大幅に短縮できることを明らかにした。

一度に確保、開放する帯域の変化に対する性能評価、バースト的な呼が発生した場合の性能評価、および呼率や必要帯域利用効率等から最適な閾値を動的に決定する手法の検討等が今後の課題として挙げられる。

7. 謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金、奨励研究(A)(課題番号13750353,平成14年度)によっている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, and D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field in the IPv4 and IPv6 Headers", IETF RFC2474, Dec 1998.
- [2] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC2475, Dec. 1998.
- [3] Takeshi AIMOTO, Shigeru MIYAKE, "Overview of DiffServ Technology: Its Mechanism and Implementation", IEICE TRANS. INF. & SYST., VOL.E83-D, NO.5, MAY 2000.
- [4] A. Ramanathan and M. Parashar, "Active Resource Management for the Differentiated Services Environment", Active Middleware Services Workshop, Aug 2001.
- [5] K. Nichols, V. Jacobson, and L. Zhang, "A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet", IETF RFC2638, July 1999.
- [6] Chen-Nee Chuah, Lakshminarayanan Subramanian, Randy H. Katz and Anthony D. Joseph, "QoS Provisioning Using A Clearing House Architecture", International Workshop on Quality of Services(IWQoS), Pittsburgh, PA, pp. 115-124, June 2000.
- [7] M. Gnter, T. Braun, "Evaluation of Bandwidth Broker Signaling", Proc. of ICNP'99, IEEE Comput. Soc., 1999.
- [8] 磯山和彦, 斉藤博幸, 長尾泰孝, and 吉田万貴子, "QoSコントロールアーキテクチャの提案", 信学技報SEE, Oct 2000.
- [9] Peter Piedad, et al., "A Network Simulator Differentiated Services Implementation Open IP, Nortel Networks".