

## 動的割り当てを用いた QoS 制御方式

皆川 忠相<sup>†</sup> 北見 徳廣<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 明治大学大学院理工学研究科電気工学専攻  
〒214-8571 川崎市多摩区東三田 1-1-1

E-mail: <sup>†</sup> {minagawa, kitami}@isc.meiji.ac.jp

あらまし IP 網において QoS を実現する方式として Diffserv[1]が注目されてきている。本研究では Diffserv の最低帯域保証の AF サービスに注目し、RIO の閾値および WFQ の帯域割り当てをパケットのノード内滞在時間およびパケットサイズを参照して、それぞれ動的に制御するスケジューリング方式を提案する。提案方式は、過負荷応答時に、高順位の QoS クラスのパケット遅延の軽減ができることをトラフィックシミュレーションにより示す。

キーワード Diffserv, QoS, WFQ, RIO

## QoS control method with dynamic bandwidth allocation

Tadasuke Minagawa<sup>†</sup> Tokuhiko kitami<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Meiji University,  
1-1-1, Higashi-mita Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa-ken, 214-8571 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {minagawa, kitami}@isc.meiji.ac.jp

**Abstract** Diffserv is expected as the method to offer QoS over the IP network. The AF services guaranteeing minimum bandwidth provided in Diffserv is paid to attention in this research, the proposed method dynamically controls queue threshold of RIO and bandwidth allocation of WFQ taking account of sojourn time and size of head of line packet. The proposal method shows that the packet delay of the QoS class of a high priority can be reduced when the overload responds by the traffic simulation.

**Keyword** Diffserv, QoS, WFQ, RIO

### 1. まえがき

現在のインターネットでは BE(Best Effort)に基づく単一のサービスメニューが中心となっている。しかし、近年インターネットを利用するユーザが著しく増加しており、そのトラフィック量も増加の一途をたどっている。また、様々な通信品質を要求するものも増えてきている。このため、複数の通信品質を柔軟に提供するための技術として Intserv(Integrated Services)や Diffserv(Differentiated Services)がある。Intserv が絶対的な性能保障を行うのに対して、Diffserv は複数の優先クラス間で相対的な制御を行うことによって転送性能差をつけることによって優先制御を行う。Diffserv は Intserv に比べてスケラビリティがあることにより注目されている。

Diffserv のサービスクラスには、優先度の高い順に EF(Expedited Forwarding), AF(Assured Forwarding)

および BE(Best Effort)の3つがある。EF サービスは3つのサービスの中で最も優先される。AF サービスは、最低帯域保証をするサービスであり BE サービスより高順位で転送される。BE サービスには転送品質の保証はない。

本研究では、AF サービスに属する4つの優先度クラス(AF1-AF4)を対象として、動的パケットスケジューリング方式を提案する。RIO(RED with IN and OUT)[2]と WFQ(Weighted Fair Queueing)[3][4]を併用する QoS 制御を想定し、ルータ内でのパケット滞在時間により RIO の閾値を動的に制御するとともに、WFQ の帯域配分の際にキューの先頭パケットのサイズとルータ内滞在時間を参照して動的に帯域変更を行う新たな制御方式を提案する。本制御方式は、AF サービスの中の高順位の QoS クラスに関して、パケットのルータ内パケット遅延の低減を狙いとするものである。

## 2. Diffserv における品質制御方式

AF サービスにおける効果的な QoS 制御の基本形態の 1 つとして、RED (Random Early Detection) がある。RED はキューの平均長が一定値以下になるような制御を行う。入力パケットは輻輳時でも廃棄させたくないパケットと、輻輳時には廃棄してもよいパケットに分類できる。廃棄するパケットを分類できるように改良した方式が RIO (RED with IN and OUT) である。

一方、複数のチャネル間の公平性を向上させようとする観点から、出力リンクのデータレートを各チャネルに重みづけ配分する WFQ (Weighted Fair Queueing) が提案されている。

### 2.1. RIO

RIO は、ルータ入力パケットを契約速度などの契約条件に適合する IN パケットと契約条件に適合しない OUT パケットに分け、ルータの輻輳状態に応じてそれぞれ廃棄制御を行う。軽度の輻輳状態になると IN パケットから先に廃棄し、重度の輻輳状態になると OUT パケットも廃棄対象とする。但し、IN パケットの廃棄確率は OUT パケットの廃棄確率に比べて充分小さい値に設定される。このような制御によって、各フローの契約帯域を保証する。輻輳状態の検出と廃棄確率の設定は、ルータの平均キュー長とその閾値に基づいて以下のように行われる。

ルータ内に滞在する IN パケットの平均キュー長を  $q_{in}$ 、平均化の重みづけ係数を  $\omega$  とすると、 $q_{in}$  は次式で表わされる。

$$q_{in} = (1-\omega)q_{in\_new} + \omega q_{in\_old} \quad (1)$$

$q_{in}$  の最小閾値を  $\min_N^{in}$ 、 $q_{in}$  の最大閾値を  $\max_N^{in}$ 、 $\min_N^{in} < q_{in} < \max_N^{in}$  の範囲での IN パケットの廃棄確率の最大値を  $\max_{p\_N}^{in}$  とすると、IN パケットの廃棄確率  $P_{in}$  は次式の値に設定される

$$P_{in} = \begin{cases} 0 & (q_{in} \leq \min_N^{in}) \\ 1 & (q_{in} \geq \max_N^{in}) \\ \frac{q_{in} - \min_N^{in}}{\max_{p\_N}^{in} - \min_N^{in}} \times \max_{p\_N}^{in} & (\min_N^{in} < q_{in} < \max_N^{in}) \end{cases} \quad (2)$$

OUT パケットについても同様の制御を行いパケットの廃棄を行う。

RIO ではパケットの廃棄を行うことにより、Diffserv における QoS の保証を図る。平均キュー長は

到着パケット数の急激な増加などの際には、過去の平均キュー長の影響が残留し、その過渡状態の初期において平均キュー長の増加が緩やかになることが想定される。通常の RIO は平均キュー長に対する閾値の設定を固定値で与えているので、このような場合に廃棄確率が直ちには増加せず、一時的に輻輳状態に陥る結果となる可能性がある。すなわち、輻輳状態の回避のための制御の効果が表れるまでに時間遅れが生ずる可能性が想定される。

### 2.2. WFQ

WFQ は、それぞれのキューからデータを公平に読み出す制御を行う。WFQ はコネクションごとの帯域を保障しており、AF サービスのみを WFQ で処理するには、AF1~AF のクラスごとの最低帯域に対応する重みづけをして、各クラスへの割当帯域配分を行えばよいので、クラス間の公平性および帯域利用率の面では有効である。

入力トラヒックにパケットサイズの大きいものが多く含まれている状況であっても、低順位クラスの遅延の増加をできるだけ抑制しつつ、高順位クラスの遅延の低減を図ることが望ましい。そのためには、パケットサイズを参照してスケジューリングのパラメータを動的に制御することが有効であると考えられる。すなわち、AF1~AF の各クラスともパケットサイズは一定ではなく分布しており、かつパケットサイズの大きいものが比較的が多いという前提のもとでは、固定的な割当帯域の増減よりもパケットサイズを参照した動的な割当帯域の増減の方が、一層大きな遅延低減効果が期待できる。

## 3. 提案方式

出力側キューの先頭パケットのルータ内滞在時間（以下、滞在時間と略記）の増加は、そのキューの後続パケットの滞在時間の増加を招き、出力側キューの輻輳の要因の 1 つとなる。従って、出力側キューの先頭パケットの滞在時間が大きいときには、入力側キューでの廃棄確率を大きく設定して出力側キューへのトラヒック量を抑制することが考えられる。さらに、出力側キューにおけるパケット滞在時間それ自体の減少を目的として、出力側キューでは滞在時間の大きい先頭パケットが属するクラスへの割当帯域を増加させることが考えられる。

本研究ではこのような考えに基づいて、入出力側のキュー管理としてそれぞれ RIO と WFQ を適用する系において、それぞれの機能を拡張した新たな動的制御方式を提案する。

入力側キューに用いる RIO の動的制御方式としては、出力側キューの先頭パケットの滞在時間を参照して

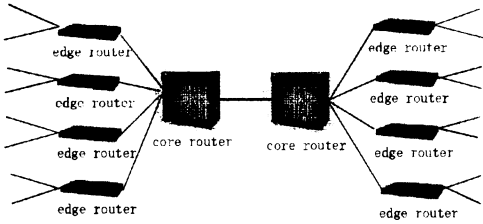


図1 ネットワーク構成

RIOの閾値を変化させ、RIOのトラヒックシェーピング効果が働きやすいようにする。まず、出力側キューの先頭パケットの滞在時間 $\tau$ に対して、AF1-AF4の各クラスごとに閾値 $\tau^{class}$ を設定する。 $\tau$ が閾値 $\tau^{class}$ を超えなければ平常モードとし、2.1に述べたRIOの閾値 $(\min_N^{in}, \max_N^{in}, \min_N^{total}, \max_N^{total})$ および廃棄確率最大値 $(\max_{P-N}^{in}, \max_{P-N}^{out})$ をそのまま用いる。一方、 $\tau$ が閾値 $\tau^{class}$ を超えれば高遅延モードに移行して、RIOの閾値を減少させ、それぞれ $(\min_H^{in}, \max_H^{in}, \min_H^{total}, \max_H^{total})$ とするとともに、廃棄確率最大値を増加させ、それぞれ $(\max_{P-H}^{in}, \max_{P-H}^{out})$ とする。出力側キューに用いるWFQの動的制御方式としては、割当帯域の配分の際に各クラスのキューの先頭パケットのサイズを参照して、パケットサイズが大きいクラスに対しては割当帯域を多く与える動的制御を行う。まず、出力側キューの先頭パケットの滞在時間 $\tau$ とAF1-AF4の各クラスごとに設定した閾値 $\tau^{class}$ とを比較する。 $\tau$ が閾値 $\tau^{class}$ を超えなければ平常モードとし、2.2に述べた重みづけを固定した通常のWFQを用いる。一方、 $\tau$ が閾値 $\tau^{class}$ を超えれば高遅延モードに移行し、そのキューの先頭パケットのサイズを参照して、そのクラスの割当帯域を次式に基づいて変更する。

$$\Delta w^{class} = \frac{size}{size_{max}} \times \Delta w_{up}^{class} \quad (3)$$

但し、 $\Delta w^{class}$ は割当帯域の増加分、 $\Delta w_{up}^{class}$ は割当帯域増加分の上限値、 $size$ は前述した先頭パケットの

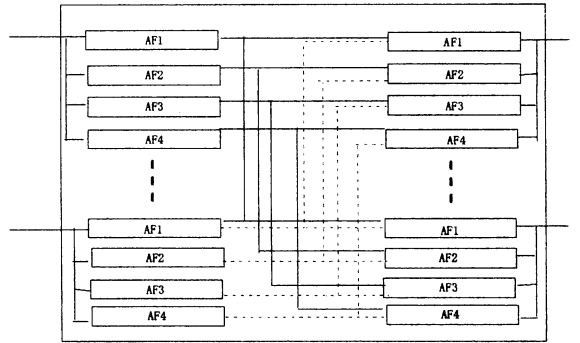


図2 ルータ構成図

表1 シミュレーション条件

Router structure		Allocated bandwidth		
Input ports	8	AF1	600kbit	
Output ports	1	AF2	550kbit	
Line bit rate	2Mbit/s	AF3	450kbit	
		AF4	300kbit	
Threshold values of RIO		Maximum bandwidth increase		
Normal mode	$\min_N^{in}$	1000kbit	AF1	200kbit
	$\max_N^{in}$	1500kbit	AF2	200kbit
	$\min_N^{total}$	500kbit	AF3	200kbit
	$\max_N^{total}$	1000kbit	AF4	200kbit
High delay mode	$\min_H^{in}$	500kbit	Threshold value of packet delay	
	$\max_H^{in}$	1000kbit	AF1	0.001s
	$\min_H^{total}$	500kbit	AF2	0.050s
	$\max_H^{total}$	1000kbit	AF3	0.070s
Maximum discard probability		AF4	0.100s	
Normal mode	IN	0.01		
	OUT	0.02		
High delay mode	IN	0.10		
	OUT	0.20		

サイズ、 $size_{max}$ はパケットサイズの最大値である。

すなわち、高遅延モードでは、平常モードでの割当帯域に式(3)の割当帯域増加分が加算される。なお、出力リンクの合計帯域が固定されている場合には、前記した割当帯域増加を行うクラス以外の割当帯域を削って、この割当帯域増加分を得るものとする。AF1-AF4の4つのクラスは、この順に優先度が高い。従って、各クラスから削る帯域の割合は、AF1クラスを最も少なく削り、AF4クラスを最も大きく削る。さらに、割当帯域変更後においても、割当帯域の配分はAF1>AF2>AF3>AF4の制約条件を維持するように配分する。

以上に述べた動的制御を施すことによって、輻輳回避の効果が向上するので、パケットのスケジューリングが一層効率化され、パケット滞在時間の低減が期待される。式(3)に示すようにパケットサイズに比例して割当帯域増加分を与えるので、この滞在時間低減の効果はパケットサイズの大きいものが比較的に多く含まれている場合に発揮されると考えられる。

#### 4. シミュレーションモデル

本論文では図1に示すネットワーク構成でシミュレーションを行う。想定するルータの構造は、図2のように入出力側にそれぞれAF1-AF4のクラスごとにキ

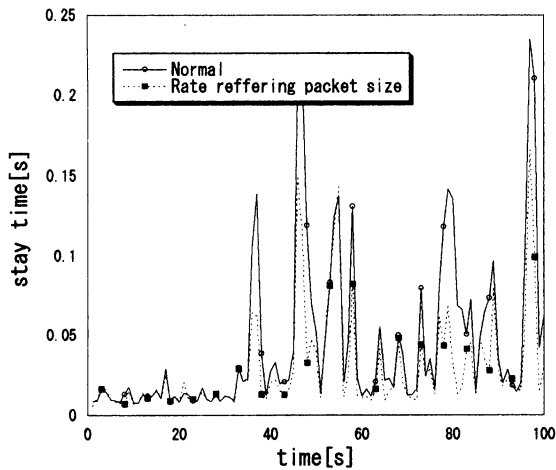


図3 ルータ内滞在時間 (AF1)

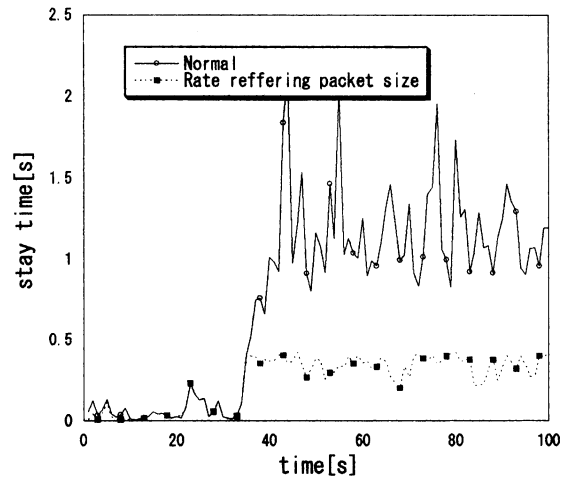


図5 ルータ内滞在時間 (AF3)

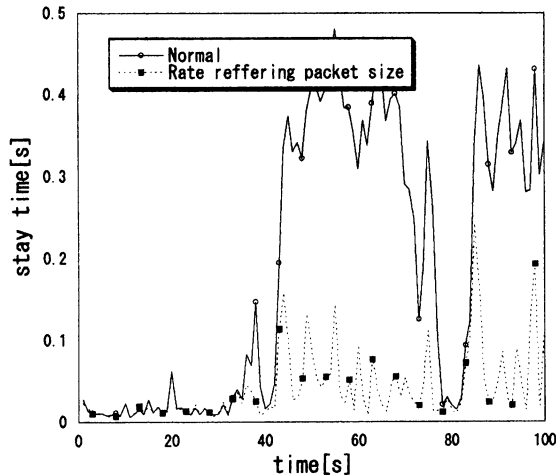


図4 ルータ内滞在時間 (AF2)

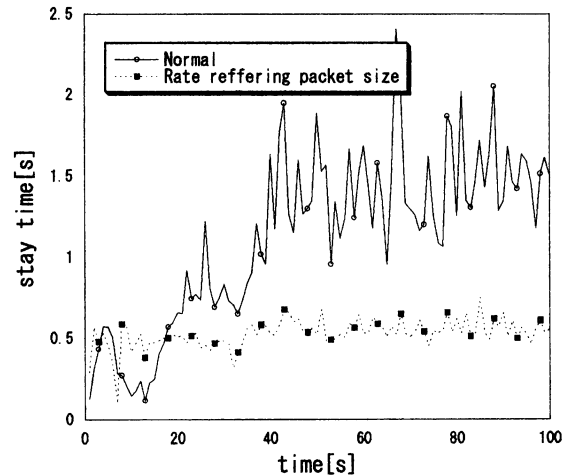


図6 ルータ内滞在時間 (AF4)

ユーをもつ構造とする。入出力キュー間の接続を行うスイッチ部の処理速度は、入出力リンク速度の2倍とする。入力側キューでは、出力側キューの先頭パケットの滞在時間 $\tau$ を参照し、それがクラスごとに設定した閾値 $\tau^{class}$ を超えた場合には、RIOの閾値を3.に述べたように変更して入力パケットのトラヒック量を制限する。

出力側キューでも、キューの先頭パケットの滞在時間 $\tau$ を参照し、それがクラスごとに設定した閾値 $\tau^{class}$ を超えた場合には、WFQの割当帯域を3.に述べたように変更する。すなわち、式(3)により算定される分だけ割当帯域を増加する。但し、パケットの最大サイズ $size_{max}$ は1500byteとした。また、パケット滞在時間

がクラスごとに設定した上限値 $\tau^{class}$ を超えた場合には、そのパケットを出力側キューで廃棄する。シミュレーション条件を表1に示す。この表に示す各種の制御パラメータ等の値は、提案方式の特性の数値評価のために一例として用いたものであって、これらの値の適正化は今後の課題である。

シミュレーションにおける主な評価項目は、過負荷応答時におけるパケットの滞在時間である。

### 5. シミュレーション結果

本章では、提案方式のAF1~AF4、従来方式のAF1~AF4をそれぞれRate referring packet size AF1~AF4(以下R-P modeと略す)、Normal AF1~AF4とする。従来方式とは、RIOおよびWFQの動的制御を行わないものとする。過負荷応答時のAF1~AF4クラスの

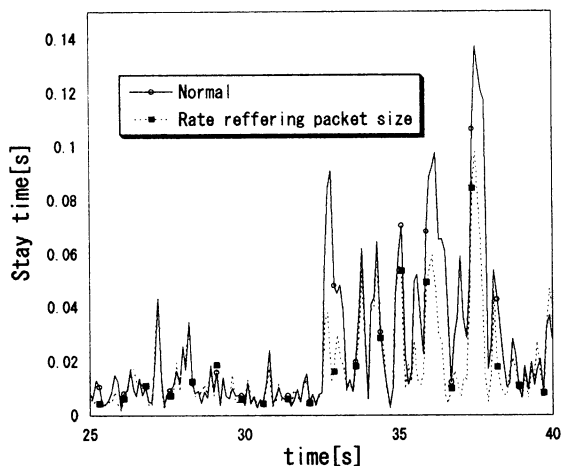


図7 ルータ内滞在時間 (AF1)  
time 25~40

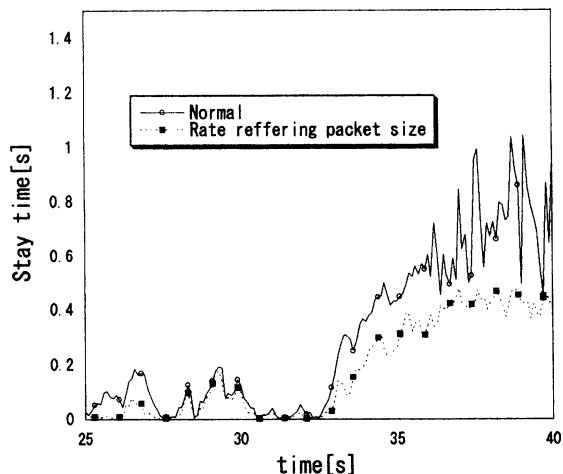


図9 ルータ内滞在時間 (AF3)  
time 25~40

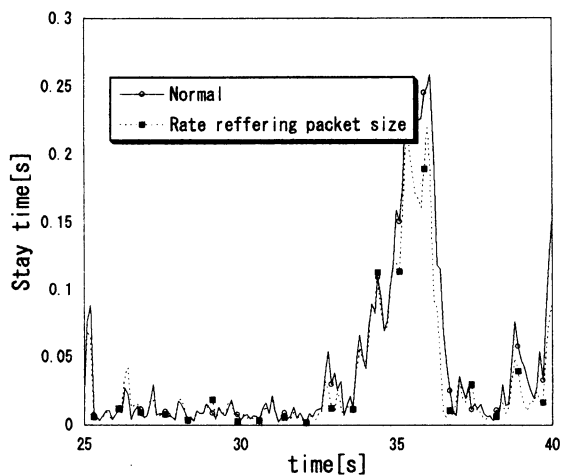


図8 ルータ内滞在時間 (AF2)  
time 25~40

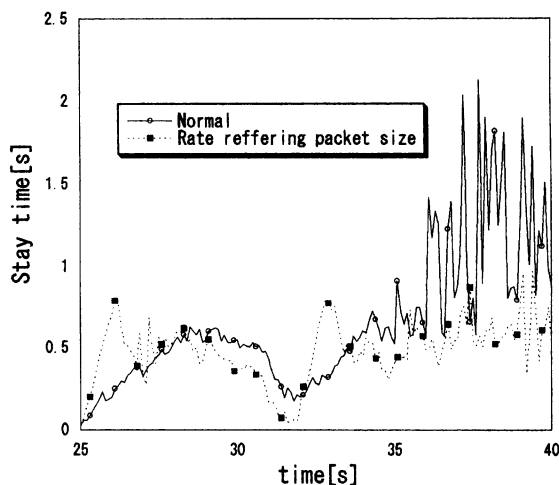


図10 ルータ内滞在時間 (AF4)  
time 25~40

滞在時間を図3~図6に示す。図3においてR-P modeにおいては負荷変化後においてもNormalよりも最大遅延が抑えられていることがわかる。図4~図6では過負荷時、Normalに比べR-P modeの滞在時間が大きく減少している。AF1の時に比べAF2~AF4の差が大きく出ているがこれは、過負荷時においてもAF1に余剰帯域がありNormalでは使われることのなかった帯域がR-P modeでは各クラスに配分されより効率的に帯域が使われた結果になったと考えられる。図7~図10には負荷変更時前後の状態を詳細にしたものである。AF1~AF3においてはNormalよりR-P modeが短時間にパケットを処理することができおり収束が早くパケットのバースト的な到着に瞬時に反応できていることが

わかる。

AF4においては、負荷状態に関わらずほぼ一定値で推移していることがわかる。図11は図7~図10の廃棄率をクラス毎に示している。AF1~AF2まではどちらも廃棄率は極めて少なく差はないが、AF3ではNormalがR-P modeより大きくなり、AF4に関してはそれが逆転している。これは、高順位のクラスを優先的に転送するためWFQの割り当て帯域を動的に変更したためAF4に割り当てられる帯域が減少した影響によるものだと考えられる。ここでのシミュレーション結果では、AF4のクラスについては提案方式の方が従来方式に比べて廃棄率が若干劣化する結果となった。これは、表1の制御パラメータの値が適正でなかったことが一因

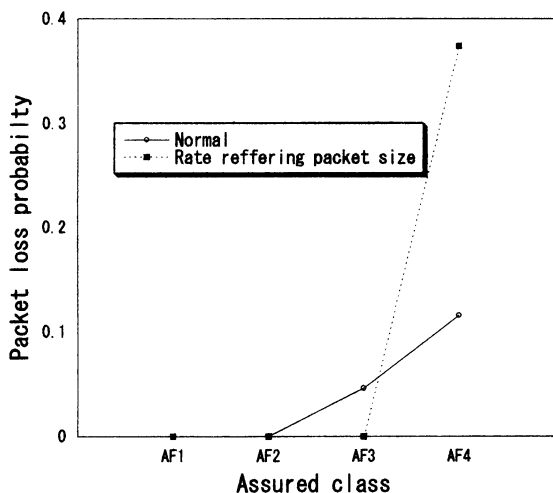


図 11 廃棄率 [time 25~40]

と考えられる。しかし、滞在時間は AF4 でも Normal より R-P mode が減少している。

以上に述べたように、本研究のシミュレーションでは、提案方式 (RIO および WFQ の制御パラメータの動的制御を行う方式) と従来方式 (RIO および WFQ の制御パラメータを固定値とした方式) の性能比較を行った。

## 6. むすび

Diffserv の AF サービスを対象に RIO と WFQ を併用して制御パラメータの動的制御を行う方式を提案した。RIO に関しては、出力側キューの先頭パケットの滞在時間を参照してキュー長の閾値を動的に変更する。WFQ に関しては、出力側キューの先頭パケットのサイズを参照して割当帯域を動的に変更する手法を提案した。過負荷応答時の提案手法と従来手法についてのシミュレーションを行い、滞在時間および廃棄率などの性能評価を行った。

AF1~AF4 の滞在時間は負荷変化後の過負荷状態において従来手法よりも提案手法が滞在時間を大幅に減少することが判明した。負荷変化前後においても AF1~AF3 では負荷変化にすばやく反応することができパケットの滞在時間を減少することが判明した。廃棄率については、AF1~AF3 クラスでは従来手法より提案手法が減少しているが AF4 に関しては従来手法より増加しているが滞在時間に関しては減少しており入力キュー側での RIO が輻輳状態を回避したものだと思われる。

今後の課題としては、各種の制御パラメータの適正化、提案方式における入力側キューでの処理時間と出力側キューでの処理時間との数値的比較、入力側に RIO スケジューリングを付加しない方式との間でのパケット

廃棄率およびパケット滞在時間の数値的な性能比較の詳細スケーラビリティの高いキューの構成法の検討などが挙げられる。

## 文 献

- [1] S. Blake, D. Blake, M. Carlson, E. Davoes, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, Dec. 1998.
- [2] D. Clark, and W. Fang, "Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 6, no. 4, pp. 362-373, Aug. 1998.
- [3] A. K. Parekh, and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach Flow Control in Integrated Services Network-The Single Node Case," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 1, no. 3, pp. 344-357, June. 1993.
- [4] A. K. Parekh, and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach Flow Control in Integrated Services Network-The Multiple Node Case," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 2, no. 4, pp. 137-150, Apr. 1994.