

## 遅延時間制御を行なう通信品質サービスの実現と評価

日下 貴義 菅野 政孝

NTTデータ通信株式会社 技術開発本部

〒135 東京都江東区豊洲 3-3-3 豊洲センタビル

Tel: 03(5546)9571 Fax: 03(5546)9572

Email: kusaka@open.rd.nttdata.co.jp

あらまし:

インターネット上で EC やマルチメディアサービスが提供されるに伴い、IP ネットワークには高い品質が要求されてきている。しかし、現状の TCP/IP ベースのネットワークでは、それらのサービスが要求する品質を十分満たすことができないという問題がある。本研究では、上位サービスから要求される通信品質のうち、ネットワークを経由するパケットの遅延時間の保証を行うサービスに注目した。その実現手段として、ルータのようなひとつの中継ノードを通過するパケットの最大遅延時間の制御方法を既に提案している。本稿では、遅延時間制御に関して、以前に提案した既存のパケットスケジューリングの改良案を実装し評価を行なった。

キーワード: QoS, 通信品質, IP ネットワーク, 遅延時間制御

## an Evaluation of Delay Controlled Communication Service

Takayoshi Kusaka, Masataka Sugano

NTT DATA CORPORATION  
Research and Development Headquarters

Toyosu Center Bldg., 3-3-3, Toyosu, Koto-ku, Tokyo, 135, Japan

Tel: 03(5546)9571 Fax: 03(5546)9572

Email: kusaka@open.rd.nttdata.co.jp

Abstract:

Recently high quality networks are required for the multimedia applications or electronic commerce applications. Meanwhile, the network based on TCP/IP as Internet is not so enough high quality that it can't applied for such applications. In our investigation, we focus the service that guarantees delays through the networks among sorts of network quality of service (QoS) required by applications. We have already suggested a method to control maximum queuing delays within a packet relay equipment such as routers. In this paper, we implemented the method as above, and evaluated it.

Key words: QoS, Communication Quality, IP networks, Delay Control

## 1. はじめに

近年、インターネット利用者は増大し、それに伴いインターネットを企業情報システムやエレクトロニックコマース等のビジネスに利用するケースも増えてきた。

ビジネスにインターネットを適用するためには高性能、高品質、及び高い信頼性といった特性が求められる。しかし、今日のインターネットはTCP/IPをベースとして構築されたベストエフォート型ネットワークであるため、ビジネス利用のための要求に応えられるような通信品質の提供を保証していない。このためインターネットにおいて通信品質 (QoS) を保証するための種々の研究が行われている。

ネットワークにおけるQoSパラメータとしては、遅延やジッタ、帯域、パケットロス率が挙げられ、これらをIPネットワーク上のアプリケーションに対し提供する方法には次のものがある。[6]

- ① 要求する通信品質を伝えるシグナリング機能。
- ② パケットの送出を制御するスケジューリング機能。
- ③ 適切な通信品質を提供できる経路を選択するQoSルーティング機能。
- ④ 適切な通信品質を提供するルールを定めるポリシー機能。

本研究では、上記②についての方式を提案する。

IPネットワークでは、ルータなどの中継ノードにおいて、パケットの遅延時間制御は行わないのは一般的である。このためトラフィックの状況によって、エンド-エンド間のパケット伝達時間は異なり、最大遅延時間も一定とならない。

このため、対話型リアルタイム通信処理を行うようなアプリケーションにとって、パケットに大きな遅延が発生したり、最大遅延時間を低く抑えられないことは、ビジネス上致命的な問題となる。

本研究では、従来の帯域制御を行なうパケットスケジューリング方式を改良することによって、帯域制御を行いなながらも、パケットの単一中継ノード通過における最大遅延時間制御を制御する方法を、既に提案している[6]。そこで本稿では、提案方式を実装し評価を行う。

2章で以前提案したパケットスケジューリング方式の概要を述べ、3章で提案方式の評価方法と結果を示し、4章で考察を行なう。

## 2. 従来のパケットスケジューリングの遅延時間制御に対する問題点と改良方式の提案

### 2.1. 遅延時間制御に対する問題点

帯域制御を行ない、遅延時間に関して優れた特性を持つ代表的なパケットスケジューリング方式にWFQ<sup>ii</sup> (Weighted Fair Queuing) がある。

WFQにおいて遅延時間の制御は、対象とするフローの実行帯域を大きく設定することによって行なっている。短い遅延時間を確保するために、実際に消費される帯域よりも大きな帯域を割り当てることによって、中継ノード内部の通過時間を短くするものである。すなわち、遅延時間を制御するために、過剰な帯域を消費しなければならないという問題点を持つ。

さらに、ひとつの出力インタフェースで扱っているフローの数が大きくなるにつれ、中継ノード内部での遅延時間も同時に大きくなりがちである。特に、フロー数が一定ではなく、常に増減するようなネットワークであれば、パケットキューイングによる遅延時間は不定であるという問題点を持つ。

以上のような問題は、資料[2]から導くことができる[6]。

### 2.2. 改良方式の提案

上の問題点を解決するために「割り込み型パケットスケジューリング方式」(Interrupt Packet Scheduling, 以下IPS) を提案した[6]。これは、フロー毎にキューイング遅延時間を制御することにより、単一中継ノードにおける最大遅延時間の確保を試みるものである。

IPSは、遅延時間制御に関して、従来のパケットスケジューリング方式の問題点を取り除く以下のような特徴を持つ。

- ① 必要以上に大きな割り当て帯域を消費しない。
- ② 他のフローの有無による最大遅延時間の増大がない。

実際は、WFQでも使用しているトークンパケットコントロールにより帯域制御を行なうことを前提とし、出力インタフェースにおける送信キューの制御をプライオリティキューで行なうことにより実現する。このとき、IPSはプライオリティキューの作成手順を定めたものである。IPSでは、前段(受信インタフェース側)のトークンパケットコントロール(ポリシング)によりパーストサイズの上限值

<sup>i</sup> ここでいう遅延時間とは、ひとつのパケットが送信側から出力され始めてから、受信側に入力され終わるまでの時間を表す。

<sup>ii</sup> PGPS (Packet by packet Generalized Processor Sharing) とも呼ばれ、トラフィックのアイソレーションに有効な規則をさだめている[4]。

を既知にすることができるので、そのバーストサイズを後段（送信インタフェース側）の各プライオリティのキューサイズに置き換え、フローが要求する最大遅延時間によって、送信キューのプライオリティを決める。詳細な説明は資料[6]による。

## 3. 割り込み型パケットスケジューリング方式(IPS)の評価

### 3.1. IPSの実現方法

複数のネットワークインタフェースカード(NIC)とBSD系UNIXをOSに持つPC<sup>iii</sup>に、パケットスケジューリングモジュールとしてCBQ(Class Based Queuing) [5]を実装し、それにIPSの処理を付け加えることによってIPルータ(中継ノード)として実現した。CBQはWFQと同様、パケットのスケジューリング情報としてタイムスタンプを利用し、帯域制御を行なうことができる。IPSの処理は、帯域制御とプライオリティ制御を行なうことのできるCBQに適応することによって実現できる。

最大遅延時間制御の実現方法は、CBQの一部パラメータ設定方法をIPSにより規則性を持たせている。すなわち、フローが必要とする遅延時間に応じて、各フローに割り当てる最大キューサイズとプライオリティを、IPSによって計算で求めている。

### 3.2. IPSの効果

中継ノード内部でキューイング遅延が発生するのは、ひとつの出力側インタフェースへ向かって、物理的送信速度以上の入力が発生したときである。例えば、すべて同じ速度のインタフェースを持つ中継ノードであれば、複数のインタフェースから一つのインタフェースに向かってフローが存在するときキューイング遅延が発生する。特に輻輳に近い状態では顕著である。また、入力インタフェースの物理的受信速度が出力インタフェースの物理的送信速度よりも大きい場合、特に発生しやすい。IPSでは、キューイング遅延を制御するものであり、上記のような場合に効果を発揮する。

### 3.3. IPSの効果の測定

IPSを中継ノードに組み込み、実トラフィックによる遅延時間を測定することにより、実際の効果の評価を行なっ

た。評価環境は図1にある通りの構成である。

中継ノードは、入力インタフェースに100Mbpsイーサネットカード、出力インタフェースに10Mbpsイーサネットカードを使用し、入力時のバースト性を強くさせている。

(表1参照) 帯域の使用効率を高めつつ、中継ノードのフォワーディングパワーの負荷を抑える目的で、すべてのパケットサイズをイーサネットで認められている最大値(1500+18Byte)に設定した。

入力インタフェースでポリシングを行なうべきであるが、中継ノードに実装させたCBQにはポリシングの機能がない。しかし、入力インタフェース直前の送信側(トラフィックジェネレータ)で各フローはシェーピングを行なうことにより、ポリシングと同様の効果があるとみなせる。各インタフェースのシェーピングは表2にあるトラフィック特性を持たせている。シェーピングにより、全てのフローを合計しても、平均送信速度の合計は出力インタフェースの送信速度10Mbpsになるようにしている。しかし、実際には数十Kbpsのレベルでわずかに上回っている(利用率平均合計約100.37%)。上回っている分はパケットロス形で測定される。IPSの効果は輻輳に近い状態でもあらわれるため、平均利用率はわずかに上回る状態に保った。

キューイング遅延を引き起こすフローには、強いバースト性を持たせる必要がある。つまり、できるだけ長いバースト性を持ったフローを発生させるとキューイング遅延は発生しやすい。しかし、実際には使用したNICの持つバッファサイズが許容できるバースト長を決めることになる。今回使用したNICは、3KByteの入力用バッファと5KByteの出力用バッファを持っている。したがって、1518Byteのパケットの場合、最大で入力側には1パケット、出力側には3パケット、合計4パケットを保持することができる。最大4パケットのバーストでは決して強いバーストとは考えられないので、実際の測定では単独のフローしか存在しないときならパケット落ちが発生しない程度にフレームギャップを持たせ、表2のようなバースト長を持たせている。フレームギャップを持たせても、入力インタフェースの送信速度と出力インタフェースの送信速度の差を考慮すれば、十分バースト性が強いと判断した。

遅延時間の測定は、二つのインタフェースを持つPC(図1)でパケットをキャプチャし、タイムスタンプを取ることによって測定した。タイムスタンプの精度は誤差0.2ms以下<sup>iv</sup>である。

<sup>iii</sup> PCはPentium II 300Mhz/Memory64Mbyte,NICはPCI-Bus, OSはFreeBSD2.2.2, CBQはALT-Q 0.4.1を使用した。

<sup>iv</sup> サンプル数10000パケットで、平均誤差0.17ms, 偏差4.4e-3ms。

### 3.4 IPSの評価結果

表2にある条件で各フローを制御し、評価測定用フローに対し表3のとおりにIPSによる制御を行った。制御対象フローの最大遅延時間は計算上表3のとおりに期待できる。IPSによれば、トークンバケットコントロールによりフローの最大バースト長が決まっているので、要求最大遅延時間をフローの優先順位に置き換えることができる。たとえば、測定番号2のように、要求最大遅延時間が20msである場合、このフローのバケットは送信キューにおいて先頭から約24KByte(=1518Byte×16)までの範囲に収まらなければならない。そのフローのバーストサイズが1518Byte×8であるので、送信キュー中で、このフローより前に存在できるフローのバーストサイズは合計で1518Byte×8以下になる。測定番号2では、1518Byte×8のバーストサイズを持つフローが、送信キュー中の遅延時間要求フローに対応するキューの前になるように、より高いプライオリティを持たせる。こうすることによって、遅延時間を要求しているフローは、より高いプライオリティのフローに迅速なバケットの送出を妨害されつつも、最大遅延時間は要求を満たすことができると期待できる。

最大遅延時間の要求がそれぞれ10ms, 20ms, 40msの三つのフローについて、各バケットの中継ノードを通過する遅延時間を測定した結果がグラフ1である。それぞれのフローについて10000バケットずつ測定し、要求最大遅延時間を満たしているバケットの割合を表3に示す。グラフや表からも分かるように、要求最大遅延時間が10msのときは84.1%, 20msのときは94.4%, 40msのときは98.6%のバケットが要求最大遅延を満たしている。

## 4. 考察

### 4.1. 効果のある場合

表3やグラフ1に示されるように、帯域制御のみを行なった場合、遅延時間は広く分布している。一方で遅延時間制御を行なったものは、最大遅延時間の要求値以下に多く分布している。IPSの制御がない場合とある場合では明らかに差があり、効果が認められた。要求値以下にはならなかったバケットも存在するが、多くのバケットは要求値を大きく上回ることはなかった。要求値を満たせなかったのは、中継ノードに使ったPCルータやCBQモジュールの性能によるところが大きいと考える。

IPSの効果は3.3章で説明したとおり、ネットワークが混雑してくると顕著になる。そのため、帯域に余裕がある状態では余裕分が遅延時間を縮小させる効果があり、IPSの

有無で遅延時間に大きな差は確認できないと考えられる。

### 4.2. 帯域とパケットロスについて

測定対象になっているフローについて、帯域の経時変化がグラフ2である。遅延時間制御を行なわず帯域制御のみを行なっているフローはほぼ一定の帯域が保たれており、かつ遅延時間制御中のフローも指定の帯域は保たれている(IPデータグラムのみを対象に約1.7Mbps付近)。グラフ1とグラフ2より、同じ帯域が保持されても、遅延時間は異なることが分かる。また、一方でこれは帯域の確保が必ずしも遅延時間の確保にはならないことを意味している。

また、パケットロスは表3にあるようにどの測定でも8%~10%である。これは、遅延時間制御の有無に関わらずほぼ同じとみなせるので、単純にPCルータの処理性能が影響しているものと考えられる。

## 5. まとめ

本稿で評価した遅延時間制御方法は、輻輳しやすい場所において効果があることが確認できた。今回の評価環境のように、複数のインタフェースを持ち、入力インタフェース速度が出力インタフェース速度を上回るとき等、特に効果がある。したがって、高速のLANと低速のWANに接続するルータ等において適応する場合、帯域と遅延時間の確保として効果があるものと考えられる。

ネットワークを設計する場合、帯域に多くの余裕を持って設計を行なうことが遅延時間を短くするうえで重要であるが、混雑することが十分予想できる中継ノードでトラフィック制御を行なう場合、遅延時間の制御に関してIPSは有効である。

### 【参考文献】

- [1] 日下,木幡,松田,菅野,"IPネットワークにおける通信品質の検証",情処研報 Vol97 No35.
- [2] S.Shenker,"RFC2212 Specification of Guaranteed Quality of Service",IETF,Sep.1997.
- [3] C.Partridge,"Gigabit Network",Aug.1993.
- [4] A.K.J.Parekh,"A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks",LIDS-TH-2089, MIT Laboratory for Information and Decision Systems, 1992.
- [5] S.Floyd,"Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks",IEEE/ACM Transactions on Networking,Aug.1995.
- [6] 日下,菅野,"IPネットワークにおける通信品質サービス実現の提案",情処研報,Vol98,No15.

図1 評価環境 (装置構成概略)

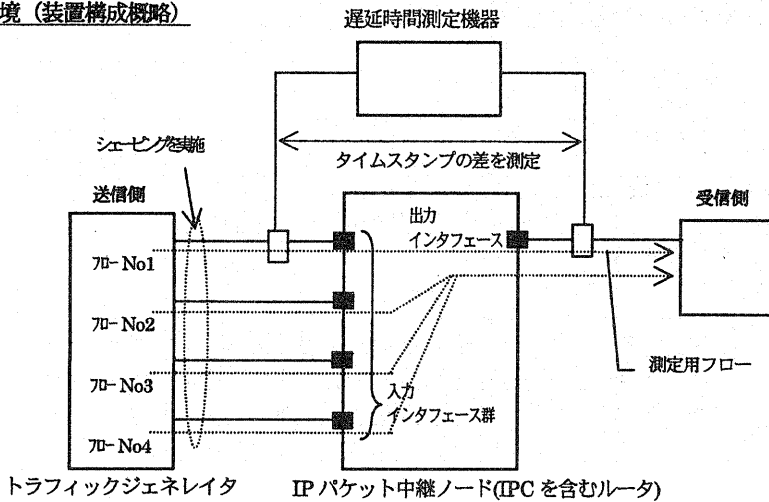


表1 インタフェーススペック

インタフェース種別	インタフェース種類	物理的送信速度	入力バッファサイズ	出力バッファサイズ
入力インタフェース	100Base-T	100Mbps	3KByte	5KByte
出力インタフェース	10Base-T	10Mbps	3KByte	5KByte

表2 送信トラフィック特性

7b-No.	バースト長 (パケット数)	バーストギャップ	フレームギャップ	平均帯域 (IP データグラムのみを送信対象とした場合)
1	12144Byte (8)	48ms	180 $\mu$ s	約 2Mbps (約 1.91Mbps)
2	12144Byte (8)	30ms	200 $\mu$ s	約 3Mbps (約 3.10Mbps)
3	24288Byte (16)	96ms	300 $\mu$ s	約 2Mbps (約 1.96Mbps)
4	18576Byte (32)	92ms	1110 $\mu$ s	約 3Mbps (約 2.95Mbps)

グラフ2 表3における各フロー(測定番号)の帯域の変化

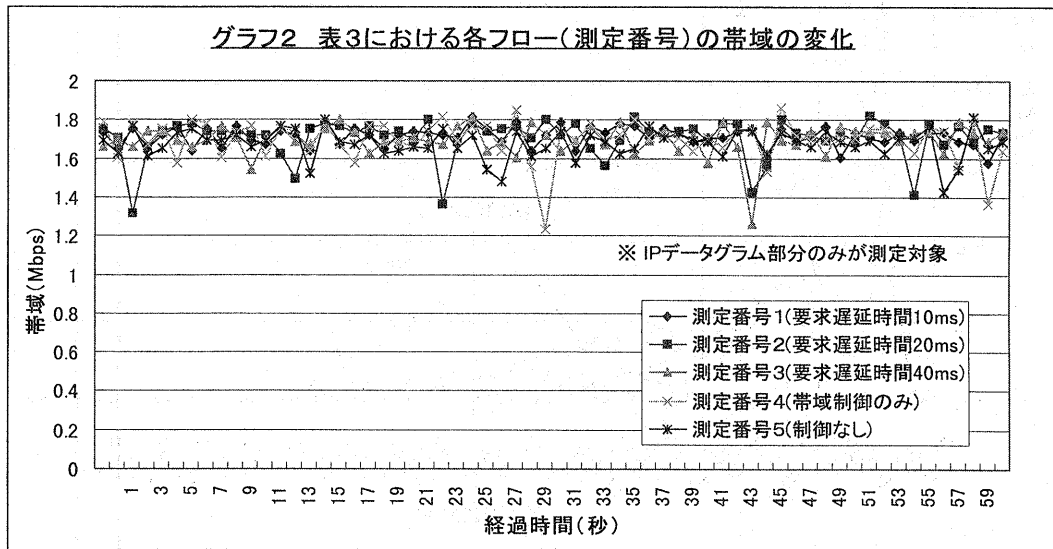


表3 IPS 処理対象と要求最大遅延時間を満たすパケットの割合

測定番号	1	2	3	4	5	
遅延時間要求フローNo. (測定対象/ IPS 処理対象/ 送信トラフィック特性表に対応)	1	1	1	なし	なし	
IPS 制御 (遅延時間制御) の有無	あり	あり	あり	なし (CBQ による帯域制御のみあり)	なし (FIFO による制御のみ)	
要求遅延時間 (対象フローに実際に期待できる遅延時間)	約 10ms (9.7ms)	約 20ms (19.4ms)	約 40ms (38.8ms)	—	—	
遅延時間要求フローより小さい遅延時間を持つフローNo. (測定対象フローより優先順位が高いフロー)	なし	2	2, 3	—	—	
パケットの遅延時間が右記以下のパケットの割合 (%)	10ms (9.7ms)	84.1 (75.6)	61.5 (54.9)	52.0 (47.2)	38.5 (35.5)	8.7 (7.3)
	20ms (19.4ms)	94.1 (93.6)	94.4 (93.9)	81.1 (79.6)	64.5 (62.7)	30.3 (30.0)
	40ms (38.8ms)	100 (100)	99.7 (99.7)	98.6 (98.4)	90.2 (89.5)	65.2 (64.0)
パケットロス率 (%)	8.1	8.3	8.9	9.9	8.8	

