

## IP ネットワークにおける通信品質の検証

日下 貴義 木幡 康弘 松田 栄之 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 豊洲セントビル 15F

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

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

あらまし:

近年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、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、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満たすことができないという問題がある。本稿では、上位のサービスから要求された品質を満たすことができるような機能を持ったネットワークの実現を検討し、データ転送型のサービスに対して、シグナリングに RSVP(Resource Reservation Protocol)を、パケットスケジューリングに WFQ(Waited Fair Queuing)を採用した環境下で実測により効果を検証した。また、採用した環境において、ある条件によって発生する問題点を明らかにした。

キーワード: RSVP, 帯域確保, QoS, 通信品質

## Study of Communication Quality on IP Based Network

Takayoshi Kusaka Yasuhiro Kohata Shigeyuki Matsuda 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. The network based on TCP/IP like Internet is not so high quality that it can't applied for such applications. In this paper, we describe the study for realizing the network which can satisfy the quality requested by the applications. And also we describe the evaluations and problems of this network in which RSVP(Resource reservation protocol) as signaling and WFQ(Waited Fair Queuing) as packet scheduling are applied.

Key words: RSVP, Resource Reservation, QoS, Communication Quality

# 1. はじめに

インターネットの普及に伴い、ECやマルチメディアサービスなど、ネットワークに高い品質を要求するサービスが通信のインフラとしてインターネットを選択するようになってきている。しかし、現状では、今日のインターネットはTCP/IP ベースで構築されており、ベストエフォート型のネットワークであるために、それらのサービスが要求する品質を十分に提供できていない。

インターネットの発展のためには、ネットワークに高い品質を要求するようなサービスを含めたビジネストラフィックを流すに耐えうる品質のネットワークの提供が重要である。このような高品質のネットワーク実現のためには、ネットワークが提供することのできる品質を定義し、要求する品質によって上位のサービスを分類した上で、①上位のサービスがネットワークに対して品質を要求する機能、②要求された通信品質を満たすために、ネットワークを構成する中継器に必要なパケットスケジューリング機能、③適切な通信メディアを選択してトラフィックを流すメディア選択や QoS ルーティングの機能、④品質の提供を適切に行うためのネットワーク内、ネットワーク間での提供品質の調整機能が必要である。

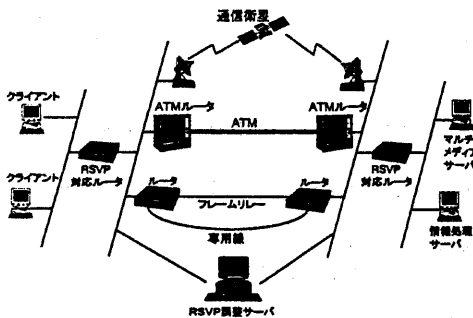


図1 高品質ネットワーク

本研究では、上記の機能を持つ高品質なネットワークを構築するための手法を提示し、有効性を実証することを目的としている。これにより、図1のような、インターネット上で提供されることが期待されている種々のサービスが、ネットワークに対して要求品質を指定し、その要求された品質を満たすことができるような機能を持ったネットワークを実現することが可能となる。

本稿では、2章において上記目的のために検討すべき項目と本研究のアプローチを示し、3章以降で、実環境において測定した結果から、データ転送型のサービスに対す

る効果の検証と問題の報告を行う。

## 2. 高品質ネットワーク実現のための検討項目

### 2.1. 品質の定義

上位のサービスがネットワークに対して何らかの品質を要求する場合、ネットワークに要求する品質をパラメータによって指定する。これらのパラメータは IETF(Internet Engineering Task Force)等で検討されているが、本研究ではそのパラメータをネットワークの伝送品質と信頼性という観点から捉え、遅延、単位時間に転送できるデータ量(帯域)、データロス率それぞれの平均と分散と定義する。

### 2.2 サービスタイプの分類と定義

上位のサービスはネットワークに対して前節で定義した品質を示す各パラメータを指定することで品質の要求を示すことができる。サービスに適切な品質を提供するためには、品質要求の際にサービスが使用するパラメータの種類によってサービスのタイプを定義し、具体的なサービスが各パラメータにどのような値を選択するかを抽出することが必要である。

本研究では、サービスタイプを以下の4つに分類した

#### a) 放送型一方性リアルタイム通信

遅延の分散(以下ジッタ記す)を特に小さくする必要があるサービスで、使用帯域や最大遅延は個々のサービス毎に異なる。ビデオ・オン・デマンドや放送などのサービスがこの類に属する。

#### b) 電話型双方性インタラクティブリアルタイム通信

遅延とその分散を特に小さくする必要があるサービスで、使用帯域は個々のサービス毎に異なる。電話やビデオカンファレンスなどのサービスがこの類に属する。

#### c) トランザクション型一定時間内での確実な送受信を行う通信

データロス率と最大遅延を指定するサービスで、使用帯域は個々のサービス毎に異なる。トランザクションやクエリーなどがこの類に属する。

#### d) データ転送型バースト通信

データロス率と使用帯域を指定するサービスで、最大遅延は個々のサービス毎に異なる。従来のファイル転送などのサービスがこの類に属する。

### 2.3. 品質の要求機能(シグナリング機能)

上位のサービスがネットワークに対して何らかの品質

を要求する際、指定されたパラメータに従ってネットワークを構成する機器のセットアップをするシグナリング機能が必要である。IETF では RSVP や ST2 (Internet Stream Protocol Version 2) 等のプロトコルが標準として策定されている。

本研究ではシグナリングのプロトコルを限定しないが、本稿で報告する検証環境では、クライアント主導型であること、ルータ等への実装が先行していることなどから、今後市場で標準となることが期待できる RSVP を採用することとした。

## 2.4 スケジューリング機能

要求された品質を満たすためには、ネットワークを構成している機器で上位サービスが要求した数値に従い、パケットの送出を制御する機能が必要である。ATM スイッチでは5種類のトラフィッククラスが設けられ、ルータではキューイングシステムを採用している場合が多い。現在のインターネットでは、ルータを中心としてネットワークが構成されているため、最低限ルータにパケットスケジューリング機能が必要となる。例えば、WFQ や CBQ(Class Based Queuing)などが提案され、動作している。これら、通信メディアが有する優先制御や IP レベルでのパケットの優先制御と上位サービスからの要求との対応づけを考慮した優先制御方式の提案が必要である。

## 2.5 通信メディア選択機能

インターネットでは通信メディアに高速デジタル回線や、フレームリレーサービス、衛星回線、パケット交換網、ISDN 等のダイヤルアップ回線などが現実に利用されている。通信メディアはそれぞれに特質を持っており、遅延が200ms 程度ある衛星回線や帯域確保の機能を有するフレームリレーサービスや5種類のトラフィッククラスがある ATM 網などがある。メディアの特性を生かすために上位のサービスが要求する品質をネットワークに伝える RSVP などのプロトコルの機能と通信メディアが持つ特性を利用する機能の対応付けを行い、要求された品質を満たすのに適した通信メディアを選択する方式の提案が必要である。

## 2.6 提供品質の調整機能

要求された品質を満たす機能が提供されたとしても、ネットワークのリソースは有限であるため、一部のサービスがリソースを独占してしまい、他のサービスの要求が全く満たされない状態やリソースを分けあうことで、現状のベストエフォートと変わらない状態になる事が予想できる。

限られたネットワークのリソースを有効かつ適正に提供するためには、どのようなサービスにどのような品質を提供するかのポリシーを反映する機能が必要である。また、提供品質の調整機能としては品質要求の抑制ばかりではなく、品質要求の機能を持たないサービスの代わりに品質要求を代行する機能も必要である。さらに、品質提供の要求が正当であるかを判断するために、要求の認証機能が必要となる。

本研究では、イントラネット、インターネットサービスプロバイダ (以下 ISP と略す)、ISP 間での提供品質の調整を視野に入れ、ネットワークの持つ品質調整のポリシーを保持し、サービスからの要求に対して認証や品質提供の判断を統括するコントロールセンタと、実際に品質を確保するルータ等のネットワーク機器で実現することを提案する。大規模システムでは、ネットワーク構成機器とコントロールセンタ間、コントロールセンタ同士での相互認証の機能も考慮した調整機能の検討と検証を行う。

## 3. データ転送型バースト通信サービスに RSVP を使用したときの効果の検証

現在のインターネット中の多くのトラフィックは、ファイル転送で代表されるようなデータ転送型バースト通信である。上記サービスを提供できる方式としてシグナリング方式の RSVP とパケットスケジューリング方式の WFQ と平均帯域を指定する Controlled Load 型パラメータの組み合わせを採用した環境で実測による効果の検証を行った。

### 3.1 通信品質を提供する要素

ここでの検証は、通信品質の提供を行う対象を、圧縮方式やコーディング方式、メディアの選択機能や提供品質の調整機能を除き、ネットワークの部分に限定する。このネットワーク部分において、通信品質を提供するための要素には、以下の4つの機能が考えられる。

#### a) シグナリング機能

前述

#### b) サービスを規定するパラメータ

サービスを特徴付ける特性を示すパラメータ、通信品質を表現する数値、ネットワークへの具体的な要求値を表す。Controlled Load 型のパラメータは、データ転送型バースト通信サービスに対応し平均帯域が指定できる。

#### c) スケジューリング機能

前述

#### d) ルーティング機能

要求された通信品質を実現するための最適経路選択や、通信品質を維持するための障害経路回避など、経路制御方法を表す。(前述のメディア選択機能や提供品質の調整機能に関する)

ルーティング機能は対象通信サービスの効果が検証されてから有用になってくるものであり、また利用できるルーティング機能が現在は存在しないため使用しなかった。

### 3.1. 検証環境と検証方法

検証環境は、RSVP を実装した2端末間に RSVP と WFQ を実装した IP ルータ 3 台を、最大速度 448Kbps のシリアル回線にて接続することにより実環境を構築した(図2)。

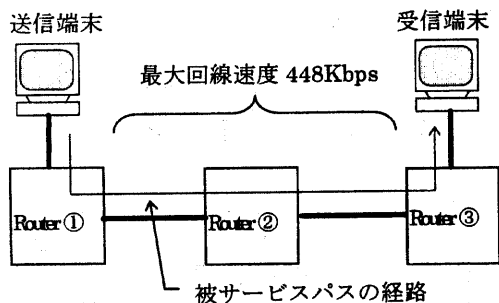


図2 検証環境

検証方法は、2端末間で対向通信を行い、データ転送型バースト通信サービスの対象となる通信パス(被サービスパスと呼ぶ)に対し帯域予約(RSVP を使って Controlled Load 型の実行を WFQ に指定した)を行った。帯域予約には、平均帯域として 320Kbps (最大回線速度の約 70%) を設定した。被サービスパスの伝送速度を主な測定項目とし、測定中の全てのパスはデータ転送型バースト通信サービスに分類される TCP プロトコルを使用している。どの測定にも被サービスパスに対する十分な負荷が存在するが、負荷の条件は各実験によって異なる。

実験の内容は以下の通りである。

#### ◆実験1:

2つのパスで通信を開始し、途中から RSVP で帯域予約を行ったときの伝送速度遷移を測定した。これにより、サービスが有効なる様子を観察する。負荷用通信パスは、被サービスパスのデータが流れる方向と同経路に設定した。

#### ◆実験2:

同一条件下で、RSVP で帯域予約が行われているときと行われていないときの伝送速度遷移を測定した。これにより、帯域予約によるサービスが有効であることを確認する。負荷用パスは実験1と同様である。

#### ◆実験3:

被サービスパスのデータが流れる方向と同一経路に RSVP で帯域予約を行ったときの伝送速度遷移を測定した。さらに、この同一経路の帯域予約に加え ACK 用に逆経路にも帯域予約もしくは低遅延時間確保(帯域を必要とせず低遅延のみを実現し、WFQ は使用しない)を行った場合の、伝送速度遷移とシークエンス番号遷移、ACK 毎の RTT (Round Trip Time) 遷移を測定した。また、負荷用パスは実験1と同様なものに加え、被サービスパスの逆経路にも与えた。これにより、ACK 用に通信品質制御を行ったとき、TCP のパフォーマンスへの影響を確認する。

### 3.2. 検証結果

各機能が正常動作できる実環境下において、実験1~3における被サービスパスのトラフィックを測定した結果が図3-1~3-5である。

#### ◆実験1(図3-1)について:

図3-1は被サービスパスと負荷用パスの単位時間あたりの伝送速度遷移を示している。この結果から、RSVP で帯域予約を実行した後は、ヘッダなどのオーバーヘッドを考慮すると、平均の帯域(受信端末で平均約 297.6Kbps を測定)が Controlled Load 型の指定(320Kbps)に近いものとなっており、ほぼサービスを実現していると考えられる。

#### ◆実験2(図3-2)について:

図3-2は帯域予約を行った場合と、行わなかった場合の伝送速度遷移を示している。この結果から、帯域予約を行った場合はほぼ期待通りのサービスが実現できており、予約を行わなかったときに比べると効果があることが示されている。

#### ◆実験3(図3-3, 図3-4, 図3-5)について:

図3-3は被サービスパスの単位時間あたり伝送速度遷移を示している。

データの流れる方向のみに帯域予約を行った場合では、伝送速度が対称端で落ち込むときに顕著に存在し、平均帯域が予約よりかなり低い(図3-3: ACK 用にキュー制御なし)。これは、RSVP でデータの流れる方向だけに帯域確保を行った場合、ACK の遅延時間を含む RTT にパフォーマンスが影響される TCP では、指定した平均速度(320Kbps)が期待できないことを示している。そこで、逆方向にも帯域予約を行ったが、結果の改善は特に見られず、伝送速度が落ち込む場合が存在し、結果的に平均帯域

が予約よりかなり低くなっている(図3-3:ACK用にWFQ制御あり)。それに比べて、逆方向に低遅延時間確保を行った場合は安定した伝送速度遷移がみられ、平均伝送速度も実験1とほぼ同程度になっている(ACK用に低遅延キュー制御あり)。

図3-4は、いづれもデータの流れる方向とは逆経路へACK用にキュー制御がある場合のシーケンスナンバーの遷移を示している。この図からACK用に帯域予約をした場合は頻りにRTTのタイムアウトを起こし再送を繰り返しているのに対し、ACK用に低遅延時間確保をしている場合はRTTのタイムアウトが発生することなく順調に通信が行われていることが分かる。また、図3-5はACKのRTT遷移の測定から、RTTの差分を求め、差分が増加した数を増加時間毎の区間で計算したものである。この図から、ACK用に低遅延時間確保した場合に比べ帯域予約をした場合は、大きくRTTが増加することがあると分かる。

以上から、ACK用に帯域予約のキュー制御を行っても効果が無いのは、RTTの増加割合が極端に大きくなる時があるためであるといえる。すなわち、RTTの急増により再送時間のタイムアウトを引き起こしているものと考えられる。これはWFQが、平均帯域の実現まできても、安定した遅延時間の確保ができないため、RTTの急激な増加に敏感なTCPでは十分なパフォーマンスを期待できないことを示している。しかし、ACK用に低遅延時間キューを用意すると、RTTの急激な増加を防ぐため、十分なパフォーマンスが得られることも示された。

他に、異常系の検証として、一部のルータの帯域予約機能を停止して負荷をかけた時、物理的に不可能な帯域予約を行った場合などの実測も行ったが、正常動作が期待できない状態では、データ転送型パースト通信サービスは実現できないことが分かっている。

### 3.3. 結論

検証結果からわかるように、負荷が一方向にかかっている場合、帯域予約を行うことで、予約した値に近い伝送性能を得ることができることを実証した。しかし、負荷が双方向にかかるような条件下で、逆方向にACKが必要なTCPを用いたデータ転送では、ACKの遅延時間が爆発するRTTの急激な増加によって、データ伝送の性能を劣化させることが分かった。これは、一方向の帯域予約しか行わないRSVPの方式ではACKを必要とするTCPを用いたデータ転送型パースト通信に十分に対応できないことを示している。また、TCPのパフォーマンスを良くするには、ACK用に帯域確保するだけでは効果がなく、遅延を小さくすることが有効であることも実証できた。

## 4. まとめ

本稿では、現在のベストエフォート型IPネットワークにおいても、アプリケーションによって要求される品質が異なるとの認識から、要求品質に応じて制御可能なネットワークの必要性と実現に必要な機能を提案した。そこでは、サービスタイプの定義を行い、各サービスを共通のパラメータで表すことを試みた。次に、定義したサービスタイプのうちデータ転送型パースト通信サービスに対して、RSVPとWFQが有効であることを実証し、問題もあることを示した。

今後は、他の通信サービスタイプの実現方法を検証し、総合的な通信サービスを動的に提供する方式の提案を行う予定である。

### [参考文献]

- [1] C.Partridge, "Gigabit Network", Aug.1993.
- [2] R.Braden, et al, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification", Internet Draft, Nov. 1996.
- [3] Shai Herzog, "Policy Control for RSVP: Architectural Overview", Internet Draft, Nov. 1996.
- [4] Fred Baker, "RSVP Cryptographic Authentication", Internet Draft, Jun. 1996.
- [5] J.Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", Internet Draft.
- [6] J.Wroclawski, "The Use of RSVP with IETF Integrated Services", Internet Draft.

図3-1

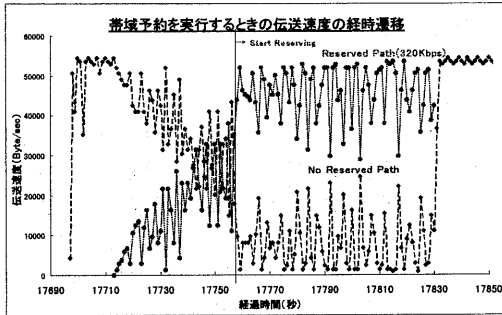


図3-4

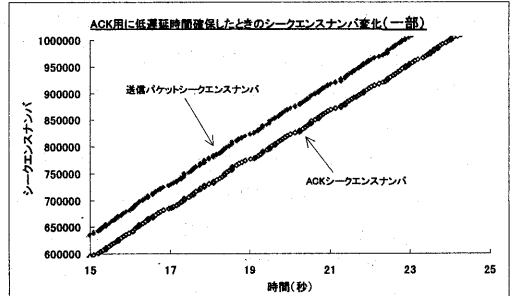


図3-2

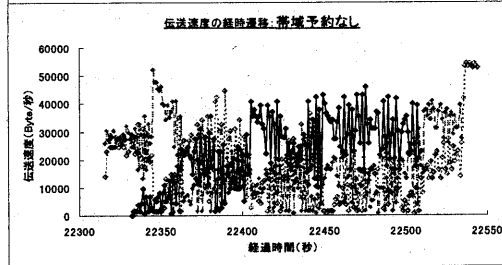
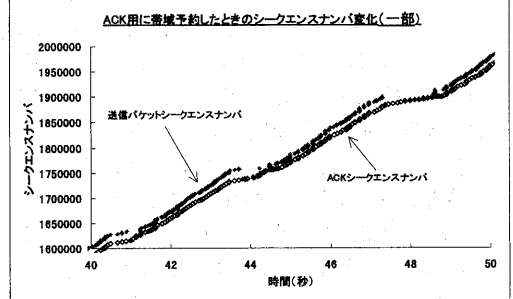
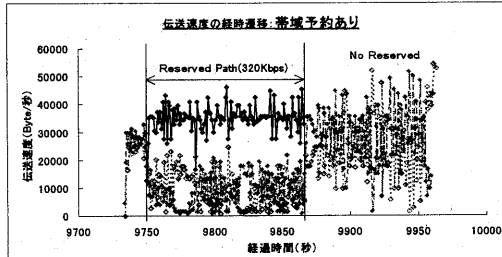


図3-5

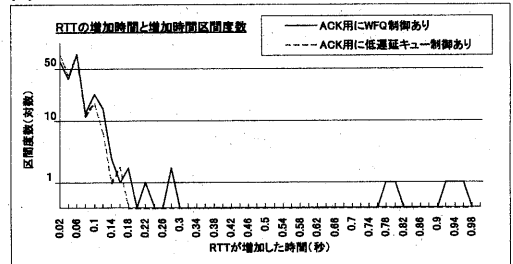


図3-3

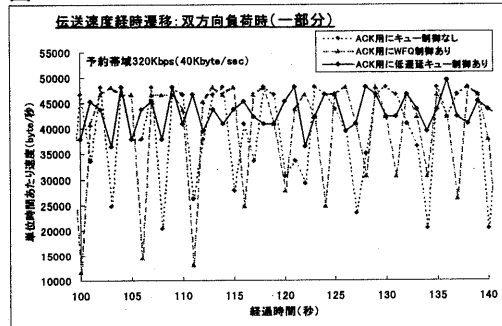


図3-3補足: 測定した平均帯域

ACK用のキュー制御方法	受信端末で測定した平均帯域
ACK用にキュー制御なし	266.2Kbps
ACK用にWFO制御あり	271.7Kbps
ACK用に伝送遅延キュー制御あり	289.4Kbps