

## 次世代インターネットにおけるQoS管理フレームワークの提案

加藤 由花 箱崎 勝也

電気通信大学 大学院情報システム学研究所

### 概要

本稿では、超大規模ネットワークであるインターネットへの適用を目指した、次世代インターネットにおけるQoS(Quality of Service)管理フレームワークの提案を行う。本フレームワークでは、インターネットの構成要素を、サービスを提供するサーバ、同一のQoS管理ポリシーに従って運用されるローカルネットワーク、グローバルインターネットの3種類に分類し、それぞれの構成要素に対してQoS制御機能を定義する。これはネットワークの高機能化を行わない単純なネットワークの構築を目指すためであり、フィードバック型の簡易な制御、集中管理を必要としない自律分散制御により、インターネット上でのQoS制御を実現する。

## A Proposal of QoS Management Framework for the Next-Generation Internet

Yuka Kato and Katsuya Hakozaki

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

### Abstract

This paper proposes QoS (Quality of Service) management framework for the next generation Internet, whose target is to apply it to the Internet that is an extraordinarily large network. This framework consists of three modules of the Internet, these are servers, local networks which are managed according to unique QoS management policy and the global Internet. At that time, the framework defines a QoS control function of each module. This is because simple networks without complicated functions are required. Therefore, the framework does QoS controls in the Internet by using feedback type simple control methods and autonomous distributed control methods without centralized management.

### 1. はじめに

近年、アクセスネットワークのブロードバンド化に伴い、インターネット上に提供されるサービスは急激にマルチメディア化してきている。それに伴い、音声、映像をはじめ、あらゆるメディアをインターネット上でサポートしたいという要求が高まり、IP (Internet

Protocol) 技術は実質的に通信インフラとしての役割を果たすようになってきた。次世代インターネットの目指すべき方向は、この通信インフラとしてのインターネットという形態であり、様々なインターネット技術を取り込み、インターネットが安全で使い易いネットワークへと発展することが期待されている。特に、インターネット上で様々な種類のアプリケーションサー

ビスを提供するために、それぞれのアプリケーションが要求するサービスの品質 (Quality of Service: QoS) を満足する制御手法を確立することは重要な研究課題となっており、これまでも様々な QoS 制御手法が提案されてきた。

まず IETF では、IntServ (Integrated Service) [1] や DiffServ (Differentiated Services) [2], MPLS (Multi Protocol Label Switching) [3] など、ネットワークレベルで QoS 制御を実現するための技術が標準化され、ネットワーク機器の多くがこれらの QoS 制御機能を備えるようになってきた。また、これらの制御機構を利用し、実際に QoS 制御を実現するための枠組み (受け付け制御や各ルータへの資源割り当てなど) として、ポリシーベースネットワーク管理に関する研究 [4][5] や、Bandwidth Broker [6] の提案などが行われてきた。しかしこれらの研究は、異なるポリシー間の連携を取る形態を想定しているとはいえ、基本的に同一の運用ポリシーに基づくネットワークの管理を前提としており、管理スコープ外のサービスに対しては何ら QoS 保証を行わない。当然、超大規模ネットワークであるインターネット全体を同一のポリシーに基づいて運用することは不可能であり、インターネット上の多くの通信はベストエフォート通信を利用することになる。

もちろん、e-Commerce や企業における基幹システムなど、確実に品質を保証する必要があるサービスに対しては、管理対象を明確にし、ポリシーサーバ等を利用した QoS 制御を行う必要がある。しかし、通信インフラとしての次世代インターネットにおいては、多くのリアルタイムマルチメディアサービスがインターネット上に提供されると予想され、管理対象外のベストエフォート通信に対しても、サービス品質をできる限り維持していく必要がある。特に、他のサービスの品質への影響が大きい、広帯域 UDP トラフィック (映像配信サービスなど) をネットワーク上で適切に制御し、サービスを提供する各端末がシステム環境に適応した QoS 制御機能を持つことが望まれる。

このような背景から本稿では、通信インフラとしての次世代インターネットを対象に、QoS 管理を実現するためのフレームワークを提案する。本フレームワ

ークでは、グローバルインターネット上でベストエフォート通信の QoS をできるだけ維持することを目指し、ネットワークの高機能化を行わない単純なネットワークを構築する。そのため、複雑なモデル化を伴わないフィードバック型の簡易な制御、集中管理を必要としない自律分散型制御を採用し、インターネット上での QoS 制御を実現する。

## 2. 次世代インターネットにおける QoS 制御

### 2.1 次世代インターネットとは？

まず、本稿で対象とする「次世代インターネット」という言葉の定義を行う。この言葉は状況によって様々な使われ方をする。例えば、IPv6 は次世代インターネットプロトコルと呼ばれ、JGN (Japan Gigabit Network) [7] は次世代インターネットのための実験ネットワークと位置付けられている。一方、文化、社会的な側面まで含め、人間の生活を変革する技術としてこの言葉が使われる場合もある。本稿ではこれらの定義とは異なり、情報通信インフラとしての社会基盤となり得るネットワークとして、この言葉を定義する。つまり、学術研究基盤から企業活動基盤へと発展してきたインターネットが、様々な要素技術 (QoS 技術、マルチメディア技術、IPv6 など) の急速な発展に伴って、利用者や利用形態を大きく拡大させた結果行き着く、社会基盤としてのネットワークと定義する。

ここで問題となるのは、インターネットが超大規模ネットワークであり、ネットワーク全体を把握し管理することがもはや不可能であるという点にある。日々新たな端末がネットワークに接続され、新たなサービスが提供される。利用形態の急激な変化、予期せぬ利用形態の出現なども考えられる。次世代インターネットには、このような環境下で、適切に QoS を制御する技術の確立が求められている。

### 2.2 QoS 制御への要求条件

これらの背景から、次世代インターネットにおける QoS 制御に対する要求条件を、以下の 3 点にまとめる。一つめはネットワークにおける QoS 制御を必要最小限にすること、二つめは自律分散制御の徹底、そして三つめは制御の主導権を端末やユーザに持

たせ、ユーザ満足度を高める制御を行うことである。  
ネットワークにおける QoS 制御を最小限にする:

グローバルインターネットでは、同一の管理ポリシーに従って QoS 制御を行うことはできない。そのため、必要最小限の共通制御によって、ベストエフォートサービスの品質維持を目指す。スケーラビリティを考慮すると、DiffServ ベースの制御が望ましい。  
自律分散制御の徹底:

グローバルインターネットでは、ネットワーク全体を監視し、その結果から制御内容を決定することはできない。そのため、サーバはネットワークをブラックボックスとして扱い、外側から観測できる情報だけを用いて自律的に QoS 制御を実施する必要がある。

制御の主導権を端末やユーザに持たせる:

ネットワークにおける QoS 制御を必要最小限とするため、制御機能は可能な限りサーバに持たせる必要がある。このときサーバは、各ユーザに提供するサービス品質を管理可能であるため、ネットワークレベルの QoS (パケット損失率など) の向上を目指した制御ではなく、ユーザレベルの QoS (映像品質など) の向上を目指した制御を行うべきである。以降、このユーザレベルの QoS をユーザ QoS と呼ぶ。

### 3. フレームワークの提案

#### 3.1 システム構成

2 章で述べた QoS 制御への要求条件から、図 1 に示す管理フレームワークを設計した。本フレームワークは以下の 3 種類の構成要素から成る。

サービスを提供するサーバ:

インターネット経由で各クライアントにサービスを提供する。サーバプログラムに組み込まれた QoS 制御機能を持ち、ネットワーク状態の推定結果やクライアントからのフィードバック情報を利用して、自律的に QoS 制御を実施する。

グローバルインターネット:

エンドツーエンドでの QoS 制御のために必要な、最小限の制御機能を持つ。トラフィック特性に従って分類されたクラス毎に制御内容を決定する。

ローカルネットワーク:

同一の QoS 管理ポリシーに従って運用されるネッ

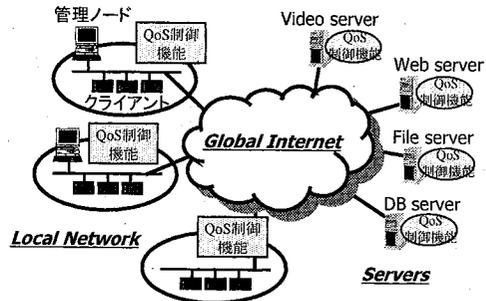


図 1 フレームワークの構成

トワークシステムと定義され、物理的に同一の LAN に接続された形態や VLANなどを指す。また、直接インターネットに接続された端末も、ポリシーを持たない LAN の一員とみなす。管理スコープ内に閉じたサービスに対しては、ポリシーに従った QoS 制御を実施し、ベストエフォートサービスに対しては、ユーザの満足度を高める QoS 制御を実施する。

#### 3.2 構成要素に必要とされる機能

##### (1) サービスを提供するサーバ

サービスを提供する機能:

クライアントからの要求に従って、サービスを提供する。このとき、グローバルインターネットにおける制御で利用するため、送出するトラフィックの特性をパケットヘッダに付与する。ここで、TCP トラフィックについては、フロー制御やふくそう制御によってある程度自律的な制御が期待できることから、UDP トラフィックを対象にネットワークレベルの制御を行う。そのため、以下の 5 種類の分類から特性を選択する。

##### ① 広帯域リアルタイムトラフィック (TV 会議など)

最大帯域 or 平均帯域  $\geq 100$  kbps  
 許容遅延時間  $< 150$  ms

##### ② 広帯域準リアルタイムトラフィック (VOD など)

最大帯域 or 平均帯域  $\geq 100$  kbps  
 $100$  s  $>$  許容遅延時間  $\geq 150$  ms

##### ③ 狭帯域リアルタイムトラフィック (IP 電話など)

最大帯域 and 平均帯域  $< 100$  kbps  
 許容遅延時間  $< 150$  ms

##### ④ 狭帯域準リアルタイムトラフィック (音楽配信など)

最大帯域 and 平均帯域  $< 100$  kbps

100 s > 許容遅延時間  $\geq$  150 ms

⑤その他(TCPトラフィックなど)

上記の条件以外、TCPトラフィック。

本フレームワークでは、DiffServ における AF PHB[8]を利用してネットワークにおける QoS 制御を実現する。そのため、これらのトラフィック特性に従って、IP パケットヘッダ内の ToS フィールドに表 1 に示す DSCP 値を設定する。

サービス内容を変更する機能:

ネットワークでは必要最小限の QoS 制御が実施され、サーバでは自律的な QoS 制御が実施される。そのためアプリケーションの開発者は、アプリケーションの特性(多くのリソースを必要とする、実時間処理を要求するなど)に応じた QoS 制御機能をサーバに組み込む。実装された制御は、ネットワークから取得する性能データやクライアントからのフィードバック情報に従って自律的に実行される。

ネットワーク状態を監視する機能:

インターネットの外側からエンドツーエンドのネットワーク状態を監視し、ネットワーク状態を推定する。例えば、RTP パケットの再送状態を監視し、ネットワークのふくそうを検出したり、プローブパケットを利用して、エンドツーエンドでの利用可能帯域を推定したりする。

クライアント状態を監視する機能:

ユーザ QoS の監視はクライアント端末上で行うが、サーバはその監視結果を受け取り、推定したネットワーク状態と合わせて制御内容を決定する。

(2) グローバルインターネット

QoS 制御を実施する機能:

ネットワーク上の各ノードにおいて、各アプリケーションの申告によって決定されたトラフィック特性(ヘッダに設定された DSCP 値)に基づいたキュー管理

を行う。本フレームワークでは 4 つの転送クラスを利用するため、各ノード上に AF1x, AF2x, AF3x, AF4x それぞれに対応した 4 つのキューを設け、3 種類の廃棄レベル(そのうち高、中の 2 種類を使用)を設定する。スケジューリングアルゴリズムとしては帯域保証型転送方式を採用し、利用可能帯域を 4:3:2:1 の割合で 4 つのキューに割り振る。例えば、他の優先トラフィックに 75%の帯域が割り振られていた場合、残りの 25%をこの割合で各キューに割り振る。バッファ管理方式としては、Deterministic Discard 方式を採用し、キュー長の 3 分の 1 ずつを各廃棄レベルの許容キュー長として設定する。例えば、キュー長が 8 パケットの場合、廃棄しきい値はキュー先頭から 3, 5, 8 パケット目に設定する。これらの仕組みを利用し、アプリケーションによって申告されたトラフィック特性に従った、QoS 制御を実施する。

トラフィック特性を監視する機能:

管理ノードが存在しないグローバルインターネットでは、虚偽のトラフィック特性申告によって、大量の packets をネットワークに送出する端末が出現する可能性がある。そのため、申告内容を監視し、違反アプリケーションの DSCP 値を強制的に AF43 に変更するペナルティを課す。これはグローバルインターネットへの境界ノードでポリシングを行うことによって実現する。ここでは、(1)でクラス分けの判断基準となった帯域のしきい値を利用し、条件を満足するトラフィックであることを確認する。ただし、許容遅延時間に対する虚偽の申請を行うと、廃棄レベルが上がるため、遅延時間に対するポリシングは行わない。

(3) ローカルネットワーク

ローカルネットワークにおける QoS 制御は、ポリシーサーバ等を利用し、管理ポリシーに従った制御を行う。ここでの管理ポリシーの有効範囲は(論理的な)ローカルエリアに閉じたものであり、インターネット上での制御には反映されない。優先制御が必要なサービスはこの仕組みによって、管理対象システム内で絶対的な優先制御を行う。

一方、明示的に優先制御を行わないサービスに対してもユーザ満足度を高める制御を行うため、クライアントは以下の機能を持つ。

表 1 トラフィック特性と DSCP 値の関係

特性	DSCP 値	廃棄	優先クラス
広帯域・RT	AF23	高廃棄	クラス 2
広帯域・準 RT	AF33	中廃棄	クラス 3
狭帯域・RT	AF12	高廃棄	クラス 1
狭帯域・準 RT	AF22	中廃棄	クラス 2
その他	AF43	高廃棄	クラス 4

#### ユーザ QoS を監視する機能:

サービス毎に定義されたユーザ QoS(映像品質, 応答時間など)を, 客観評価尺度を用いて自動的に評価し, その結果をサーバに通知する.

#### ユーザ QoS を選択する機能:

サーバで提供可能な品質パラメータに従って, ユーザが好みの品質を選択する機能. 通常, ユーザ QoS は, 互いにトレードオフの関係にあるいくつかの評価パラメータ(映像サービスにおける動きの滑らかさ, 画質, 画像サイズなど)によって表現される. これらの制御の優先順位はユーザや端末の種類, 使用環境などによって異なってくるため, ユーザの主観評価値をサーバ側に通知する機能を用意し, 環境に依存した選択結果を蓄積することによって, その後の制御に利用する.

#### ユーザのシステム環境を監視する機能:

ユーザのシステム環境によって, サービス品質に対する満足度は異なる. そのため, クライアントの環境を把握し, サーバに伝える機能を用意する. ここでの監視対象は, 計算機のスペック, CPU やメモリの使用率, 使用 OS, ネットワーク環境や使用帯域などである. アプリケーションによっては, 使用形態(個人で, 仕事でなど)を監視する場合もある.

### 4. 実装例

本フレームワークの実装例として, インターネット放送サービスを対象とした, ユーザ指向 QoS 制御システム[10]を開発した.

#### 4.1 システム構成

インターネット放送サービスのプロトタイプシステムとして, 研究室内に, Digital Video(DV)転送システムを利用した実験システムを構築した. システム構成を図2に示す. 本システムでは, DV 転送システムとして WIDE プロジェクトで開発された DVTS(Digital Video Transport System)[9]を利用した. DVTS は, DV データを IEEE1394 経由で PC に取り込み, IP ネットワークを利用して他の PC に転送するシステムである. IP ネットワーク上の通信には, UDP, RTP を利用し, リアルタイム映像配信を実現している.

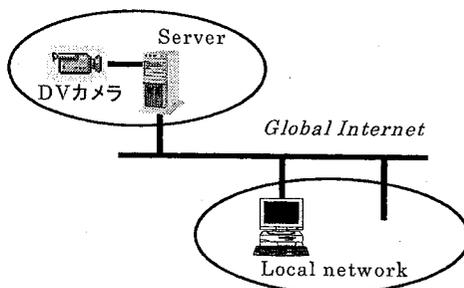


図2 実験システムの構成

図2に示すように, 本システムはサーバ1台, クライアント1台を同一セグメント上に接続した形態をとっており, 本稿で提案したフレームワークの最小構成を模擬している. 今回, グローバルインターネット上の制御機能は実装していない.

#### 4.2 各構成要素の実装

##### (1) サービスを提供するサーバ

##### サービスを提供する機能:

DVTSによって映像配信を行う. ここで, 対象とするインターネット放送サービスには双方向性は無いので, 本サービスのトラフィック形態は, 広帯域準リアルタイムトラフィックに分類される. ただし, 今回はDSCP値の設定は行っていない.

##### サービス内容を変更する機能:

DVTSが持つ, 送出フレームレートを変更する機能を利用する. DVTSにはクライアント上で損失パケット数を監視する機能があるので, 損失を検出した場合, またはユーザから変更要求があった場合に送出フレームレートを変更する.

##### ネットワーク状態を監視する機能:

映像視聴中は上記の損失パケットを監視することによってネットワーク状態を推定する. また, 視聴開始時には, エンドツーエンド帯域幅計測ツール pathrate[11]を利用して空き帯域幅推定を行う.

##### クライアント状態を監視する機能:

クライアントからのパケット損失情報をユーザ QoS の劣化とみなし, この情報を監視する. また, ユーザが手動で QoS を変更した場合は, その要求を受信するとともに, 変更内容を記録する.

## (2) ローカルネットワーク

### ユーザ QoS を監視する機能:

DVTS が持つ損失パケット数を監視する機能を利用する。実験システムにおけるユーザ QoS は、映像の動きの滑らかさ、画質、画面サイズの 3 種類としたが、これらのパラメータと客観評価尺度としてのパケット損失率の関係[10]を利用し、評価を行う。

### ユーザ QoS を選択する機能:

ユーザのサービス品質に対する嗜好には個人差がある。そのため、客観評価尺度を用いた満足度の評価の他に、ユーザが自ら QoS を操作する機能が必要である。本実験システムでもこの機能を用意するとともに[10]、操作履歴をサーバ端末上に蓄積することによって、ユーザ嗜好を反映させた制御を実現する。なお、ユーザのシステム環境を監視する機能は、本実験システムでは実装していない。

### 4.3 評価実験

本フレームワークを適用することによって、ベストエフォートトラフィックの QoS 改善が実現することを検証するため、以下の実験を行った。まず、フレームワークを適用しない場合に、本システムにおいて映像を視聴している状態で、ファイル転送(約 500MB のファイルを約 30Mbps のネットワーク上で転送した)にかかる時間を測定した。その後、フレームワークを適用してアプリケーションのレベルで制御を実施した場合のファイル転送にかかる時間を測定した。結果(5 回測定したときの平均値)を表 2 に示す。

今回、ネットワークレベルの制御は行っていないが、アプリケーションレベルの制御のみを行っても、十分ベストエフォートトラフィックのサービス品質が維持されることがわかった。

## 5. まとめ

本稿では、超大規模ネットワークであるインターネットへの適用を目指した「次世代インターネットにおける QoS 管理フレームワーク」の提案を行った。

表 2 ファイル転送にかかる時間

フレームワークの適用	転送時間
なし	1 分 49 秒
あり	1 分 25 秒

本フレームワークでは、インターネットの構成要素を、サービスを提供するサーバ、同一の QoS 管理ポリシーに従って運用されるローカルネットワーク、グローバルインターネットの 3 種類に分類し、それぞれの構成要素に対して QoS 制御機能を定義した。これはネットワークの高機能化を行わない単純なネットワークの構築を目指すため、フィードバック型の簡易な制御、集中管理を必要としない自律分散制御により、インターネット上での QoS 制御を実現した。

今回、フレームワークの適用例として簡単な実験システムを構築し、フレームワークの有効性を検証したが、今後、より大規模なネットワークへの適用を目指して、シミュレーション実験、実装実験等を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] R. Braden, D. Clark and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", IETF RFC1633, 1994.
- [2] S. Brake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "Architecture for Differentiated Services", IETF RFC2475, 1998.
- [3] E. Rosen, A. Viswanathan and R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", IETF RFC3031, 2001.
- [4] 小泉稔, 三宅滋, 平島陽子, "ポリシーベースによる QoS 制御", オーム社, 2001.
- [5] 加藤由花, 佐々木徹, 箱崎勝也, "分散マルチメディアシステムにおけるアプリケーション QoS 管理手法の提案とその実装", 情処学会論文誌, Vol.42, No.12, pp.2941-2951, 2001.
- [6] K. Nichols, V. Jacobson and L. Zhang, "A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet", IETF RFC 2638, 1999.
- [7] <http://www.jgn.tao.go.jp/>
- [8] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", IETF RFC2597, 1999.
- [9] A. Ogawa, K. Kobayashi, K. Sugiura, O. Nakamura and J. Murai, "Design and Implementation of DV based video over RTP", Proc. Packet Video2000, 2000.
- [10] 本田篤史, 加藤由花, 箱崎勝也, "インターネット放送サービスにおけるユーザ指向 QoS 制御手法", 情処学会研究報告, DSM-28, pp.31-36, 2002.
- [11] C. Dovrols, P. Ramanathan, D. Moore, "What do packet dispersion techniques measure?", IEEE INFOCOM2001, 2001.