

ユーザ・レベルの通信品質要求を満足させる ネットワーク制御機構の試作

金田 泰

日立製作所 中央研究所

〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1-280

E-mail: Yasusi.Kanada.yq@hitachi.com

あらまし ユーザが経験する通信の体感品質すなわち QoE に関する要求をユーザが入力し、その要求をネットワークにおいて満足させるための機構を提案する。QoE 要求は QoS にマップされ、アドミッション制御やネットワーク・ノードへの設定を通じて満足される。要求のためにソフト・ステートのプロトコルを使用することによって、サービスの開始、延長、中止などを統一的にあつかうことができる。この機構の一部をプロトタイプにくみこみ、階層化シェイパーツきのネットワーク・ノードを使用して動画ストリーミングに関する実験をおこなった結果、QoE 要求が満足されることを確認した。

キーワード QoE 最適化, 体感品質, QoS 保証, 最低帯域保証, ソフト・ステート・プロトコル, 階層化シェイパー。

Prototype Development of A Network Control Mechanism That Satisfies Requests on User-level Communication Quality

Yasusi Kanada

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Higashi-Koigakubo 1-280, Kokubunji, Tokyo 185-8601, Japan

E-mail: Yasusi.Kanada.yq@hitachi.com

Abstract A mechanism for users to input a request on quality of experience (QoE) and for the network to satisfy the request. A QoE request is mapped to QoS, and it is satisfied by using admission control and network node configurations. By using a soft-state protocol for the request, service initiation, extension, and termination are handled in a unified method. Part of this mechanism has been built into a prototype, and tested using a network node with so-called hierarchical shaper and using video streaming, the mechanism has been confirmed to work in a designed way.

Keywords QoE Optimization, Quality of Experience, QoS Guarantee, Minimum Bandwidth Guarantee, Soft-state Protocol, Hierarchical Shaper.

1. はじめに

ITU-T, 3GPP などの標準化組織において標準化されてきた NGN (Next Generation Networks) においては、端点間 (end-to-end) の QoS を保証するための機構が標準化された。それを実現するための核は IMS (IP Multimedia Subsystem) とよばれる SIP (Session Initiation Protocol) を使用したセッション単位の機構である。端点間 QoS 保証のために、帯域、遅延などの QoS パラメタを指定した「パスにそった (on-path)」プロトコルすなわち RSVP (Resource reSerVation Protocol), NSLP (Next-Step-in-signaling Link-layer Protocol) などの IETF 標準プロトコルや他のプロトコル (たとえば SNSLP [Kan 08]) を使用することもできるし、SIP のような「パスにそわない (off-path)」プロトコルを使用することもできる。

しかし、現状の NGN による品質保証にはつぎのような弱点があるとかんがえられる。

- QoS パラメタによって直接表現されない品質は最適化されない
通信においてユーザがもとめるのはかならずしも QoS パラメタによって表現される客観的な性能ではない。ユーザがもとめるのはアプリケーションに依存する QoE (体感品質, Quality of Experience) の向上であり、NGN の機構が QoE の最適化 [Lat 08] の

ために最善であるとはいえない。すなわち、QoS 保証を通じて QoE 最適化をめざすと、部分的には過剰な QoS を保証する必要が生じるため、全体として最適にはならない可能性がある。

- SIP をつかわないアプリケーションには適用しにくい
IMS は SIP に依存しているため、SIP を使用しないストリーミング、IPTV, Web, FTP 等々のアプリケーションには適用しにくい。とくに、保証の単位がセッションであるために、セッションの概念がないアプリケーションには適用しにくい。
- セッション単位の資源確保はオーバーヘッドがおおきい
セッション時間がながいアプリケーションはよいが、IP 電話をふくめて、セッション時間が数分以下のアプリケーションにおいては、資源確保のためのオーバーヘッドがおおきい。オーバーヘッドをさけるためにコア網においては資源要求をクラス単位でまとめて DiffServ によって制御する方法も開発されている ([Ber 00] [Lee 03] など) が、要求をまとめるための機構が複雑である。
- セッション単位の要求はニーズにかならずしもあわない
セッションの単位がこまかいときは、ユーザが品質改善をセッションごとに要求するとなると、ユーザにとってわずらわしい。NGN

においては基本的には QoS はアプリケーションが自動的に要求するが、これでは選択の余地がないため user experience をたかめるのはむずかしい、したがってサービス・プロバイダが品質改善 (品質差別化) から利益をえるのはむずかしい。すなわち、セッション単位に要求する方法はユーザのニーズにも、プロバイダのニーズにもかならずしもあわないとかがえられる。

これらの問題に対するひとつの解決策として、この論文においてはユーザやアプリケーションがストレートに QoE に関する要求をして QoE を最適化または改善するための最適化方式を提案する。また、その一部の機能の試作と実験をおこなったので、報告する。

2. QoE 最適化方式の概要

この節においては、提案する QoE 最適化方式について概説する。この QoE 最適化方式は P2P アプリケーションなどの品質保証にも使用することができるが、例として図 1 のようなクライアント-サーバ型のアプリケーションをふくむネットワークをとりあげる。

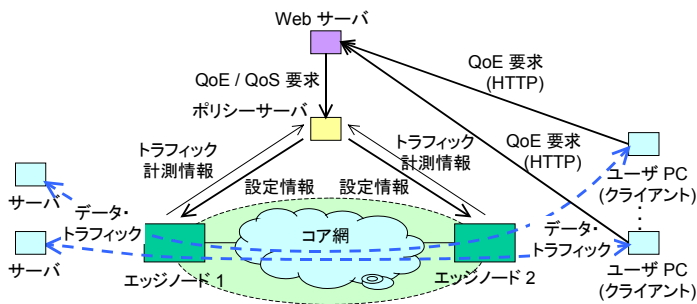


図 1 QoE 最適化対象のネットワークの例

QoE 最適化はおおよそつぎのような手順にしたがって実施する。

• ユーザ要求の記述と入力

ユーザが明示的に、または暗黙に QoE に関する要求や満足度を記述しネットワーク (ポリシーサーバ) につたえる方法を開発する。QoE 要求・満足度はたとえば Web インタフェースによって表現され、CGI (Common Gateway Interface) や Web サービスなどによってサーバ (QoE 要求受付サーバ) につたえられる。今回の試作においては CGI を使用した。

QoE は感覚メディア依存であるから、QoE 要求や満足度の表現においても通常はメディアに固有の表現 (たとえば「画質がよい/わるい」、「音質がよい/わるい」などの表現) が使用されるであろう。多数の被験者をつかって QoE をもとめるときには定量的な値をえることができるが、ひとりのユーザのかざられた入力からえられる QoE 要求はむしろ定性的である。したがって、「最適化」ということばを今後も使用するが、それはかならずしも数値的で精密な方法ではない。

• ユーザ要求のネットワークへの伝達

ユーザ要求をアプリケーション層からネットワーク (NGN における RACF (Resource and Admission Control Functions) に相当する機能) に伝達する。NGN においては Diameter にもとづくインタフェースが使用されるが、今回の試作においては RRTP (Resource Request Transport Protocol) という独自プロトコルを使用した。RRTP は HTTP や SIP に似たプロトコルである。

• QoE-QoS マッピング

ユーザ要求は QoE レベルすなわちアプリケーションに依存するかたちで記述されている。そのままではネットワークを制御することができないので、それを帯域、遅延などの QoS パラメータにマップする。ネットワークはアプリケーションに関する知識を部分

ップする。ネットワークはアプリケーションに関する知識を部分的にしかもっていないとかがえられるので、このマッピングはネットワークとアプリケーションとくにサーバが協調しておこなう必要があるとかがえられる。また、QoE レベルでの最適化を実現するためには動的にマップする、すなわちネットワーク・トラフィックの状況などに応じてマッピングをかえる必要がある¹。

• アドミッション制御とユーザへのフィードバック

ネットワーク資源は有限であるから、すべてのユーザ要求をうけつけることはできない。しかるべき基準にもとづいてアドミッション制御をおこない、許可できない要求に対しては、ユーザ要求の伝達機構を逆向きに使用して、拒否の返答をユーザにかえす。また、許可するときも、必要に応じて許可条件などを QoE のレベルで必要なら QoS から QoE への逆変換をおこなってユーザにフィードバックする。

• ネットワーク・ノードへの設定と監視

許可した要求に関しては、もともと QoS パラメータが実現されるようにネットワーク・ノードへの設定をおこない、意図したとおりにネットワークが制御されているかどうかを確認するために計測・監視する。この報告においては図 1 にしめすようにエッジノードへの設定に焦点をおくが、QoE 最適化のために必要であれば、他のノード (コアノードやアクセスノード) への設定もかがえる。

以下の節において、これらの各項目をより詳しく説明していく。

3. 品質要求に関するユーザ・インタフェース

この節においては、2 節にしめた項目のうち、ユーザ要求の記述法について記述する。すなわち、ユーザが品質劣化を感じたときなどにネットワークに対して品質要求するためのユーザ・インタフェースの分類と例をしめす。要求の方法としてアプリケーションに依存しない方法とそれに依存する方法とがあり、それぞれにさらに何種類かの候補がある。

3.1 アプリケーションに依存しない方法

3.1.1 オン/オフ選択 (これっきりボタン)

ユーザがどのような不満を感じたか、なにを希望しているかによらず、ただひとつのボタンをクリックする方法である。例を図 2(a) にあげる。ユーザはたとえば Web ページの表示がおそい、ストリーミングの画質がわるい、ラジオの音質がわるいなどの体感品質低下を感じたときにこのボタンをクリックする。このばあい、システムは十分な資源を確保するか、または発生した現象やその原因を推定して、きめこまかく対処する。これによってシステム (ネットワーク) にあたえられる情報は 1 bit だけであるから、この推定には高度な技術が必要である。要求したユーザに対する帯域わりあてを増加させるだけで問題が解決される可能性もあるが、推定がはずれると不満は解消されないままになる可能性がある。

3.1.2 質的选择 (メディア指定ボタン)

図 2(b) の例のように、ユーザが感じそうな不満やもちそうな希望をあらかじめ複数のボタンなどのかたちで表現し、それらのなかからユーザがもっともあてはまるものを選択してクリックする。とくに、改善したいメディア (音声、画像など) を指定するボタンが有力だとかがえられる。ユーザはどのような種類の体感品質が低下したかに

¹ QoE から QoS へのマッピングが 1 対 1 であれば、ネットワークのふるまいは NGN におけるのとおおきなちがいがいがない。したがって、動的なマッピングがこの最適化方式の重要な特徴だとかがえられる。

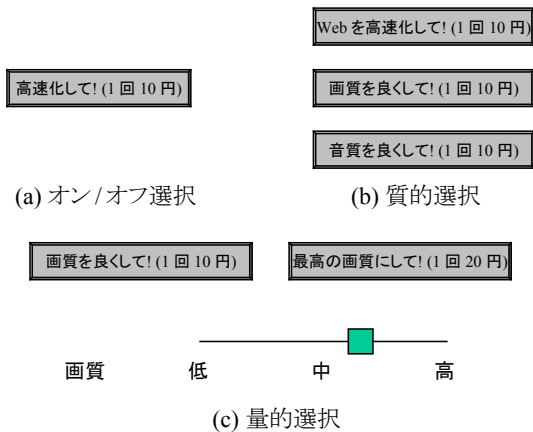


図 2 アプリケーションに依存しないユーザの要求の表現法

よって、クリックするボタンをかえる。

たとえば、ユーザが高精細なストリーミング・サービスを開始したが良好な画質がえられないときには、「画質を良くして」ボタンを使用して改善をはかることができる。音声に関しても同様の操作をすることができる。あまりボタン数をふやすとエンドユーザの負荷がおおきくなるので好ましくない。しかし、もうすこし選択肢をふやして、たとえば画質に関しても「画像の乱れをなくして」と「画像の遅れをなくして」というように複数の選択肢をもうければ問題点をより明確にすることができる。

図 2(b)における「画質を良くして」、「音質を良くして」などのボタンは特定のアプリケーション・プログラムに影響をあたえるわけではなく、特定のトラフィック・クラス(たとえばストリーミング・クラス、会話音声クラスなど)のトラフィックにわりあてる資源を間接的に制御するようにすることができる。

3.1.3 量的選択(程度ボタン/スライダー等)

ユーザが問題の程度を判断し、予算などに応じて対策のつよさを選択できるようにする方法である。図 2(c)に 2 つの例をあげる。たとえばユーザが高精細なストリーミング・サービスを開始したが良好な画質がえられないときには、まず「画質を良くして」ボタンをためすことができる。それでも十分に画質が改善されないときには「最高の画質にして」ボタンを使用することができる。

ユーザごとの帯域わりあてのように、多段階あるいは連続に資源量などを調整することができるときだけ適用できる。量的な基準としては、応答性、音質・画質などがある。

3.2 アプリケーション依存の方法

ユーザによる要求や不満解消のためのアプリケーション依存の方法としてはアプリケーションごとにさまざまなものがかんがえられる。ここではいくつかの例をあげるにとどめる(図 3 参照)。

3.2.1 音質・画質選択

図 3(a)の「高解像度(640×480)」、「低解像度(320×240)」というボタンによって、再生開始時に画質を選択することができる。音質に関しても同様の方法で選択できる。また、IPTV や IP 電話などにおいて、通信中に高画質または高音質に変更できるようにすることがかんがえられる(図 3(a))。すなわち、再生開始時に指定するだけでは十分でないのであれば、再生中に「画質を良くして」ボタンをクリックできるようにする。

動画再生においては画質の選択はよくみられる機能だが、通

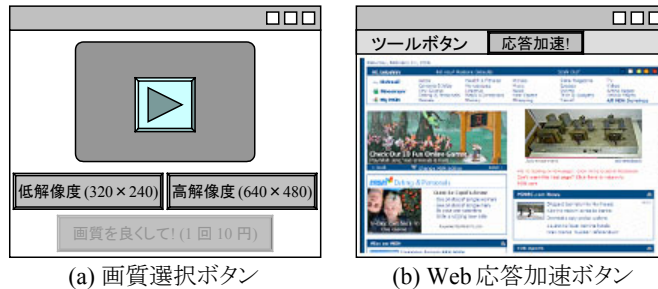


図 3 アプリケーション依存のユーザの要求・満足度の表現法

常、ユーザの要求はアプリケーションだけにつたえられる(NGN においてはアプリケーションがそれを QoS パラメタに翻訳してネットワークに要求する)。提案する方法においてはユーザの選択時にその情報がネットワークにつたえられるようにする。

3.2.2 他の方法

他の方法の例として、Web の応答加速とファイル転送の高速化・大量化に関するものを取りあげる。

Web の応答性がわるいとき、保証されたネットワークの外部(インターネット)にあるサーバからのデータに関しては対策をとるのが困難だとかんがえられるが、ネットワーク内部にキャッシュされているものについては優先度をかえるなどの対策をとることが可能だとかんがえられる。対象となる Web ページ上またはブラウザのプラグイン上に応答加速ボタンをつけることがかんがえられる(図 3(b))。Web に限定しない加速ボタンをつけることもかんがえられるが、ユーザにわかりにくいこと、効果がえにくいことなどをかんがえると、Web に限定するのがよいとかんがえられる。

Bittorrent のようなファイル転送プログラムの高速化と転送量上限の増加のためのボタンをもうけることもかんがえられる。アプリケーション・ウィンドウ上にボタンを設置するので、そのイメージは図 3(b)にちかいが、複数の選択肢(高速化、上限増加)がありうる。

3.3 サービス継続時間とサービス延長・中止

QoE を改善するには通常、要求したユーザへの資源わりあてを増加させる必要があるから、コストがかかる。したがって、一定時間(たとえば 1 時間)が経過したらもとの状態にもどすのが適切であろう。そのためには、ボタンなどをおして要求する際にタイムアウト時間を指定すればよい。指定した時間がすぎると自動的にサービスがうきられるようにする。

また、ユーザの都合によって、サービスを延長したり中止したりする必要が生じることがあるだろう。サービス中にこれらの選択肢も選択できるようにするべきである。すなわち、サービス中に継続ボタンや中止ボタンをおすことによって継続または中止することができる。

4. 要求伝達の方法

2 節に示した項目のうち、ユーザによる品質要求をネットワークに伝達するための機構について説明する。使用するプロトコルなどに関しては試作において使用した独自プロトコルを中心として説明するが、標準プロトコルについてもあわせて記述する。

4.1 RRTP による要求伝達

今回の試作においては、ポリシーサーバ(NGN における RACF に相当する機能)がセッション情報を入出力するために RRTP(Resource Request Transport Protocol)という独自プロトコルを使用している。RRTP は HTTP や SIP に似たプロトコルである。RRTP による要求メッセージの例をあげる。

```
REQUEST
Session-ID: <SessionID>
Direction: request-ingress
Refresh-period: 1800000
```

```
c=IN IP4 192.168.3.21
m=video 8000 RTP/AVP 1
b=AS:5120
a=y1541-qos-class:1
a=recvonly
a=rtpmap:1 MP2T/<ClockRate>
```

RACF と SIP プロキシなど (アプリケーション) とのインタフェースは 3GPP 標準においては Rx [3GP 05] とよばれ、Diameter ベースのプロトコルが使用される場所である。SIP によって QoS 要求がはこばれるときは、試作したポリシーサーバはこのインタフェースを通じて QoS パラメータを受け、QoE 最適化機構における品質要求は Web によって入力されるが、SIP による要求と同様に RRTP によってポリシーサーバにわたされる。

4.2 RRTP による QoS/QoE パラメータの伝達

要求が SIP によってはこばれるときは、主要なパラメータは SDP (Session Description Protocol) [Han 06] によって表現される。そのため、RRTP においては QoS パラメータを SDP のかたちで表現する。たとえば 4.1 節の RRTP メッセージにおいては帯域 (5120 kbps) がつぎのように表現されている。

```
b=AS:5120
```

IETF 標準の SDP によって表現できない QoS パラメータたとえばジッターを表現したり、QoE のパラメータを表現したりするには、SDP の構文を拡張する必要がある。たとえば 4.1 節の RRTP メッセージにおいては ITU-T Y.1541 勧告にもとづくトラフィック・クラス (クラス 1) がつぎのように表現されている。

```
a=y1541-qos-class:1
```

SDP においては通常、送信者と受信者を明確に特定し、メディアの種類を指定する。すなわち、両者の IP アドレスとポートを指定する。RRTP についても、送受信者が特定されていれば、そのような通常の SDP を指定すればよい。しかし、RRTP はアプリケーションに依存しない要求においても使用される。そのため、送受信者が特定されないときやメディアの種類が指定されないときにも表現できなければならない。したがって、この拡張 SDP においてはつぎのような指定を許容している。

- ポートやプロトコルを指定しない動画トラフィック: m=video 0
- メディアを指定しないトラフィック: m=any 0

4.3 サービス継続時間とサービス延長・中止

RRTP は RSVP と同様のソフト・ステートのプロトコルである。すなわち品質要求 (REQUEST) メッセージ送信後、定期的に更新 (REQUEST) メッセージを送信しなければその品質要求メッセージは無効となる。ソフト・ステートのプロトコルを使用することによって、サービス継続時間とサービス延長・中止は、つぎのように統一的にあつかえる。

- **サービス継続時間:** サービス継続時間をメッセージのタイムアウト時間として、メッセージ・ヘッダ (“Refresh-period:”) に指定することができる (単位は ms)。
- **サービスの延長:** サービスを延長するには更新メッセージを送信すればよい。更新メッセージに記述したタイムアウト時間にしたがって、サービスが延長される。
- **サービスの中止:** 中止要求のために解放 (TEAR) メッセージを用意したが、タイムアウト時間を 0 と指定した要求 (REQUEST)

メッセージによって中止を表現することも可能である。

5. QoE-QoS マッピング

2 節にしめた項目のうち、QoE-QoS マッピングの方法について概説する。QoE-QoS マッピングにおいては、ユーザ要求にふくまれるパラメータから QoS パラメータを決定する。マッピング法の詳細はこの論文の範囲外だが、3 つのケースについて概要だけをしめす。

• オン/オフだけが指定されたときの方法

「これっきりボタン」が使用されたときは、要求したユーザのすべてのトラフィックを対象として、帯域などの資源を十分に増加させれば、QoE を満足させることができるとかんがえられる。どのような種類の資源をどのような方法で確保するか、また確保すべき資源をどれだけにするかは環境や状況による。状況を正確に把握するためにはトラフィック測定が必要だとかんがえられる。

• メディアが指定されたときの方法

そのネットワークにおいてメディアの種類によってクラスをわけ、DiffServ がつかわれていることを前提とする。このとき、動画、音声などのメディアが指定されたときは、要求したユーザの指定されたクラスのトラフィックに関する資源を十分に増加させれば、QoE を満足させることができるとかんがえられる。なお、資源量の決定は環境や状況による。

• ストリーミング・アプリケーション専用の方法

アプリケーション依存のユーザ要求において、そのアプリケーションがストリーミングであるときをかんがえる。ユーザがコンテンツまで指定すれば、そのコンテンツの通信にどれだけの帯域が必要とされるかがわかる。このばあいには、ネットワークの性質にもよるが、その帯域を確保することによって、遅延やジッターもほぼ範囲内におさめることができ、QoE を満足させることができるとかんがえられる。なお、資源量の決定は環境や状況による。

6. アドミッション制御

アドミッション制御について説明する。2 節ではユーザへのフィードバックについてもあわせて記述したが、ここでは省略する。

アドミッション制御の方法は QoS 保証のためにどのような資源を制御するかによって異なる。しかし、通常は要求が到着するごとに資源のプールのなかから適合するものを選択してわりあてる。このわりあてかたとして、つぎの選択肢がある。

• よこどりのないわりあて

要求が到着したときにまだわりあてられていない資源があれば、それをわりあてる。すべての資源がすでにわりあてられていれば、要求を拒否する。

• 値づけにもとづく、よこどりの制御

よこどりとは、すでにわりあてられている資源を要求者からとりあげて、他の要求者にわりあててをいう。よこどりの方法としてわかりやすいのは bidding にもとづく方法である。この方法においては、すでに資源をわりあてられたユーザのなかで最低価格を提示したユーザを、それをこえる価格を提示したユーザといれかえる。よこどりされたユーザはよこどりされるまでのサービスについて課金されるか、またはまったく課金されない。

7. ネットワーク・ノードへの設定と監視

2 節にしめた項目のうち、ネットワーク・ノードへの設定と監視について説明する。

7.1 トラフィックの優先制御

QoE 要求したユーザのトラフィック (以下, 優先トラフィックとよぶ) に対して, それ以外のトラフィックより優先的に資源をわりあてることによって品質を確保する。しかし, より具体的なレベルになると, QoE 要求をどのような方法によって満足させるための方法はひとつとおりではない。一般的には資源配分, 負荷分散などの QoS 制御機能を使用することができる。

使用するべき QoS 制御機能はネットワークの構成にも依存し, 構成だけではきまらない部分もある。しかし, ここではエッジノードからユーザのネットワークにつながるリンク (図 2 においてはエッジノード 2 からユーザ PC へのリンク) がボトルネックになると仮定し, そこに対策する。この論文においてはほかにボトルネックはないものとするが, もしあればそれにもあわせて対策する必要がある。

エッジノード出口における QoS 制御の方法もそのノードがもつ機能に依存する。今回の試作においてはエッジノードとして, 階層化シェイパー [Aim 07] を装着したギガビット・スイッチ GS4000 またはギガビット・ルータ GR4000 の使用を前提とした。GS4000 / GR4000 の階層化シェイパーは 1000 程度のユーザごとに 4 個以下のキューを用意して, 各キューに対して最低帯域保証をおこなう機能をもっている。これらにフロー単位またはクラス単位の配分法を適用することによって, QoE を要求したユーザへの優先的な資源配分を実現する。たとえばユーザごとにすくなくとも 5 Mbps の帯域を確保することができる。この帯域はそれをわりあてられたユーザが使用しなければ, 他のユーザが使用することができる。

要求ごとにキューを再構成するすなわちキューの数やスケジューリング・アルゴリズム, 帯域などを変更する方法もありうる。しかし, 変更のためのオーバーヘッドがおおきく, またみかけ上, 接続がきれるばあいもあるため, あらかじめ構成されたキューを選択する方法を採用する。すなわち, キュー構成を初期設定する際に, QoE 要求時に使用されるキューをあらかじめ確保しプールしておく。たとえば, ユーザが HDTV 相当のストリーミングを要求できる環境においては, あらかじめ 20 Mbps の最低帯域をもつキューを十分な数だけ用意しておくことがかんがえられる。さまざまな要求の可能性があるときは, さまざまな最低帯域をもつキューを用意しておいて, そのなかから要求に応じて選択することが可能である¹。プールされたキューは個数が限定されているので, 6 章においてしめたアドミSSION制御アルゴリズムにしたがってわりあてる。

階層化シェイパーのキューを構成するには shaper コマンドを使用するが, 既存のキューを選択するには flow qos コマンドを使用する。

7.2 優先トラフィックの識別

エッジノード出口においては優先するべきトラフィックを識別しなければならぬ。GS4000 / GR4000 においては, キューを選択する flow qos コマンドにおいてトラフィック識別をあわせて設定する。

ユーザがどの種類の要求をしたかによって識別の方法もかわる。ここでは 3 章において検討した方法のうち, 3 つのばあいだけについて検討する。

• アプリケーション非依存のオン / オフ選択 (これっきりボタン)

エッジノード出口において, 要求したユーザの IP アドレスを送信先とし, あらかじめ登録された IP アドレス (範囲) を送信元とするすべてのトラフィックを識別し, 優先トラフィックとする。

• アプリケーション非依存の質的選択 (メディア指定ボタン)

エッジノード出口において, 要求したユーザの IP アドレスを先行とするトラフィックのうち, あらかじめ登録された IP アドレス (範囲) を送信元とする特定のメディアに関するものだけを識別し, 優先トラフィックとする。トラフィックがメディアの種類ごとにクラスわけされマーキングされていること (すなわち DiffServ が適用されていること) を前提とするなら, メディアの識別のためには IP パケットの DSCP を使用することができる。

• アプリケーション依存の音質・画質選択

エッジノード出口において, 要求したアプリケーションのトラフィックを識別し, 優先トラフィックとする。アプリケーションのトラフィックを確実に識別するためには IP アドレスだけでなく UDP / TCP ポートまで識別する必要がある。

7.3 トラフィックの計測・監視

端点間の遅延やジッターの保証のためには, 本来はネットワーク・ノード等においてトラフィックを計測して, 要求値がみたされているかどうかを検証する必要がある。しかし, ここでは制御対象をエッジノード出口に限定し, 制御法を最低帯域保証に限定した。トラフィック量が保証帯域内におさまることを前提とすれば, 監視にもとづく制御は不要である。ただし, トラフィック量が予測をはずれる可能性があるときは, 監視と監視結果にもとづく制御が必要になる。

8. 実験

今回の試作・実験においては, アプリケーションに依存しない方法のなかでは「これっきりボタン」と「メディア指定ボタン」, アプリケーションに依存する方法のなかでは画質選択ボタンだけを試行した。以下, 実験で使用したネットワークの構成と手順および結果について説明する。

8.1 実験ネットワークの構成

ネットワーク・ノードとして GS4000 を 1 台だけ使用して, 図 4 のような構成で実験をおこなった²。アプリケーション・サーバとしては Microsoft Windows XP 上で動作する RealNetworks 社の無償版の Helix ストリーミング・サーバ (Version 11.1) を使用し, Windows XP が動作するユーザ PC (AMD Athlon XP ノート PC) にクライアントとして Internet Explorer 6 上で (Active X により) 動作する RealNetworks 社の Real Player を使用した。Real Player は制御プロトコル RTSP によって Helix サーバにストリーミングを要求し, Helix サーバは RDT (RealNetworks Data Transport) という RealNetworks 社の独自のトランスポート・プロトコルによって動画を Real Player におくる。

ネットワーク・サーバとしてはポリシーサーバと Web サーバとがあるが, これらは同一の Linux PC 上で動作させた。QoE 要求時にはキューのうちのひとつを対象のトラフィックにわりあてる。そのキューの最低保証帯域は本来はもつときまかく管理するべきだが, この実験においては一律に 5 Mbps とする。

QoE 要求がないままでストリーミング再生をするときと QoE 要求して再生するときの差をみるため, 2 台のトラフィック生成器と 1 台のトラフィック吸収器を用意している。これらはいずれも Linux PC であり, C によって記述したプログラムを動作させてトラフィックを送信または受信する。これらのうちトラフィック生成器と GS4000 とのあい

¹ ただし, あらかじめ用意するキュー数がふえれば, そのぶんだけ帯域に余裕をもたせなければならなくなる。

² 通信者どうしをむすぶネットワークには, 本来, 両側にエッジ・ノードが存在するべきである。しかし, 実験の焦点がユーザ PC 側ノード (エッジノード 2) の制御にあるため, この実験にあたってはストリーミング・サーバ側のノードは省略した。

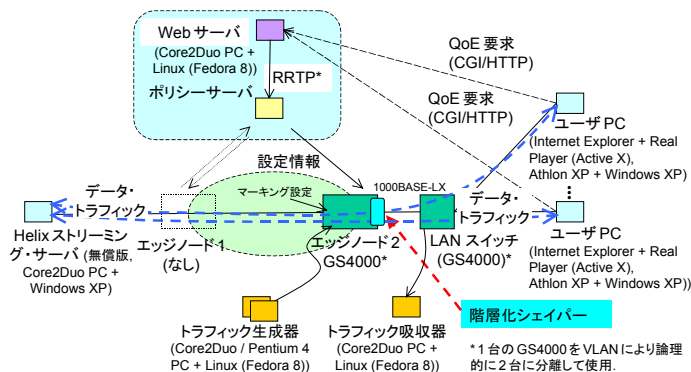


図4 実験ネットワークの構成

では1 Gbit Ethernetによって接続しているが、他はすべて100 Mbit Ethernetによって接続している。トラフィック生成器からはあわせてリンク容量(1 Gbps)をこえるクロス・トラフィック(約1.05 Gbps)を発生させることによって、ノードの出力キューにおいて輻輳が発生しパケット廃棄が発生するようにしている。

8.2 実験の手順

実験の際には、まずトラフィック生成器と吸収器とを動作させる。トラフィック生成量が1 Gbpsより小さいければストリーミング再生への影響はほとんどなく、1 Gbpsをこえるかそれに十分ちかければ画質が低下する。ただし、トラフィック生成器の出力にゆらぎがあるため、正確なレートは不明である。

CGIによって実現された実験用のユーザ・インタフェースのうちの2つを図5に示す(画質選択のインタフェースは省略する)。図5(a)はオン/オフ選択のインタフェースであり、図5(b)が質的選択のインタフェースである。最初の要求時にはサービス継続時間として30秒、1分のうちのいずれかを選択する(継続時間がみじかいはそのほうが実験やデモに適しているからであり、実用的なインタフェースにおいては30分以上を指定するとかんがえられる)。両者ともサービス中は中止および延長のためのボタンが表示される。ここではユーザへのフィードバックの一部として、このサービスの時間を表示しているが、これはJavaScriptを使用して局所的に計算した値である。

実験においては800 kbpsを必要とするコンテンツを使用した。QoS要求しないままストリーミング再生をスタートさせると、パケット損失が発生して画質が低下するはずである。これに対してQoS要求してからストリーミング再生をスタートさせると、800 kbpsが確保されて高画質がえられるはずである。

8.3 結果

この節においては評価実験の結果をしめして検討する。まずQoS要求がないときとあるときの画質の変化についてのべ、ルータにおいて計測した結果などをしめす。

まず画質の変化についてのべ。QoS要求をしないまま用意したコンテンツを再生すると、800 kbpsのまま再生されることもあったが、動画にはしばしばブロック・ノイズがはいった。また、800 kbpsが確保できず、サーバ・クライアント間でレート調整の交渉がおこり、転送速度が劇的に低下することもあった。この場合もパケット損失は発生しつづけるので、動画にはしばしばブロック・ノイズがはいった。これに対してQoS要求してから再生すると800 kbpsの送信が継続され、品質が確保された。

つぎに計測結果についてのべ。GS4000にはキューごとに通

通信品質選択

通信品質を改良して(0秒 2円)
通信品質を改良して(0分 3円)

1分のボタン
をおす

通信品質選択

通信品質改善中...あと35秒で終了

通信品質改善を中止

通信品質改良を継続して(0秒 2円)

通信品質改良を継続して(0分 3円)

(a) オン/オフ選択

通信品質選択

画質を改良して(0秒 2円) 画質を改良して(0分 3円)

音質を改良して(0秒 2円) 音質を改良して(0分 3円)

画質改善
ボタンをおす

通信品質選択

画質改善中...あと20秒で終了

画質改善を中止

画質改良を継続して(0秒 2円)

画質改良を継続して(0分 3円)

(b) 質的選択

図5 実験用ユーザ・インタフェース

過したパケット数やキューにたまった最大パケット数などを記録する機能がある。上記のコンテンツの再生前に記録をクリアし再生後に記録値をみると、QoS要求のないときは全トラフィックがデフォルト・キューにはいり、約4%のパケットが損失していることがわかった。QoS要求時は、ストリーミングに関するトラフィックが他のキューにわりあてられた結果、損失が0になっていることを確認した。

9. 結論

ユーザが経験する通信の体感品質すなわちQoSに関する要求をユーザが入力し、その要求をネットワークにおいて満足させるための機構を提案した。この機構においては、要求のためにソフト・ステートのプロトコルを使用することによって、サービスの開始、延長、中止などを統一的にあつかうことができた。この機構の一部をプロトタイプにくみこみ、階層化シェイパー付きのネットワーク・ノードを使用して動画ストリーミングに関する実験をおこなった。その結果、これっきりボタン、メディア指定ボタン、アプリケーション指定ボタンのいずれにおいてもQoS要求が満足されることを確認した。

謝辞

階層化シェイパーの借用やそれに関する情報提供で協力していただいた日立製作所ネットワークソリューション事業部の波多江健一郎主任技師ほかの方々に感謝する。

参考文献

- [3GP 05] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Rx Interface and Rx/Gx signalling flows (Release 6)", 3GPP TS 29.211 V6.3.0, December 2005.
- [Aim 07] Aimoto, T., Yazaki, T., Isobe, T., Sakata, Y., and Yoshida, K., "Evaluation of a Hierarchical Shaper as a Policy Execution Point", *Int'l Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems*, 2007.
- [Ber 00] Bernet, Y., Ford, P., Yavatkar, R., Baker, F., Zhang, L., Speer, M., Braden, R., Davie, B., Wroclawski, J., and Felstaine, E., "A Framework for Integrated Services Operation over Diffserv Networks", RFC 2998, IETF, November 2000.
- [Han 06] Handley, M., Jacobson, V., and Perkins, C., "SDP: Session Description Protocol", RFC 4566, IETF, July 2006.
- [Kan 08] Kanada, Y., "Policy-based End-to-End QoS Guarantee Using On-Path Signaling for Both QoS Request and Feedback", *Int'l Conference on Information Networking 2008 (ICOIN 2008)*, 1-1, January 2008.
- [Lat 08] Latré, S., Simoens, P., De Vleeschauwer, B., Van de Meerssche, W., De Turck, F., Dhoedt, B., Demeester, P., Van Den Berghe, S., and de Lumley, E. G., "Design for a Generic Knowledge Base for Autonomic QoS Optimization in Multimedia Access Networks", *2008 IEEE Network Operations and Management Symposium Workshops (NOMS Workshops 2008)*, pp. 335-342.
- [Lee 03] Eunhyu Lee, Sang-Ick Byun, and Myungchul Kim, "A Translator Between Integrated Service/RSVP and Differentiated Service for End-to-end QoS", *10th Int'l Conference on Telecommunications (ICT 2003)*, Vol. 2, pp. 1394-1401, March 2003.