

品質劣化予兆検出に基づくストリーミング配信サービス品質劣化 回避制御方式

栗林 伸一^{*1}, 田邊 正雄^{*2}

Method of preventing the perceptual video quality deterioration in streaming media distribution services based on the detection of deterioration sign

Shin-ichi KURIBAYASHI^{*1}, Masao TANABE^{*2}

ABSTRACT : To support the high quality streaming media distribution services, it is important to detect a sign of perceptual video quality deterioration and to prevent the deterioration. This paper proposes the alternative routing method to prevent the deterioration of TCP base streaming flow over the fault route. First, this paper proposes to use the estimated number of packets stored for the reproduction in client PC as a sign of the deterioration for TCP based streaming media distribution, and to detect the fault route. Next, this paper proposes the method to automatically understand network topology and bandwidth usage by monitoring BGP (Border Gateway Protocol) routing protocol packets, and to prevent the deterioration of streaming flow over the fault route with alternative routing. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by simulation.

Keywords : Streaming media, perceptual video quality, quality control

(Received August 18, 2005)

1. まえがき

A D S L , 光ファイバ等の高速アクセス網の普及に伴い, インターネット上でのストリーミング配信サービスが普及してきている。今後は映像レートの高速化や I P 放送の本格導入などが想定され, サービス品質の維持がサービス提供上ますます重要になってくると考えられる^{1), 2)}。また, 企業通信に対しては, ファイアウォールを通過できる T C P (H T T P) ベースのストリーミング配信を前提とする必要がある。

従来, ストリーミング配信のサービス品質 (ユーザ体感品質) を把握する方法として, ログ収集, クライアント品質モニタ, サーバ制御情報利用, 試験パケット品質測定, サーバ送出パケット変動測定, 等が提案されている^{3), 4)}。文献[5], [6]では, 外付け装置を網内に設置し, 既存の配信サーバやクライアント端末に影響なく, ユーザ毎の視聴品質をリアルタイムに監視でき

るシステム (S Q M) を提案し, 実システムへの適用によりその有効性を明らかにしている。しかし, これらの方式はいずれもサービス品質劣化の発生を把握または推定できるが, その予兆を検出して品質劣化を事前に回避することはできない。高品質なストリーミング配信サービスを提供するためには, サービス品質が劣化する前にその予兆を検出し劣化そのものを回避することが重要である。

ストリーミング配信を対象に, 品質劣化の予兆を検出する方策は文献[3], [7]などで提案されている。これらは U D P ベースのストリーミング配信を前提に, 転送パケット数などの変化により予兆を検出するものであり, T C P ベースのストリーミング配信を前提としたものではない。また, 品質劣化を回避する制御方式として具体的な提案は行われていない。一方, 文献[8], [9]などは T C P ベースのストリーミング配信を対象に, クライアント端末内バッファに蓄積されている再生用パケット量を一定に保つように送信レートを動的に制御する方式 (以後, 「送信レート制御」) を提案している。これらはもともと品質劣化の予兆検出を目的とした提案ではないが, 結果として再生用パケット量が一定値以上確保されることから品質劣化が起こらないように事前制御していると考え

^{*1} : 成蹊大学理工学部情報科学科教授 (Professor, Dept. of Computer and Information Science, e-mail: kuribayashi@st.seikei.ac.jp)

^{*2} : N T T 情報流通プラットフォーム研究所主任研究員

ることができる。

しかし、分散制御を前提とする送信レート制御だけでは、以下のようなケースに対応できないため何らかの対策が必要となる。

- a) 経路障害時には、ストリーミング配信パケットの送信そのものができないため品質劣化が発生する。
- b) 複数の配信フローが同時に送信レートを上げると輻輳を誘発しかねない。また、何らかの総量制限をしないと、輻輳が継続しレートを上げられないために端末内の再生用パケットが枯渇しかねない。
- c) 送信レートを動的に変更する機能を持っていない既存サーバやクライアント端末には対応できない。

文献[10]は、エンドツーエンド型の受信情報とネットワーク情報の両方を総合的に判断する送信レート制御方式を提案しているが(但し、UDPベース)、上記のケースa)、c)に対応することはできないと考えられる。

そこで、本稿ではTCPベースのストリーミング配信を対象に、既存サーバやクライアント端末に影響を与えず、障害経路を通過していたストリーミング配信フローを品質劣化させずに迂回させる迂回制御方式を提案する。品質劣化を回避するためには、図1に示すようにまず品質劣化の予兆を検出し、次に劣化原因・箇所を特定し、最後に劣化回避制御を実施する必要がある。まず、2章では検討の前提条件を述べる。3章では、品質劣化の予兆を検出する方法を明らかにする。4章では、障害経路を特定する方法を明らかにする。さらに、障害経路を経由して転送していた配信フローを品質劣化させることなく迂回させるための迂回制御アルゴリズム、ならびにそれを実現するためのシステム構成を提案する。5章は実機を用いたシミュレーションにより、4章で提案した迂回制御方式の有効性を定量的に評価する。6章はむすびである。

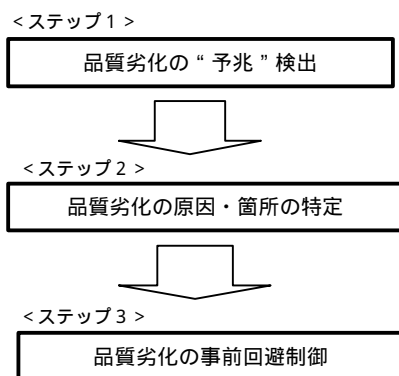


図1 品質劣化を事前に回避するための処理ステップ

2. 前提条件

本稿で前提とするサービス条件、システム条件を以下に示す。

- 1) 企業通信への適用を想定し、TCPベースのストリーミング配信サービスを前提とする。
- 2) AS (Autonomous System) 間ならびに各AS内ではストリーミング配信サービスのために一定の帯域が確保され、データなどの他トラヒックと干渉しないことを前提とする。但し、ストリーミング配信サービス用帯域を複数のストリーミング配信フローで共用し、ストリーミング配信フロー間での干渉は発生するものとする。
- 3) 配信サーバはデータセンタなどに集中設置されるものとする。
- 4) ストリーミング配信フローは優先フローと非優先フローに分類され、IPヘッダ内のTOS値(本論文ではTOS¹²⁾とDSCP¹²⁾の両方を示すものとして使用)によって区別する。配信開始時点からそれぞれに対応したTOS値を全パケットに設定する。ネットワーク内の各ルータはTOS値に基づく優先転送機能を具備し、優先フローパケットを非優先フローパケットよりも優先して転送するものとする。
- 5) 各ASは、AS間でやりとりさせるストリーミング配信フローの流量の総和をTOS値毎に実測するものとする。

3. 品質劣化の予兆検出法

TCPによるストリーミング配信では、輻輳などによりパケット損失が発生するとTCPフロー制御によりスルーット自体が低下する。この状態が長く続くとクライアント端末内の再生用パケットが徐々になくなる。再生用パケット量が一定値(Y秒分)以下になると、再生を停止し再生用パケットの蓄積を図る(パケット量がZ秒分まで回復したら再生を再開)、または映像レート自体を落とす、などの対策が一般に用いられる。この再生を停止した時点または映像レートを落とした時点で“品質劣化”状態になったと考えられる(図2)。したがって、品質劣化を防ぐためには、再生用パケット量がY秒以下にならないようにする必要がある。

これを踏まえ、文献[8]と同じように、クライアント端末内バッファに蓄積されている再生用パケット量を監視し、その量が一定値以下になった時点で“品質劣化予兆”と判断して劣化回避制御を起動する(図3)。なお、

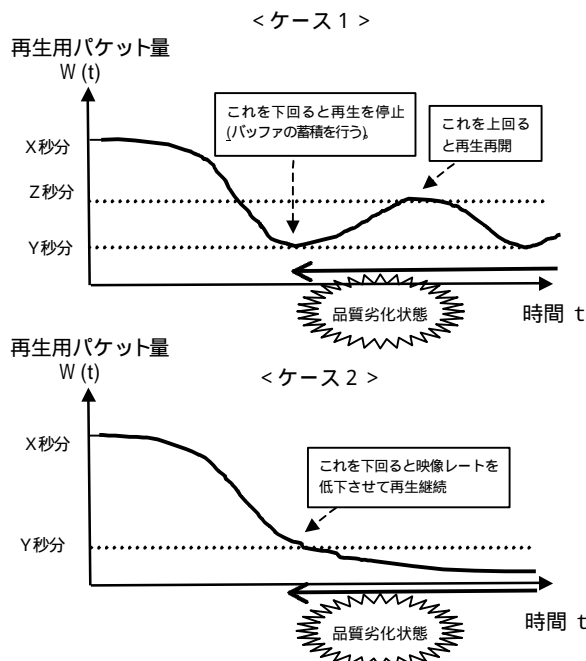


図2 クライアント端末内再生用パケット量の推移 (“劣化回避制御なし”の場合)

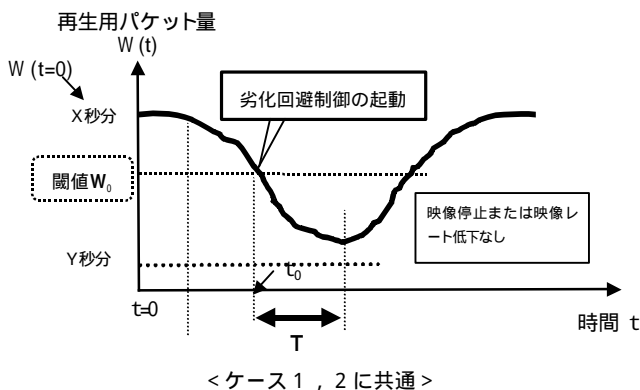


図3 クライアント端末内再生用パケット量の推移 (“劣化回避制御あり”の場合)

文献[8]は劣化回避制御として、送信レートを増加させていると考えることができる。

具体的な品質劣化予兆の検出手順を以下に示す。

<手順1> クライアント端末内の再生用パケット量の推定

網内で各ストリーミング配信のTCPフローをリアルタイムに監視する。そして、各クライアント端末に正しく到着するパケット量 $v(t)$ (ビット/秒) を算出し(再送分はカウントしない)各クライアント端末内バッファに蓄積される再生用パケット量 $W(t)$ (ビット) を以下の式により推定する。但し、 t は時間、 u (ビット/秒) は再生レート、 X (ビット) は初期バッファ量 ($W(t=0)$) とする。

$$W(t) = X + \int_0^t \{v(t) - u\} dt \quad (1)$$

(2) 品質劣化予兆の判断

式(1)により推定した $W(t)$ が

$$W(t) < W_0 \quad (2)$$

となった時点 ($t = t_0$) で劣化予兆とみなす。 W_0 は、

$$\{W_0 - Y\} > \int_{t_0}^{t_0+T} T \times \{u - v(t)\} dt \quad (3)$$

を満足する T [秒] 以内に劣化原因・箇所の特定、劣化回避制御、“ $v(t) > u$ ”状態への移行、を達成できるように決定する。

4 障害経路の特定と品質劣化を回避する迂回制御方式

経路障害発生時にどれだけのストリーミング配信フローを迂回先経路に迂回できるか判断するためには、ネットワークトポロジ (AS間の経路) と各経路における帯域利用状況を把握しておく必要があり、これを4.1節で説明する。また、障害経路の特定が必要であり、4.2節で説明する。さらに、障害経路を経由して転送していた配信フローを品質劣化させずに迂回させるための迂回制御アルゴリズムが必要であり、4.3節で提案する。

4.1 ネットワークトポロジと各経路の帯域利用状況把握法

ルーティングプロトコル BGP¹³⁾の更新 (Update) パケットをモニタリングすることにより、AS間経路と各経路の帯域利用状況を自動的に把握する方式を提案する。

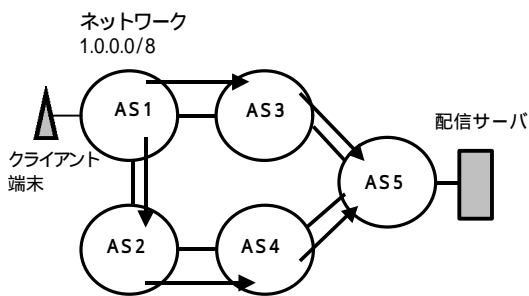
まず、更新メッセージ内の「AS-PATH Attributes」からAS経路「Network Layer Reachability Information フィールド」からネットワークアドレスを抽出し、ネットワークトポロジ (AS間経路) やクライアントアドレスを把握する。これは既存機能で実現可能である。次に、パス属性として“AS間帯域”を新たに規定し、これをBGP更新メッセージに格納して通知する。但し、帯域変更毎に更新メッセージを送信すると処理負荷が大きくなるため、一定周期または帯域がある閾値を超えた時点で更新メッセージを生成しAS間帯域を通知するものとする。

AS間帯域は隣接AS間毎に以下の6つのパラメータを含む。なお、AS間の帯域はAS間物理回線だけを対象としたものでなく、AS内で経由する経路も含めたも

のとする。また、AS番号が小さいASから大きいASの方向を「上り」、その逆方向を「下り」とする。

<新パス属性「AS間帯域」を含むパラメータ>

- ・ k 1 : 隣接AS間で利用可能な空き帯域 (上り方向)
- ・ k 2 : 隣接AS間の利用可能な空き帯域 (下り方向)
- ・ k 3 : 隣接AS間で優先フローが利用している帯域 (上り方向)
- ・ k 4 : 隣接AS間で優先フローが利用している帯域 (下り方向)
- ・ k 5 : 隣接AS間で非優先フローが利用している帯域 (上り方向)



AS: Autonomous System $B_{ASx-ASy}$: ASxとASy間の帯域(k 1~k 6)

BGP更新パケットの内容

- < >パス属性
ASパス属性: AS 1, AS間帯域属性: $B_{AS3-AS1}$
ネットワーク層到達可能性情報 1.0.0.0/8
- < >パス属性
ASパス属性: AS 3 AS 1, AS間帯域属性: $B_{AS5-AS3}$ $B_{AS3-AS1}$
ネットワーク層到達可能性情報 1.0.0.0/8
- < >パス属性
ASパス属性: AS 1, AS間帯域属性: $B_{AS2-AS1}$
ネットワーク層到達可能性情報 1.0.0.0/8
- < >パス属性
ASパス属性: AS 2 AS 1, AS間帯域属性: $B_{AS4-AS2}$ $B_{AS2-AS1}$
ネットワーク層到達可能性情報 1.0.0.0/8
- < >パス属性
ASパス属性: AS 4 AS 2 AS 1, AS間帯域属性: $B_{AS5-AS4}$ $B_{AS4-AS2}$ $B_{AS2-AS1}$
ネットワーク層到達可能性情報 1.0.0.0/8

【注】AS間帯域はAS間物理回線だけでなく、以下のようにAS内部も考慮した帯域である。

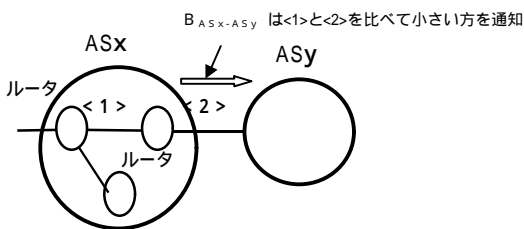


図4 BGP更新メッセージを利用したAS間帯域の通知イメージ

- ・ k 6 : 隣接AS間で非優先フローが利用している帯域 (上り方向)

パス属性「AS間帯域」の通知イメージを図4、BGP更新メッセージ内のAS間帯域フォーマット案を示す図5に示す。図4では、AS1からAS5までに経由するAS番号を含むASパス属性と共に、ルート上の隣接AS間帯域情報リストが伝えられることを示している。この例ではAS1-AS5間の経路としてはAS1-AS3-AS5とAS1-AS2-AS4-AS5の2つが利用可能であり、それぞれの経路の利用可能帯域を知ることができる。

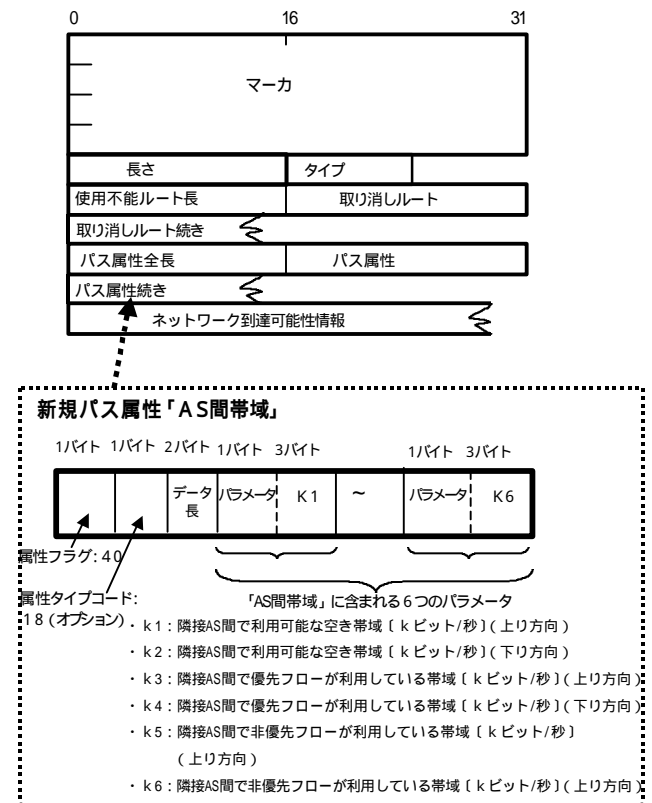


図5 BGP更新メッセージに含む新規パス属性 [AS間帯域] フォーマット

4.2 障害経路の特定化手順

図6の例では、以下のように障害箇所を特定化することができる。但し、ここでは2重障害は想定しない。

まず図6の中で(1)が障害ならば端末dも品質劣化するはずであるが劣化していないため(1)ではない。同様に、(2)が障害ならば端末bは品質劣化しないはずであり、(2)ではない。(5)が障害ならば端末aや端末dの品質も劣化するはずであり、(5)ではない。(6)が障害ならば端末aの品質も劣化するはずであり、(6)ではない。(7)が障害ならば端末dの品質も劣化するはずであり、(7)ではない。以上

から，(3)または(4)の障害が原因と推定できる。

これを一般化した「障害箇所の特定化フロー」を図7に示す。図7(1)はネットワーク構成，図7(2)は障害箇所の特定化フローを示す。図7はネットワーク経路だけでなく，配信サーバの障害も含めた障害箇所の特定を前提とし，以下の考え方に基づいている。

- 1) 品質劣化しやすく，かつ障害時の影響範囲が大きい順，つまり配信サーバ，ネットワークの順に障害を切り分けていく。

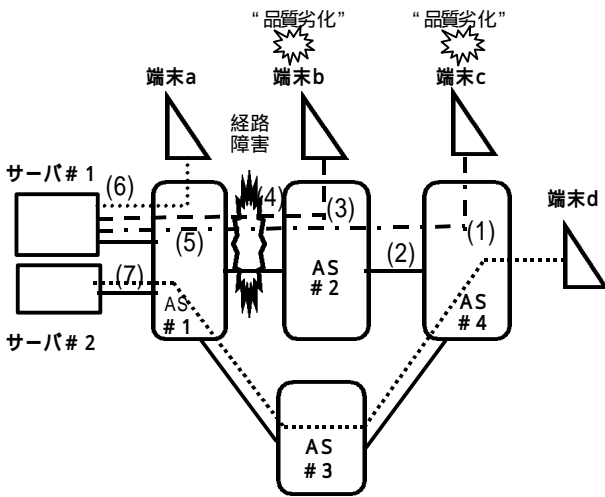
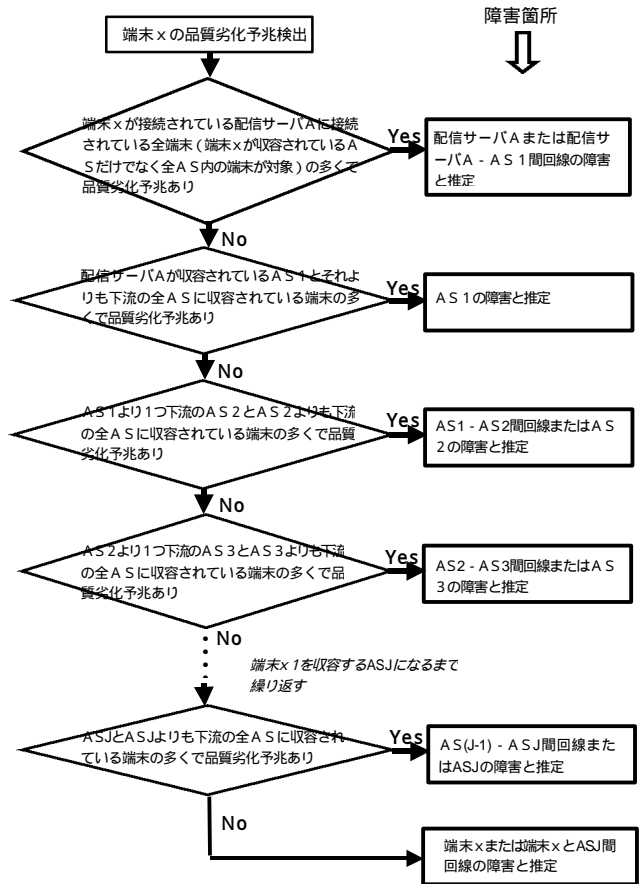


図6 障害箇所の特定化の例



注) 2重障害は想定しない。

(2) 障害箇所の特定化フロー

図7 障害箇所の特定化フロー (2/2)

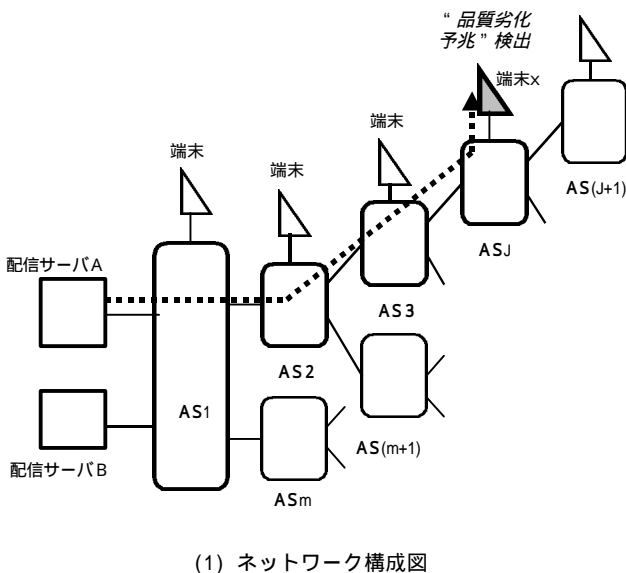
2) ネットワークでは，配信サーバに近いAS(上流)から障害を切り分けていく。これは，障害ASの下流のすべてのASに収容されている端末の品質が劣化するため，上流ほど障害時の影響範囲が大きいことが理由である。

4.3 品質劣化を回避する迂回制御アルゴリズム

本節では，経路障害時に‘障害経路を經由して転送されていた配信フロー’を品質劣化させずに迂回させるための迂回制御アルゴリズムを提案する。なお，文献[14]～[16]などは品質劣化後の劣化回復を目的とした制御方式を提案しており，ここではそれらを参考にする。

4.3.1 前提条件

- 1) 2重障害は想定しない。また，迂回先経路は1つとする。
- 2) 障害経路(P)を通過していた優先フローは，迂回先経路(Q)の空き帯域と経路Qを通過している非優先フローが利用している帯域を合わせた帯域分まで迂回させる。つまり，経路Pを通過していた優先フローを経路



(1) ネットワーク構成図

図7 障害箇所の特定化フロー (1/2)

Qの空き帯域だけで収容できない場合には、経路Qを
通っていた非優先フローの帯域を使って収容する（こ
の場合、非優先フローの品質は劣化する）。なお、それ
でも経路Pを通っていた優先フローを全て迂回できな
い場合は、迂回できない優先フローに対応したパケッ
トは廃棄する（この場合、迂回できない優先フローの
品質は劣化する）。

3) 経路Pを通っていた非優先フローは、経路Pを通っ
ていた優先フローを全て経路Qに迂回させても空き帯
域が残っていればその分だけ迂回させる。迂回できな
い非優先フローのパケットは廃棄する（この場合、迂
回できない非優先フローの品質は劣化する）。

4) 経路Pを通っていた配信フローには、目的ASが異
なる配信フローが混在している。そのため、帯域制限
から経路Qに全ての配信フローを迂回できない場合、
もともと経路Pを流れていた目的AS別配信フローの
量に比例して迂回させるものとする。さらに、これは
優先フローと非優先フロー別々に算出する。

5) 上記2)～4)を実現するために経路Pと経路Q両
方の経路のk1値～k6値（4.1節で規定）を利用す
る。

6) 配信サーバにおける送信レートは一定とする。但し、
輻輳によるパケット廃棄や配信サーバ内の送信バッフ
ァ満杯などによりクライアント端末が受信するレート
は変動する。

4.3.2 迂回制御アルゴリズムの提案

(1) 手順1

4.1節の手順に従い収集したAS間経路と各経路で
利用可能な帯域情報をもとに、各経路毎に予め迂回経
路を選択しておく。

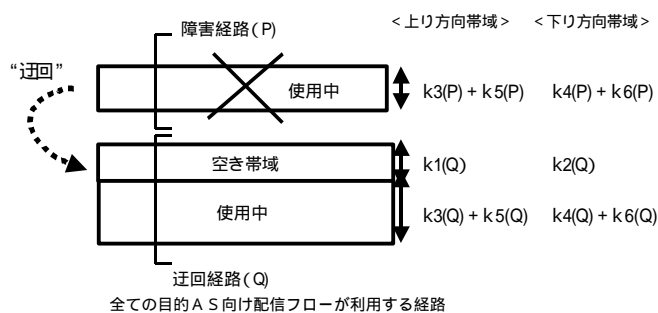
(2) 手順2

3章で述べた手順に従って、クライアント端末内の
再生用パケット量を監視することにより品質劣化予兆
を検出し、4.2節で提案した手順に従って障害経路を
特定する。

(3) 手順3

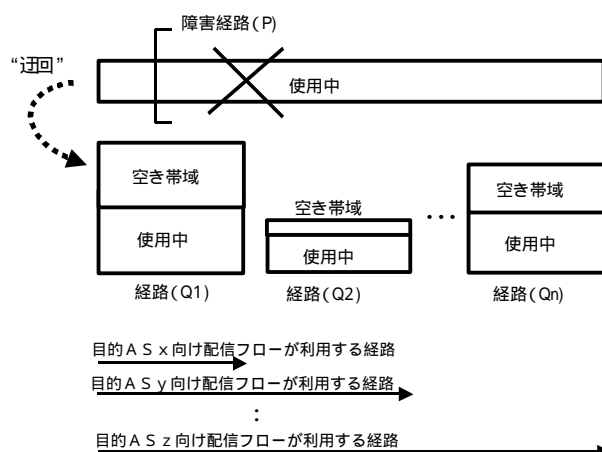
BGPプロトコルによる障害通知は時間がかかり、
それを期待しているとその間に再生用パケットがクラ
イアント端末に届かず結果として再生用パケットが枯
渇してしまう。そのため、経路障害時にBGPによる
新経路確立を待つのではなく、予め経路毎に決められ
た迂回経路で転送するポリシールーティングを採用す
る。品質劣化予兆を検出した直後に、ポリシールーテ
ィングを用いて障害経路を通っていた配信フローパケ
ットを迂回経路を通して転送する。

この時にどの配信フローをどれだけ迂回させるかを図
8のモデルを使って以下に説明する。



* 障害経路を通して転送されていた配信フローは、目的ASに関係
なく全て経路Q（物理的には複数のノード、回線を経由していること
もある）を迂回して転送される。

<ケース1> 迂回経路が1つの経路から構成される場合



* 障害経路Pを通して転送されていた配信フローが全て経路Qnま
で使用して迂回されるわけではなく、目的AS毎にQ2まで、Q
3までというように決まる。

<ケース2> 迂回経路が複数の経路から構成される場合

図8 経路障害時の迂回制御アルゴリズムの説明図

<迂回フローの算出アルゴリズム>

【1】迂回経路が1つの経路から構成される場合（図8の
ケース1に対応）

以下の分析を上り方向、下り方向で別々に行い、迂回
できる配信フローのトータル量が多くなる方向の結果を
採用する。なお、 $k_j(Q)$ は迂回経路Qの k_j 値（ $j = 1 \sim 6$ ）
、 $k_j(P)$ は障害経路Pの k_j 値（ $j = 1 \sim 6$ ）を示すものとする。

1) 上り方向の分析

・ $k_1(Q) > k_3(P)$ ならば、経路Pを流れていた
全ての優先フローを経路Qに迂回。経路Pを流れていた
{ $k_1(Q) - k_3(P)$ } 分の非優先フローを経路Qに迂

回させる。経路Pを流れていた残り $\{k_5(P) - (k_1(Q) - k_3(P))\}$ 分(この値が負になる場合は残り0とみなす)の非優先フローの packets は廃棄する。
 $\cdot \{k_1(Q) + k_5(Q) - k_3(P) - k_1(Q)\}$ ならば、経路Pを流れていた全ての優先フローは経路Qに迂回させる。経路Pを流れていた全ての非優先フローの packets は廃棄する。
 $\cdot k_3(P) > \{k_1(Q) + k_5(Q)\}$ ならば、 $\{k_3(P) - (k_1(Q) + k_5(Q))\}$ 分の優先フローを経路Qに迂回させる。経路Pを流れていた残りの優先フロー、経路Pおよび経路Qを流れていた全ての非優先フロー、に対応する packets を廃棄する。
 \cdot 障害経路Pを流れていた配信フローには、目的ASが異なる配信フローが混在している。そのため、迂回経路Qに全ての配信フローを迂回できない場合、もともと経路Pを流れていた‘目的AS別配信フローの量に比例’して迂回させるものとする(図9(1)に一例を示す)。さらに、これは優先フローと非優先フロー別々に算出する。

2) 下り方向の分析

$\cdot k_2(Q) > k_4(P)$ ならば、経路Pを流れていた全ての優先フローを経路Qに迂回。経路Pを流れていた $\{k_2(Q) - k_4(P)\}$ 分の非優先フローを経路Qに迂回させる。経路Pを流れていた残り $\{k_6(P) - (k_2(Q) - k_4(P))\}$ 分(この値が負になる場合は残り0とみなす)の非優先フローの packets は廃棄する。
 $\cdot \{k_2(Q) + k_6(Q) - k_4(P) - k_2(Q)\}$ ならば、経路Pを流れていた全ての優先フローは経路Qに迂回させる。経路Pを流れていた全ての非優先フローの packets は廃棄する。
 $\cdot k_4(P) > \{k_2(Q) + k_6(Q)\}$ ならば、 $\{k_4(P) - (k_2(Q) + k_6(Q))\}$ 分の優先フローを経路Qに迂回させる。経路Pを流れていた残りの優先フロー、経路Pおよび経路Qを流れていた全ての非優先フロー、に対応する packets を廃棄する。
 \cdot 迂回経路Qに全ての配信フローを迂回できない場合の対処は上り方向と同じである。

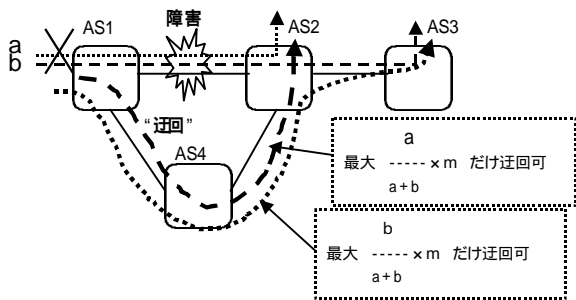
【II】迂回経路が複数の経路から構成される場合(図8のケース2に対応)

もっとも下流の(配信サーバから遠い)経路 Q_n から順次上記【I】で示したアルゴリズムに従って転送可能な配信フローの量を算出し、上流の経路 $Q_{(n-1)}$ における転送可能配信フローの量の算出に反映させる。例えば、経路 $Q_{(n-1)}$ だけを対象に上記【I】に従って算出した転送可能フロー量が F_1 となった場合、これが経路 Q_n で転送可能なフロー量 F_2 に比べて大きい時には経路 Q_n を通る配信フローの最大を F_2 に制限し、その差分 $(F_1 - F_2)$ を経路 Q_n を利用しない配信フロー用に振り分けることになる。逆に、 F_2 が F_1 に比べて大きい場合は、 Q_n を流れる最大配信フロー量は F_1 となる(図9(2)に一例を示す)。

同じ手順を迂回経路の最上流経路 Q_1 になるまで繰り返すことにより、どの目的AS向け配信フローをどこまで転送することができるか決定できる。なお、【II】のケースでは、下流の経路に帯域制限があるために上流の経路の帯域が空いているにもかかわらず有効に使われないことが起こり得る。

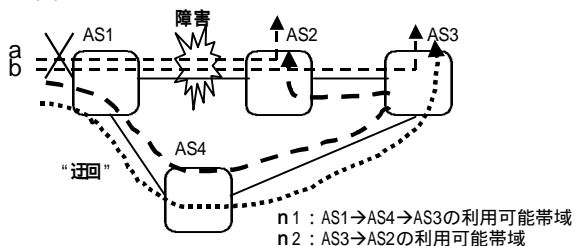
4.3.3 制御システム構成

4.3.2 節で提案した迂回制御アルゴリズムを実現するためのシステム構成を図10に示す。具体的には、配信フロー毎にTCPフローをリアルタイムに監視し品質劣化予兆を検出する「品質監視装置」、AS間経路と各経路の帯域利用状況を把握するための「ネットワークポート解析装置」、迂回できない配信フローの packets を



a : AS2向け配信フローの量, b : AS3向け配信フローの量
m : AS1→AS4→AS2の利用可能帯域

(1) 障害経路を流れていた場合と同じ比率で迂回できる場合

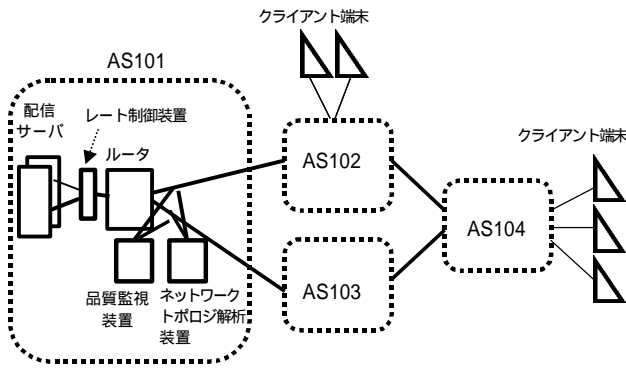


$\left[\frac{a}{a+b} \times n1 \right] > n2$ ならば、AS1→AS2配信フローは最大 $n2$ だけ迂回させ、
AS1→AS2→AS3配信フローは最大 $(n1 - n2)$ だけ迂回可能となる。

<参考> $\left[\frac{b}{a+b} \times n1 \right] < (n1 - n2)$

(2) 障害経路を流れていた場合と同じ比率で迂回できない場合

図9 迂回時の配信フロー振り分け比率の考え方



< 外付け装置の機能 >

- ・「ネットワークポロジ解析装置」: BGP更新メッセージをリアルタイムにモニタリングし、AS間経路と各経路の帯域利用状況を抽出。
- ・「品質監視装置」: 配信サーバとクライアント端末間のTCPフローをモニタリングし、各クライアント端末内の再生用パケット量を推定。
- ・「レート制御装置」: 経路障害時に、障害経路を通して転送していた配信フローで迂回できない配信フローのパケットを選択廃棄。

図10 迂回制御方式を実現するためのシステム構成

廃棄する「レート制御装置」を、配信サーバが設置されているAS内に設置する。既存配信サーバ、ネットワーク装置ならびにクライアント端末への影響をなくすため、これら装置は外付け装置の形態で設置する。

また、レート制御装置への動作指示ならびに該当ルータへのポリシールーティング起動指示は、ネットワークポロジ解析装置が行うものとする。

5. シミュレーション評価

本章では、4章で提案した迂回制御アルゴリズムの有効性を実機を使ったシミュレーションにより評価する。

5.1 前提条件

(1) シミュレーションで用いるネットワーク構成を図11に示す。配信サーバ、ネットワークポロジ解析装置、品質監視装置、レート制御装置はAS101に設置される。AS101に収容されている配信サーバからAS101→AS102経由でAS102に収容されているクライアント端末#4、#5にストリーミング配信パケットを転送する。また、AS101→AS103→AS104経由でAS104に収容されているクライアント端末#1、#2、#3にストリーミング配信パケットを転送する。クライアント端末#1、#2、#4向けの配信フローを優先フロー、それ以外のクライアント端末向け配信フローを非優先フローとする。

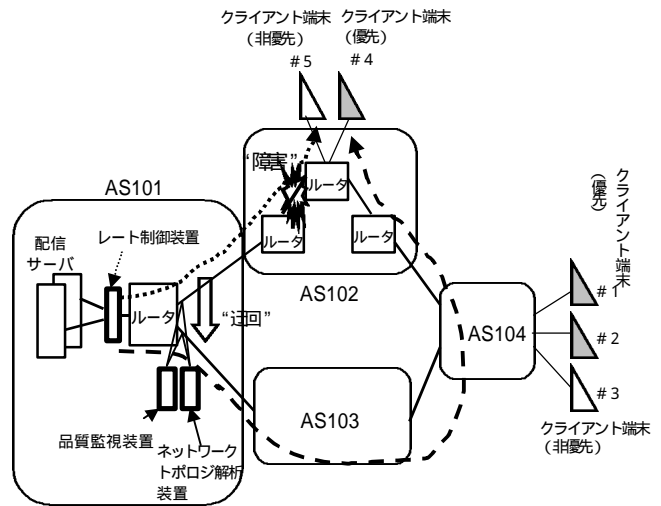


図11 シミュレーションで用いたネットワーク構成

(2) 映像配信はMPEG4、制御プロトコルはRTSP¹⁷⁾を前提とする。映像レートは1Mビット/秒の固定レートとする。

(3) 配信サーバ、ルータ、クライアント端末は全て実機を使用する。各ルータはe-BGPを起動し、ホールドタイムは12秒に設定する。

品質監視装置、ネットワークポロジ解析装置、レート制御装置はそれぞれパソコンで実現する。

(4) 各クライアント端末内で再生開始前に蓄積するパケットは5秒分(Xに対応)、品質劣化予兆と判断する再生用パケット量は3.5秒分(W₀に対応)、品質劣化と判断する再生用パケット量は2.5秒分(Yに対応)とする。これらは全クライアント端末で共通とする。

(5) 配信サーバならびにクライアント端末のTCP最大ウィンドウサイズは65,535バイト、1パケットサイズは最大1,500バイトとする。

(6) 障害発生前のAS間帯域として以下を想定する。なお、単位は全て〔ビット/秒〕。

- ・ AS101 - AS102間のAS間帯域値
k1 : 1M, k2 : 2.8M, k3 : 1M, k4 : 0.1M, k5 : 1M, k6 : 0.1M
- ・ AS101 - AS103間のAS間帯域値
k1 : 2M, k2 : 4.8M, k3 : 2M, k4 : 0.1M, k5 : 1M, k6 : 0.1M
- ・ AS103 - AS104間のAS間帯域値
k1 : 0.5M, k2 : 3.3M, k3 : 2M, k4 : 0.1M, k5 : 1M, k6 : 0.1M
- ・ AS103 - AS104間のAS間帯域値
k1 : 3M, k2 : 3M, k3 : 0M, k4 : 0M,

k5 : 0 M , k6 : 0 M

(7) AS102内の回線障害発生により、経路AS101→AS102が障害になるものとする。

5.2 シミュレーション結果と評価

4章で提案した迂回制御アルゴリズムを実施しない場合の特性と実施した場合の特性をそれぞれ図12~図14に示す。なお、スループットは配信サーバからクライアント端末に正しく届いた情報をビット/秒で表わしたものである(再送分は含まない)。

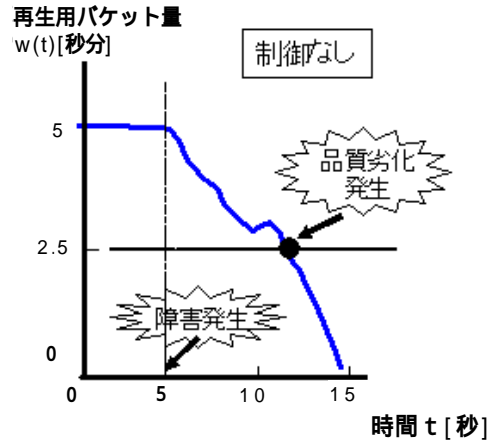
BGPを用いた新経路(AS103経由)確立に10秒以上かかるため、迂回制御アルゴリズムを実施しない図12の例では障害経路を利用して優先フロー(クライアント端末#4向け)でも段々と再生用パケットがなくなり劣化を回避できないことがわかる。

図13では、障害経路を利用して優先フロー(クライアント端末#4)は障害発生後約1秒程度でポリシールーティングにより新経路を経由して転送され、再生用パケット量が $Y (= 2.5 \text{ 秒分})$ を下回らずに $X (= 5 \text{ 秒分})$ まで回復していることがわかる。図13(2)で迂回制御実施後に急激にスループットが増加しているのは以下の理由によるものと考えられる。つまり、配信サーバ内では障害によりパケットの転送がうまくできないため、TCPバッファ内にパケットが蓄積された状態になる。そして、迂回によりTCP転送が可能になった時点で蓄積されていたパケットが一気に送信される。

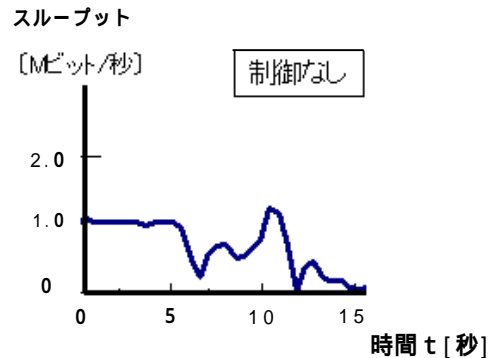
ところで、経路AS101→AS102の優先フロー(端末#4向け)を経路AS101→AS103→AS104→AS102に迂回させると、経路AS103→AS104間の帯域総計が物理帯域3.5Mを超えることになる。しかし、もともと経路AS101→AS103→AS104で転送されていたクライアント端末#3向けパケット(非優先フロー)がレート制御装置で選択廃棄されることにより、クライアント端末#4向けパケット転送が確保され、結果としてクライアント端末#4内の再生用パケット数が一定値以下になることを防いでいる。逆に、クライアント端末#3向けのパケット受信は減少し、結果として品質劣化してしまうことが図14(1)により理解できる。

なお、クライアント端末#5向けパケットは4.3.2節で提案した迂回制御アルゴリズムに従い、レート制御装置で廃棄される。

以上から、4章で提案した迂回制御アルゴリズムは有効に機能し、経路障害時に優先フローの品質劣化を事前に回避できることがわかる。



(1) クライアント端末#4(優先)内の再生用パケット量

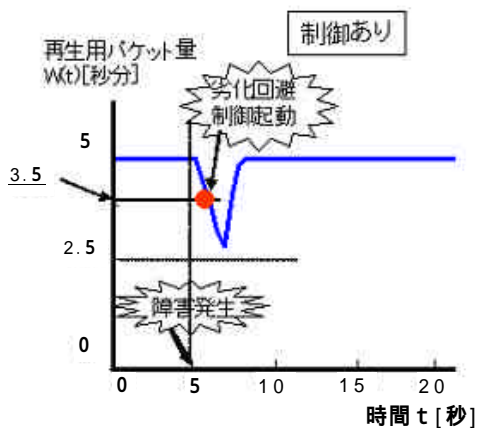


(2) クライアント端末#4(優先)フローのスループット

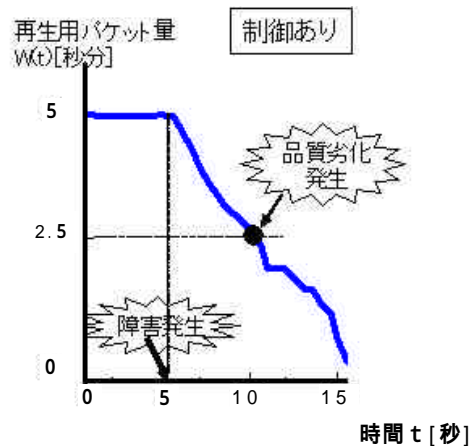
図12 シミュレーション結果(迂回制御なし)

6. むすび

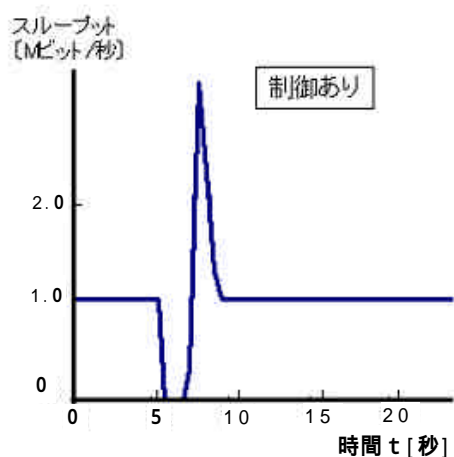
本論文では、TCPベースのストリーミング配信を対象に、クライアント端末内バッファに蓄積される再生用パケット量により品質劣化の予兆を検出し、品質劣化を事前に回避する迂回制御方式を提案した。具体的には、送信レートを動的に変更する従来方式では対応できない経路障害を対象に、複数のクライアント端末内再生用パケット量を分析することにより障害経路を特定し、その障害経路を経由して転送していた配信フローを品質劣化させずに迂回させるための迂回制御アルゴリズムを提案した。そのために、BGPプロトコルに隣接AS間の帯域利用状況を通知し合うためのパス属性“AS間帯域”を新たに導入することを提案した。さらに、実機を用いたシミュレーションにより提案方式の有効性を明らかにした。



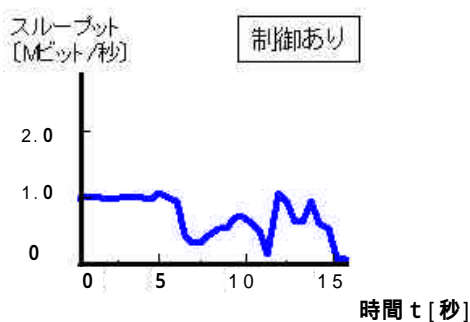
(1) クライアント端末#4(優先)内の再生用バケット量



(1) クライアント端末#3(非優先)内の再生用バケット量



(2) クライアント端末#4(優先)フローのスループット



(2) クライアント端末#3(非優先)フローのスループット

図 14 シミュレーション結果(迂回制御あり)

図 13 シミュレーション結果(迂回制御あり)

今後の課題を以下に述べる。

- 1) 配信サーバが複数のASに設置された場合、ならびに迂回先経路が複数存在する場合の迂回制御アルゴリズムの検討が必要である。
- 2) データサービス (Web アクセス, ファイル転送など) や VoIP などと帯域を共用する形態での品質劣化予兆検出技術と劣化事前回避アルゴリズムの確立が必要である。
- 3) 数万加入以上の大規模システムにおいて、少ない情報収集で効率良く障害箇所を特定化する方法の検討が必要である。
- 4) 品質劣化箇所として本論文では経路障害を対象とした。実際のストリーミング配信サービスシステムは、配信サーバ, ネットワーク, アクセス回線, クライアント端末など複数のコンポーネントから構成され, 様々な障害ならびに輻輳を考慮した特定法の検討が必要である。この場合, サーバ, ネットワー

ク, クライアント端末を個々にみるのではなく, システム全体をみた真の原因特定を行う必要がある。例えば, ネットワークが混み合っているからといって, ネットワークの帯域を安易に大きくすると逆に配信サーバが混み合って品質が劣化する可能性もある。この場合, ネットワークに接続するストリーミング配信フローの数または映像レートを削減する必要がある。

参考文献

- [1] Zamora, J., Jacobs, S., Eleftheriadis, A., Chang, S. F. and Anastassiou, D.: A Practical methodology for guaranteeing quality of service for video-on-demand, IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology., Vol.10, No.1, pp.167-178 (2000)
- [2] 岩崎 量, 間 伸一, 渡部 優, 柳本 清, 片山 頼明: 通信ネットワーク利用放送における視聴品質測定装置構成法の検討”, 情報処理学会全国大会原稿 (2004.3)
- [3] 加藤 由花, 佐々木 徹, 箱崎 勝也: IP ネットワー

- クでの映像配信サービスを対象とした利用者指向 QoS 制御手法の提案, 情報処理学会論文誌 Vol.44, No.3, pp.561-569 (2003)
- [4] 富永 聡子, 中島 伊佐美: サーバ送出パケットを用いた映像配信サービス品質管理法の検討, 電子情報通信学会 信学技報 NS2002 - 176 (2002.11)
- [5] Y. Nagafuchi, K. Yanagimoto, N. Takagi and S. Kuribayashi : Perceptual video quality management system for streaming media distribution, APCC2003 (2003).
- [6] 高木 伸郎, 永淵 幸雄, 柳本 清, 栗林 伸一: ストリーミング配信における視聴品質情報管理システム(LSS-SQM), NTT R & D Vol.52, No.1, 2003.
- [7] 詫摩 武永, 広野 正巳, 松田正之, 馬杉 正男: IP ネットワーク輻輳時における映像ストリーミング品質変動検出法の検討, 電子情報通信学会 信学技報 NS2002-298 (2003-03)
- [8] C. Huang, L. Xu : SRC : Stable Rate Control for Streaming Media, GLOBECOM2003.
- [9] Pai-Hsiang HSIAO, H.T.Kung and Koan-Sin TAN : Streaming video over TCP with receiver-based delay control, IEICE Trans., Commun., Vol.E86-B , No.2, pp.572-584.
- [10] 尾上 裕子, 荻野 浩明, 渥美 幸雄, 高橋 修, 駒木 寛隆, 串田 高幸, 山内 長承: マルチメディアストリーミング配信サーバにおけるネットワーク情報活用型レート制御方式, 情報処理学会論文誌 Vol.44 , No.3 , pp.625-636 (2003.3)
- [11] 永淵 幸雄, 柳本 清, 森下 幸治, 栗林 伸一: ストリーミング配信サービスにおける品質劣化検出方式の提案, 電子情報通信学会 信学技報 IN2003-48 (2003.7)
- [12] RFC1349 (Type of service in the internet protocol suite), RFC2474(Definition of the differentiated services field in the IPv4 and IPv6 headers)
- [13] RFC1771 (A border gateway protocol 4), RFC1966, RFC2283
- [14] 吉田 法茂, 永淵 幸雄, 柳本 清, 渡瀬 順平, 高木 伸郎: ストリーム配信におけるユーザ視聴品質情報を利用した高度ネットワーク制御と新サービスの提案, 電子情報通信学会 信学技報 IN2002-50 (2002.7)
- [15] 廣瀬 洋一, 安部 敦史, 渡瀬 順平, 栗林 伸一: コンテンツ配信網における輻輳制御方式の一検討, 2002 年電子情報通信学会総合大会 B-7-73 (2002.9)
- [16] Kentaro OGAWA, Aki KOBAYASHI, Katsunori YAMAOKA and Yoshinori SAKAI : Distributed QoS control based on fairness of quality for video streaming, IEICE Trans., Commu., Vol.E87-B, No.12, pp.3766-3773 (2004).
- [17] RFC2326 (Real time streaming protocol)