

## アクティブネットワークによる映像メディア QoS 制御方式の構築

原 俊 英<sup>†</sup> 松 井 優 詞<sup>†</sup>  
中 沢 実<sup>†</sup> 服 部 進 実<sup>†</sup>

<sup>†</sup>金沢工業大学工学部情報工学科

〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

E-mail: {hara,matsui,nakazawa,hattori}@infor.kanazawa-it.ac.jp

PC のパフォーマンス向上や、ネットワークリンクの高速・広帯域化によりストリーミング形式による動画・音声の配信サービスが急速に普及している。しかし、現在の IP ネットワークは、依然としてベストエフォート配信を前提としたネットワークアーキテクチャであり、ユーザの品質要求を満たす仕組みは構築されていない。そこで本稿では、RTP ストリーミングにおける RTCP フィードバック情報を中継ノードで取得し、リアルタイムかつ適応的にストリームセッションに必要なネットワークリソースの割り当てを実現する手法に関する実装方式ならびに、その評価について述べる。

キーワード アクティブネットワーク、マルチメディア QoS 制御、RTP ストリーミング、RTCP フィードバック

## The Construction of Streaming Media QoS Control Mechanism by Active Network

Toshihide Hara,<sup>†</sup> Yuji Matsui,<sup>†</sup> Minoru Nakazawa<sup>†</sup>  
and Shimmi Hattori<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Information Engineering, Kanazawa Institute of Technology  
7-1 Ohgigaoka, Nonouchi-machi, Ishikawa-gun, Ishikawa 921-8501, Japan.

E-mail: {hara,matsui,nakazawa,hattori}@infor.kanazawa-it.ac.jp

In recent years, distribution service of the image and sound by streaming data has spread due to the high speed and broadband network link and higher performance of PC. However, the current IP network is still continued to be the network architecture of best effort distribution. As a result, it has not fully supported to satisfy user demands. In this paper, we propose that RTCP feedback information in RTP streaming is acquired by the repeating router node. By this structure, allocation of real time and adaptive a network resource for streaming session has been realized, implementing and evaluating active nodes.

Key Words Active Networks, multimedia QoS control, RTP streaming, RTCP feedback

## 1. はじめに

PCのパフォーマンス向上や、ネットワークリンクの高速・広帯域化により、ストリーミング形式による動画・音声の配信が急速に普及してきている。しかし、現在のIPネットワークは依然としてベストエフォート配信を前提としており、受動的な制御により管理されるネットワークアーキテクチャであり、そのためユーザの品質要求を満たすには至っていないのが現状である。

我々は以前、MPEGビデオストリーミングにおけるQoS制御方式として、MPEGが持つデータ特性であるピクチャタイプに基づいた、パケットの差別化による転送制御についてアクティブネットワークのカプセル方式を用いて構築し、その評価を行い、データ配送系に関するカプセル方式でのQoS制御の有効性を検証している。<sup>[4][5]</sup>

本稿においては、制御系データのアクティブネットワークでの利用について検討し、RTPストリーミングにおけるRTCPフィードバック情報を中継ノードで取得し、リアルタイムかつ適応的にストリームセッションに必要なネットワークリソースを割り当てる手法について、アクティブネットワークのプログラマブルスイッチ方式に基づく実装方式の構築と評価を行った。本方式により、ネットワーク変動に対して動的な適応制御を実現することができる。

## 2. RTP ストリーミング

RTP(Real-time Transport Protocol)はマルチメディアデータの配信をサポートするために開発された、データストリーム型のトランスポートプロトコルであり、RTCP(Real-time Transport Control Protocol)との組から構成される。<sup>[6]</sup> RTPはUDPの上位プロトコルとして動作し、時間を厳守した配信やサービスの品質を保証するメカニズムはなく、下位層のネットワークの信頼性を考慮していない。

また、RTCPはRTPのデータ配送を制御するためのプロトコルであり、クライアントから定期的に受信サービス品質状況をフィードバックし、この情報をもとにサーバサイドにおいて送信するデータ量を適応的に制御できる。RTCPには主に4つの機能があるが、今回使用したのはクライアントからサーバへフィードバックされる情報(Receiver Report)のみであり、その情報について

次に示す。

### Fraction lost (欠落割合)

欠落したRTPデータパケットの割合。欠落したパケット数を受信想定数で除算して得る。

### Cumulative number of packets lost (欠落パケットの累積数)

受信開始以来、RTPデータパケットで欠落したパケットの累積数。

### Inter-arrival Jitter (到着間ジッタ)

RTPデータパケットの到着間時間の統計的変動。タイムスタンプの単位で測定し、符号なし整数で表示する。

## 3. システム構成

### 3.1 システム概要

RTPストリーミングにおけるRTCPフィードバック情報(Receiver Report)を中継ノード上で取得することにより、End-to-Endでのネットワーク状態に加え自身ノード上でのネットワーク状態の2つの情報を利用することができる。これらの情報からストリーミングセッションの品質劣化をリアルタイムに検知し、動的に適応制御することが可能となる。本システムにおけるアクティブノードは以下に示す機能を持つ中継ノードである。

- ・ ユーザ要求をアプリケーション層からネットワーク層へ伝達
- ・ RTCPフィードバック情報の取得
- ・ スクリプトからWFQへのアクセス
- ・ 隣接ノードとの協調動作

### 3.2 アクティブノード

図1に示すように、アクティブノードには従来のUDP/IPスタック内のIP層、データリンク層に実装した各モジュールに対して、アプリケーション層からのアクセスを実現する機構を実装した。各モジュールの実装は、FreeBSD3.2-ReleaseとFreeBSD4.1-Releaseのカーネルソースコード内に行った。

アクティブノードは図1の下線で示される各モジュールから構成される。

#### Session Manager

複数のRTPストリーミングの統括管理を行うために、次に挙げる情報をセッション管理データ

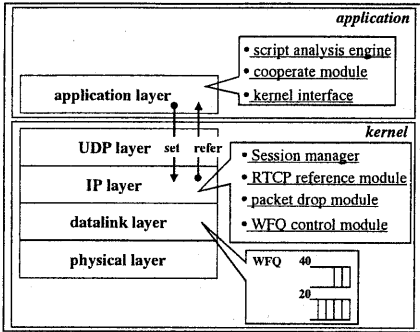


図 1: アクティブノード階層構成

ベース(Session Database)に保持する。

- ・ RTP ストリーミングサーバ
  - IP アドレス
  - RTP ストリーム送信ポート番号
  - RTCP 受信ポート番号
- ・ RTP ストリームクライアント
  - IP アドレス
  - RTP ストリーム受信ポート番号
  - RTCP 送信ポート番号

これらの情報から、RTP ストリームセッションとユーザスクリプトを対応させ、ストリーム開始からの品質情報の管理を行う。

図 2 に示されるフロー状態データベース(Flow Database)には、各ストリームセッションに関するストリームサービス開始からのパケットレベルでの品質情報が格納される。これらの情報はリンク層に実装される WFO による取得情報であり、次に示す情報が管理される。

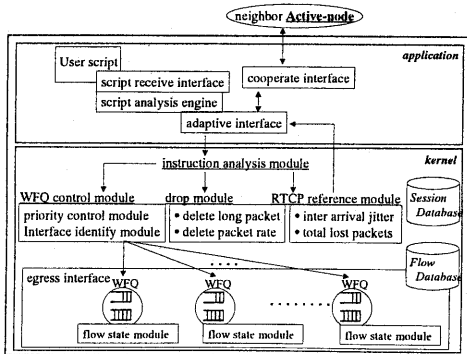


図 2: アクティブノードシステム構成

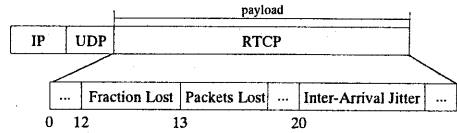


図 3: RTCP フィードバック情報参照

- ・ 送信パケット数, 送信パケットサイズ累積値
- ・ 破棄パケット数, 破棄パケットサイズ累積値

これらの情報はスクリプトからの要求により参照される。

また、前述したようにアクティブノードには RTP ストリーミングの際に、クライアントからサーバに対してフィードバックされる RTCP 情報を参照する機構を実装した。その機構により取得できる情報を以下に示す。

- ・ 欠落割合(Fraction Lost)
- ・ 欠落パケットの累積数(Cumulative number of packets lost)
- ・ 到着間ジッタ(Inter-arrival Jitter)

これらの情報取得のために、図 3 に示すように UDP ヘッダ終了位置からのインデックス指定をスクリプト内から行い、RTCP パケットから必要情報を抽出する。この機構は他のパケットフォーマットに関しても応用可能である。

### 3.3 協調動作

アクティブノードは隣接ノードとの協調により、従来の End-to-End ではなくホップ単位レベルでの QoS 最適化の実現をはかる。実験として、ストリーム配送における輻輳制御を行った。

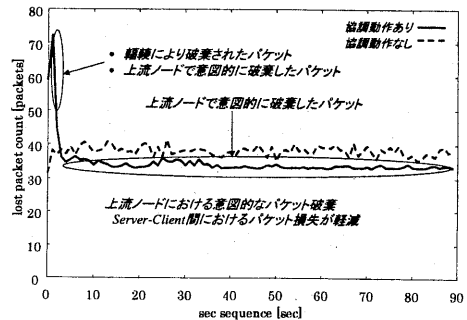


図 4: 協調動作の有無によるパケット損失の比較

図 4 に示したのは、あるアクティブノードで輻輳が発生した際に、上流に隣接するノードに対して、ストリームセッションのペケットを特定レートで間引く処理を行った場合、Server-Client 間でのペケット損失数である。制御開始直後には、上流ノードで意図的に破棄されたペケットと、下流ノードで輻輳により破棄されたペケットが存在するため、一時的に損失数は増加している。しかし、意図的な破棄により時間とともに、下流ノードでの輻輳が軽減され、Server-Client 間でのペケット損失が減少しているのが分かる。このように、アクティブノード間での協調動作によって、Server-Client 間におけるペケット損失の軽減の実現を確認した。

#### 4. 評価

本システムの有効性を検証するために、実験ネットワーク上で実メディアデータのストリーミングによる評価を行った。

##### 4.1 実験環境

実験環境として図 5 に示すネットワークを構築した。AN2 の入力リンクは 100[Mbps]、他のリンクは 10[Mbps]である。

実験に際して、図 6 に示すスクリプトを AN2 に配送した。図 6 に示すスクリプトは、周期的にフィードバックされる RTCP フィードバック間でのペケット損失が一定の値(adaptive\_value)を超えた場合に、WFQ に対してフローの優先度を上げる命令を実行するものである。この制御により、ストリーミングの品質の劣化をリアルタイムに検出し、ストリームセッションに必要なネットワークリソースを適応的に割り当てている。

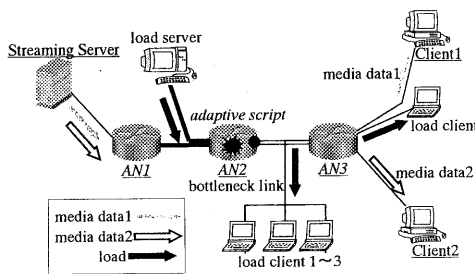


図 5: 実験環境

```

value adaptive_value; // 5, 10, 20, 50, 100
value old_rtcp_packets_lost;
value rtcp_packets_lost;
value sub_rtcp_packets_lost;
value total_rtcp_packets_lost;
$set_streamingServer_ip();
$set_streamingServer_rtcp_port();
$set_streamingClient_ip();
$set_streamingClient_rtcp_port();

while(1){
    rtcp_packets_lost = $get_rtcp_packets_lost();
    if(#rtcp_packets_lost > #old_drop_packets){
        sub_rtcp_packets_lost =
            #rtcp_packets_lost - #old_rtcp_packets_lost;
        total_rtcp_packets_lost += #sub_rtcp_packets_lost;
        if(#sub_rtcp_packets_lost > adaptive_value)
            $wfq_inc_priority(10);
    }
    old_rtcp_packets_lost = #rtcp_packets_lost;
    timer(1000); //1 秒停止
}

```

図 6: 実験に使用した適応制御スクリプト

実験では、適応制御の有効性を検証するために、スループットに変動のある Quick Time movie を使用した。2 種類の Quick Time movie に関するストリームセッションを、1 台のストリーミングサーバから 2 台のクライアントへ配送している。同時に、1 台の負荷サーバから 4 台の負荷クライアントへ表 1 に示すパラメータで負荷ストリームを送信し、AN2 の出力リンクで輻輳を発生させている。輻輳に対して、適応的にネットワークリソースを割り当てることが本実験の目的である。

表 1: 負荷ストリームパラメータ

宛先	パラメータ	転送レート
load client1	1.4[KB]×50[ms]×30	2.4[Mbps]
load client2	1.4[KB]×50[ms]×30	2.4[Mbps]
load client3	1.4[KB]×50[ms]×30	2.4[Mbps]
load client4	1.4[KB]×50[ms]×30	2.4[Mbps]

#### 4.2 取得データ

AN2 の出力リンクで取得したデータからスループット, 相対遅延の累積, 損失率の評価を行う。

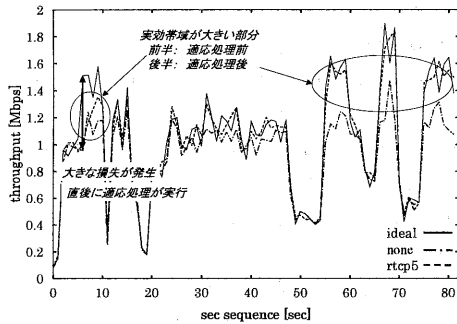


図 7: スループット

図 7 にメディアデータ 1 の配送におけるスループットを示した。図中の ideal は負荷ストリーマなしの状態であり, このメディアデータに関する理想のスループットである。適応制御を行っていない場合(none)は, ストリーム配送開始から終了まで, 特にスループットが大きいポイントにおいて理想値との差が大きくなっている。rtcp5 は, 図 6 スクリプト中の adaptive value に 5 を設定した際のデータであり, 大きな損失が発生した直後に適応処理が実行され, 以降は理想のスループットに近づいていくのが分かる。

図 8 に相対遅延の累積に関するデータを示した。rtcp の後に示す数字は前述した通りである。理想値は x 軸と同様になり, 値が大きくなるほど遅延が累積していくことになる。制御を行っていない場合(none)は遅延が積算していく傾向が見られる。一方, 適応制御を行った場合には, 遅延が積算していく傾向は見られず, 一定の値まで抑制されているのが分かる。

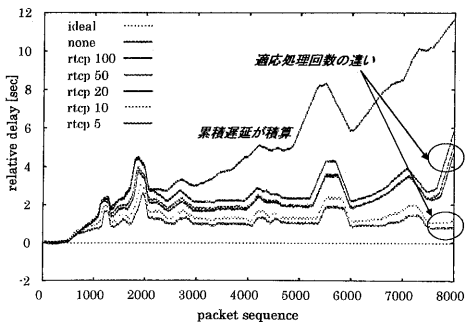


図 8: 相対遅延の累積

表 2: 適応制御の有無による損失率

value	rtcp5	rtcp10	rtcp20	rtcp50	rtcp100
制御なし	14.08%	13.34%	13.58%	16.48%	12.39%
制御あり	1.53%	1.74%	2.15%	5.22%	6.41%

表 3: 適応制御の有無による損失率

value	rtcp5	rtcp10	rtcp20	rtcp50	rtcp100
制御なし	24.64%	23.54%	23.88%	23.64%	25.07%
制御あり	3.10%	4.04%	6.81%	8.64%	9.94%

表 2, 表 3 に実験におけるメディアデータ 1 の配送, メディアデータ 2 の配送におけるパケット損失率を示す。

適応制御を行った場合は, パケット損失が大きく改善されているのが分かる。また, パラメータの設定により, 損失率は変動することが分かる。これは, 設定するパラメータにより適応制御が実行されるタイミングに差が発生するためである。損失率だけではなく, 他のデータに関しても同様のことがいえる。

#### 5. マルチキャストへの適用

RTP ストリーミングのマルチキャスト配送では, クライアントからの RTCP フィードバックが多くのネットワークリソースを消費してしまうことが想定される。そこで, アクティブノード上での RTCP フィードバックの効果的な使用と, 集約化を行うことでネットワークの最適化を実現する。図 9 に示すようにアクティブノードを, ACN(Active Core Node)と AEN(Active Edge Node)の 2 種類に機能分散した中継ノードとして定義する。

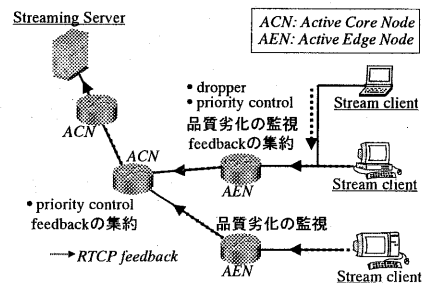


図 9: マルチキャストへの適用

### Active Edge Node

AENでは、マルチキャストストリームセッションにおける品質劣化を監視し、RTCP フィードバック情報の集約化を行う。また、適応制御としてフローに関する優先度の制御と、dropper によるクライアント端末パフォーマンスを考慮した品質制御を行う。

品質劣化情報の集約化は、ユーザ数と品質劣化の2つの情報をもとに行う。

### 品質劣化情報のみによる集約

- ・ 複数クライアントからの品質劣化情報に関して、異なる情報を取得した場合には、劣化の激しい情報を上位のノードに対してフォワードする
- ・ 複数クライアントからの品質劣化情報に関して劣化が検出されなければ、フィードバックパケットはその時点で破棄する

### Active Core Node

ACNでは、AENから送信されるRTCPフィードバック情報のさらなる集約と適応制御を行う。品質劣化の監視に関しては、前述したようにAENのみが行い、ACNでは下流のAENから送信されてきた情報に関してのみ集約を行う。

このように、AENとACNに機能分散することにより、ACNにおけるオーバーヘッドを軽減させ、本システムの実用的配置の実現性を高めた。

## 6. まとめ

本システムを使用することにより、RTPストリーミングに必要なネットワークリソースを、ネットワーク変動に対して適応的に確保することを実現した。今回の実験では、QuickTime movieによる評価を行ったが、他のメディアストリームに関しても同様な効果が期待できる。

以前提案したカプセル方式を用いたMPEGビデオストリームのQoS制御方式の構築による、配送系データへのアクティブネットワークの適用に関しての有効性の検証に続いて、今回は制御系データにおけるアクティブネットワークへの適用による有効性についても検証し、アクティブネットワークアーキテクチャの有効利用について示した。

## 参考文献

- [1] David L. Tennenhouse, David J. Wetherall, "Towards an Active Network Architecture", IEEE, Jan 1996
- [2] H.Schulzrinne et. al., "RTP A Transport Protocol for Real-Time Applications", Network Working Group, RFC 1889, Jan 1996
- [3] Kenjiro Cho, "A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers", In Proceedings of USENIX 1998, Jun 1998
- [4] 原俊英,中西慶薫,中沢実,服部進実,"アクティブノードによるユーザ適応型ネットワークの構築" DICOMO2000 シンポジウム pp.337-342, Jun 2000
- [5] 中西慶薫,原俊英,中沢実,服部進実,"スクリプトパケットによる MPEG ビデオストリームのQoS 制御方式" DICOMO2000 シンポジウム pp.439-444, Jun 2000