

## 中間ネットワーク情報を用いた ワイヤレスストリーミング QoS 制御

駒木 寛隆<sup>†</sup> 村尾 高秋<sup>†</sup> 串田 高幸<sup>†</sup>  
尾上 裕子<sup>‡</sup> 萩野 浩明<sup>‡</sup> 石川 太朗<sup>‡</sup> 稲村 浩<sup>‡</sup>  
山内 長承<sup>††</sup>

<sup>†</sup>日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

<sup>‡</sup>株式会社 NTT ドコモ マルチメディア研究所

<sup>††</sup>東邦大学理学部情報科学科

E-mail: <sup>†</sup> hkomaki@jp.ibm.com

### あらまし

一般に無線区間は有線区間と異なる固有の伝送特性を持っている。このため、無線区間を経由してリアルタイムにマルチメディアデータ配信を行う場合、QoS (Quality of Service) の観点から、無線区間の通信状況に応じてマルチメディアデータの送出方法を制御していく必要がある。本稿では無線区間の通信状況に関する情報取得をどのように行うかについて着目し、まず、End-to-End 方式の情報取得の問題点について論じる。そして、基地局と交信して無線区間の情報を取得しサーバへフィードバックする中間ノードを導入したアーキテクチャを提案する。W-CDMA のネットワーク環境のエミュレータを用いた定量的評価により提案方式を検証し、簡単なメカニズムで十分信頼性の高いデータを取得することができることを示す。

### キーワード

モバイル・マルチメディア, ワイヤレス・ストリーミング, QoS 制御, W-CDMA

## A QoS Control for Wireless Streaming with Intermediary Network Information

Hiroataka KOMAKI<sup>†</sup>, Takaaki MURAO<sup>†</sup>, Takayuki KUSHIDA<sup>†</sup>,  
Yuko ONOE<sup>‡</sup>, Hiroaki HAGINO<sup>‡</sup>, Taro ISHIKAWA<sup>‡</sup>,  
Hiroshi INAMURA<sup>‡</sup> and Nagatsugu YAMANOUCHI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> IBM Research, Tokyo Research Laboratory

<sup>‡</sup> Multimedia Laboratories, NTT DoCoMo, Inc.

<sup>††</sup> Dept. Information Science, Toho University

E-mail: <sup>†</sup> hkomaki@jp.ibm.com

### Abstract

When streaming multimedia contents over wireless network, from a viewpoint of the QoS (Quality of Service), it is crucial to estimate the condition of wireless link and to adapt sending bit-rate to it. In this paper, we focus on how to retrieve the information of the wireless network, and we propose a video streaming architecture where an intermediary node which accesses to the base station to get the wireless network information directly is introduced. We first discuss the End-to-End retrieval of the condition of wireless link, and then we describe how we implemented the newly introduced architecture. Experimental results using a network simulator are also described.

### Key words

Mobile Multimedia, Wireless Streaming, QoS Control, W-CDMA

## 1. はじめに

最近、W-CDMA(Wideband CDMA)サービス開始や無線 LAN(IEEE 802.11x)の普及により、モバイル無線通信のブロードバンド化が進んでいる。一方、有線のインターネット上では動画ストリーミング配信を含むマルチメディアアプリケーション・サービスが急速に進展している。このような状況を鑑みると、近い将来、無線区間を経由したモバイル端末向けのマルチメディアデータ配信サービスに対する高い要求が想定される。

一般に無線区間は有線区間と異なる固有の伝送特性を持っている。具体的には、無線区間では帯域・遅延の変動が大きく、パケットロスの分布特性が有線区間と異なっている。このため、無線区間を経由してリアルタイムにマルチメディアデータ配信を行う場合、QoS(Quality of Service)の観点から、無線区間の通信状況に関する情報を取得し、それに応じてマルチメディアデータの送出方法を制御していく必要がある。

本稿では無線区間の通信状況に関する情報取得をどのように行うかについて着目する。

無線区間の通信状況に関する情報を取得する方法には次の2つがある。

- 無線区間の通信状況を直接知りうるエンティティに問い合わせ情報を取得する。
- 無線区間を経由した通信を行い、一方が他方に受信品質に関する報告を行うことで、間接的に通信状況を推定する。

前者の方法は無線区間の通信状況に関する情報を早く正確に取得できるという意味では効果的だが、経由するネットワークの変更を要する。一方、後者の方法は両端のエンティティのみが無線区間の情報を取得できるような機構を持てばよく経由するネットワークの変更は不要であるが、無線区間を経由した通信を行う必要があるため遅延が大きくなってしまい、また、制御に有用な情報をすべて正確に推定できるわけではない。

我々は、W-CDMA 区間を経由した動画ストリーミング配信における QoS 制御技術の確立を目指し、図 1 のようなネットワーク環境を想定してシステムの構築・試作を行っている[1-6]。これまで我々が採用していたアーキテクチャでは End-to-End の QoS 制御に着目していたため後者の方法を探っていた。具体的には、クライアント(モバイル端末)が RTP Control Protocol(RTCP)の Receiver Report(RTCP-RR) パケットを定期的にサーバへ送信し、サーバは受信した RTCP-RR

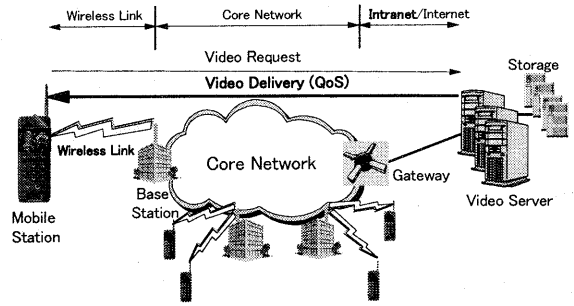


図 1: 想定するネットワーク環境

パケットを用いて無線区間の通信状況を推定していた。

本稿では End-to-End の方法による無線区間の情報取得の問題点について議論する(第 3 章)。そして、基地局と交信して無線区間の情報を取得しサーバへフィードバックする中間ノードを導入したアーキテクチャを提案する(第 4 章)。また、我々は W-CDMA のネットワーク環境のエミュレータを用いてこのアーキテクチャを試作し、無線区間の情報取得という観点で定量的な評価を行った。第 5 章において評価環境と結果について報告を行う。

## 2. 前提

まず、前提知識として、我々のストリーミング配信モデル、RTP プロトコルを整理する。

### 2.1 モデル

インターネット経由で W-CDMA 端末へ動画ストリーミングを配信する場合、動画データは図 1 のようにサーバから有線の Internet/Intranet を経由して無線通信キャリアの内部ネットワーク(コア・ネットワーク)へ入り、基地局より無線区間を経由して W-CDMA 端末へ送られることが想定される。しかしながら本稿では有線の Internet/Intranet、内部ネットワークの動態は考察の対象外とし、図 2 に示すサーバが基地局に直結したモデルにおいて議論を行う。

サーバではタイマーに基づいてストレージからコンテンツデータを取り出し、無線区間の通信状況に関する情報に基づいてコンテンツ・アダプテーションを行い IP/UDP パケットとしてネットワークへ送信する(ここで言う「ネットワーク」はサーバ・クライアント間の通信経路でデータリンク層以下の部分を指すものとする。)ネットワークを経由してクライアントに到達した UDP パケットは、いったん Playback バッファに蓄えられ、タイマーに基づいて再生される。

一般に無線区間の通信は伝送誤りが起こる確率が有

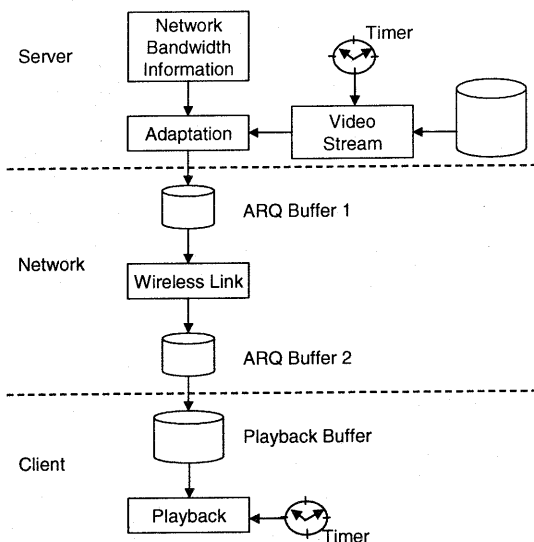


図 2: 想定するストリーミング配信モデル

線網と比べて高い。W-CDMA のパケットによるデータ伝送では、物理層での伝送単位 (Protocol Data Unit: PDU) が失われたときにデータリンク層で再送 (Auto-repeat ReQuest: ARQ) を行うことで伝送誤りを回復する機構が設けられている [7]。W-CDMA 網では再送プロトコルに RLC (Radio Link Control) が用いられている。

「ネットワーク」に送信された IP/UDP パケットは PDU に分割され、図 2 に示す ARQ バッファ 1 に送られる。ARQ バッファ 1 内の PDU はそれぞれ ARQ バッファ 2 で受信が確認されるまで保持される。ARQ バッファ 2 は受信した PDU から IP パケットを復元できるまで受信 PDU を保持し、送信時のパケットの順序を保ちながら IP パケットを組み立てて上位層に渡す。(なお、再送の実行回数には上限が設けられている。) このように無線区間での PDU ロスは再送により保証されていると考えられるので (再送の実行回数に上限が設けられているものの)、「ネットワーク」でのパケットロスは ARQ バッファ 1 の溢れに起因すると考えることができる。

以上のデータリンク層での再送機構は上位層から見るとパケット単位の遅延として観測される [1, 7]。また、PDU ロスのランダム性、RLC プロトコルの特性より、再送機構に起因する遅延は上位層からは細かく変動しているように観察される [1]。さらに、こうしたパケット単位の遅延は実効帯域幅の減少と見ることができ、したがって上位層から実効帯域幅は時定数の小さい激

しい変動をしているように見える [1, 7]。

実効帯域の変動について補足すると、基地局ではユーザの利用数に応じて帯域割り当て制御が行われている。帯域割り当て切り替えが行われると実効帯域は大幅に変化する。

## 2.2 Real-time Transport Protocol

我々の試作したシステムでは、動画ストリーミングデータは IP/UDP 上の Real-time Transport Protocol (RTP) [8] パケットとして転送される。また、RTP パケットの送出制御に利用するため RTP Control Protocol (RTCP) を用いている。RTCP は Sender Report (RTCP-SR)、Receiver Report (RTCP-RR)、Source Description (RTCP-SDS)、Bye Message (RTCP-BYE)、Application Defined Packet (RTCP-APP) の 5 つのメッセージタイプを定義しており、この中で RTCP-RR は

- クライアントが受信した RTP パケットに付与された Sequence No. の最大値
- クライアントが受信できなかったパケット数
- RTCP-SR を受け取ってから RTCP-RR を送信するまでにかかった時間

を含む情報フィールドを持っている。End-to-End 方式ではサーバはこれらの情報を利用して無線区間の状況を推定する。なお、RTCP-APP パケットは新しいアプリケーションにおいて実験的に用いることを意図されたもので、データフィールドを自由に定義できる。

## 3. End-to-End 方式における無線区間の通信状況推定

2.1 で述べたように無線区間では実効帯域が常に変化している。このような系に対し実効帯域以上の送出レートでストリーミングを送出し続けると、ARQ バッファ 1 に溢れが生じパケットロスを起こす。パケットロスはユーザに知覚される動画ストリーミングの品質を大きく損なってしまふ。また、ARQ バッファ 1, 2 の使用量が大きければ大きいほど伝送遅延も大きくなるため、End-to-End 方式の制御におけるフィードバック・ループの遅延が大きくなる。このため、安定したストリーミング配信を行うためには、ARQ バッファ 1, 2 の使用量を安定した適切な値に保つ必要がある。さらに、クライアントの Playback バッファが枯渇するとストリーミングの表示が途切れてしまうため、途切れなくストリーミングを再生できるようにするためには、Playback バッファを溢れなく、かつ枯渇させないよう

にしなければならない。

このように、最善の品質でストリーミングを配信するためには、サーバ側で

- 無線区間の実効帯域
- ARQ バッファ 1,2 の使用量 (以下、これらの合計を「ARQ バッファの使用量」と呼ぶ)
- クライアント Playback バッファ使用量

を推定し、それに応じてストリーミングの送出量を適切に制御することが必要である。

我々はこれまでの研究において、実効帯域、ARQ バッファ使用量について、クライアントから送られる RTCP-RR パケットを用いてこれらの値を推測する方法を採用していた[1,5,6]。また、クライアント Playback バッファ使用量についてはクライアントから直接 RTCP-APP パケットを用いて通知する方法を採用していた。本章では、RTCP-RR パケットを用いた実効帯域、ARQ バッファ使用量の推定方法、およびその利点・問題点について述べる。

### 3.1 通信状況推定法

#### [RTCP-RR を用いた実効帯域推定法]

図 3 に RTCP-RR を用いた実効帯域推定法の概略図を示す。クライアントからサーバへ一定の時間間隔  $t_1$  で RTCP-RR パケットが送られてくるような系において、サーバは次のようにして実効帯域を推定することができる。

サーバがクライアントから続けて 2 つの RTCP-RR パケット RTCP-RR1、RTCP-RR2 を受け取り、それらの Sequence No. の最大値のフィールド値をそれぞれ 1, k, ロスパケット数のフィールド値をそれぞれ Lost1、Lost2 とすると、クライアントが Sequence No. 1 の RTP パケットを受け取ってから Sequence No. k の RTP パケットを受け取るまでの受信レート(実効帯域)の推定値  $R_1$  は次の式で求められる。

$$R_1 = \left\{ \sum_{j=1}^k L_j - (Lost2 - Lost1) \cdot L^* \right\} / t_1$$

ここで  $L_j$  は Sequence No. が j の RTP パケットのサイズをあらわし、サーバはこの値を一時的にバッファしておくものとする。また、 $L^*$  は Sequence No. 1 の RTP パケットから Sequence No. k の RTP パケットまでの間にロスしたパケットのサイズの平均値を現す。

パケットロスがなければ  $R_1$  は次の式で求められる。

$$R_1 = \sum_{j=1}^k L_j / t_1$$

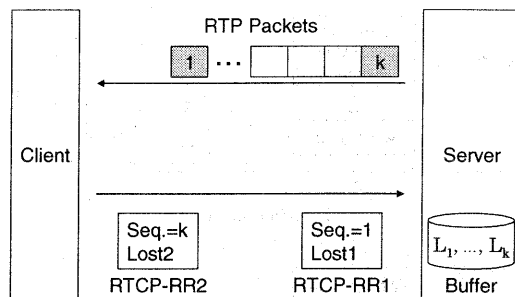


図 3: RTCP-RR を用いた実効帯域推定

#### [RTCP-RR を用いた ARQ バッファ使用量推定法]

[6]において RTCP-RR パケットから ARQ バッファ使用量を推定する方法が2つ議論され、そのうち Round Trip Time(RTT)と ARQ バッファ使用量の相関が高いことがシミュレーション実験によって示されている。そこで、ここでは RTT と ARQ バッファ使用量との相関について背景を整理する。

まず、サーバで RTT を算出する方法を説明する。サーバは定期的に RTCP-SR をクライアントへ送出するが送出時刻  $t_1$  を一時的にバッファしておく。一方、クライアントから送られる RTCP-RR には RTCP-SR を受け取ってから RTCP-RR を送信するまでにかかった時間  $t_2$  のフィールドがあるので RTCP-RR の受信時刻を  $t_2$  とすれば、

$$RTT = t_2 - t_1 - t_D$$

となる。

RTT は主に

- ARQ バッファでの滞留時間  $W_1$
- 上り回線の転送時間  $W_2$

の和と考えることができる。ここでは、上り回線の ARQ バッファにおける滞留時間は無視している。ARQ バッファに滞留している PDU の単位時間当たりの転送量を  $R_N$  とし、その値を一定とすると ARQ バッファ使用量  $B$  は

$$B = R_N \cdot W_1$$

となる。ゆえに、RTT と  $B$  の関係は次のようになる。

$$RTT = \frac{B}{R_N} + W_2$$

上り回線の通信は安定していると仮定すると  $W_2$  は一定となるため RTT と ARQ バッファ使用量は線形の関係にあることが分かる。

### 3.2 End-to-End 方式における無線区間の通信状況推定の問題点

End-to-End 方式により無線区間の通信状況を推定する方法は、既存のネットワークに修正を加える必要がないという利点があるものの、それにより得られる情報は以下の点で問題がある。

#### [実効帯域の推定値]

2.1 で述べたようにデータリンク層よりも上の階層から見た無線区間の実効帯域は時定数の小さい激しい変動をしている。このため、一定時間おきにとった実効帯域の推定値からデータリンク層以下の実効帯域の大局的な変動を読み取ることは困難である。また、上り線の通信状況によって RTCP-RR が紛失すると大きな誤差が生じてしまう。なお、測定データには無線区間の上り回線分の遅延が含まれる。

#### [ARQ バッファ使用量の推定値]

2.1 で述べたように無線区間は有線網と比べて転送時間が大きく、転送時間の変動が激しい。このため、取得した RTT の値は遅延が大きく、どの程度以前の値なのか判定する手段がない。また、ARQ バッファに滞留している PDU の単位時間当たりの転送量は、無線区間の状態により変化する。

## 4. 提案方式の概要

3.2 で述べたように、RTCP-RR を用いて無線区間の通信状況を推定する方法は、誤差・遅延が大きくなることから、ネットワーク状況の適応性に問題がある。そこで、本稿では基地局へアクセスすることで無線区間の通信情報を取得し、サーバに通知する中間ノードを組み込んだアーキテクチャを提案する(図 4)。

基地局と中間ノードとのやり取りは SNMP (Simple Network Management Protocol) を用いて行われる。基地局では無線区間の通信状況が MIB (Management Information Base) の形式で管理され、基地局に存在する SNMP Agent が各 MIB オブジェクトへのアクセス要求・応答処理を司る。中間ノードには SNMP Manager が存在し、定期的に SNMP Agent へ MIB オブジェクトへのアクセス要求を行う。SNMP Agent は SNMP Manager から要求のあった MIB オブジェクトにアクセスし、取得した値を中間ノード内の SNMP Manager へ返す。中間ノードは取得した無線区間の通信状況に関する情報を RTCP-APP パケットを用いてサーバへ送る。サーバはこの情報を用いてストリーミング送出制御を行う。

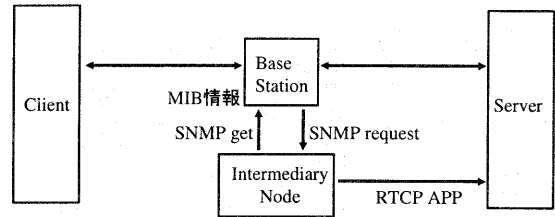


図 4: 中間ノードを組み込んだアーキテクチャ

この方式の特長は無線区間の通信状況に関する情報取得に無線区間を経由しないため、応答性が高く遅延のばらつきが小さい。また、データリンク層以下の通信情報に直接アクセスすることができる基地局に問い合わせを行うため取得値の信頼性が高い。

なお、中間ノードを組み込んだアーキテクチャは、サーバ・クライアント間のセッションを一旦終了する形で中間ノードを設置するプロキシ・タイプと、サーバ・クライアント間の通信に関与しないでネットワークをモニターするモニタリング方式が考えられる。

## 5. End-to-End 方式との定量評価比較

### 5.1 測定環境

我々は提案方式の有効性を定量的に評価するため、W-CDMA のネットワーク環境エミュレータを用いてこのアーキテクチャを試作し、無線区間の通信状況推定に関して End-to-End 方式と比較を行った。図 5 に測定環境を示す。

サーバ・WCDMA エミュレータ間、およびクライアント・WCDMA エミュレータ間でやり取りされるすべてのパケットはネットワークモニタによりキャプチャ・記録される。また、サーバはクライアントからの RTCP-RR パケット及び RTCP Agent からの RTCP-APP パケットを受け取ったときに、時刻とパケットのフィールドの値をログとして記録に残す。なお、サーバ、クライアントは NTP(Network Time Protocol) を用いてネットワークモニタのマシントイムに同期されている。本測定で用いた NTP の同期精度は 2 msec 程度である。なお、WCDMA エミュレータは無線区間での PDU ロスをエミュレートすることができる。

定量評価システムでは RTCP Agent が中間ノードの役割を司る。RTCP Agent は ARQ バッファの使用量、送出した PDU の累積サイズを含む情報を W-CDMA エミュレータから取得し、サーバへ通知する。

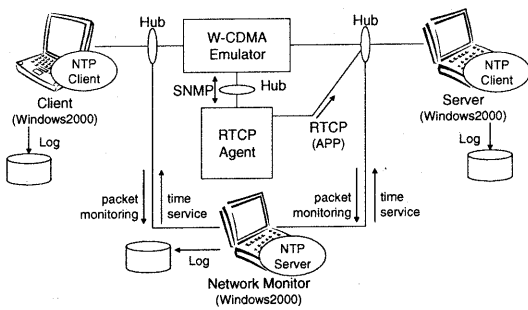


図 5: 定量評価システム構成

測定は MPEG4 でエンコードされた動画データを QoS 制御しているプログラムによりサーバから送っている状態で行った。また、測定の途中で帯域割り当て制御を行い、チャンネルレートを約 1/3 に落とした。

## 5.2 測定結果

図 6 は無線区間の PDU ロス率が高い環境で動画コンテンツが流れている状況において

- RTCP-RR をより算出した RTT 値(水平軸)と、
- 「RTCP Agent から通知される ARQ バッファ使用量」と「RTT より算出される ARQ バッファ使用量の推測値」の差分(垂直軸)

の関係をプロットしたものである。RTCP-SR は 1 秒に 1 回、RTCP-RR は 1 秒に 2 回送っている。なお、RTT はその平均値を 1 として正規化している。また、ARQ バッファ使用量の差分は ARQ バッファの最大容量を 1 として正規化している。図 6 より RTT から求めた ARQ バッファ使用量の推測値は実際の ARQ バッファ使用量に対して広がった分布をしていることが分かる。

図 7 は帯域割り当て制御によりチャンネルレートを 1/3 に変化した時点の前後における、RTCP-APP から求めた実効帯域と RTCP-RR から推測した実効帯域の時間変化を示したものである。End-to-End 方式で求めた実効帯域は RTCP-APP より取得した実効帯域と異なる変動をしていることが分かる。

## 6. 考察

図 6 より、提案手法の基地局にアクセスして ARQ バッファ使用量を求める方法は比較的簡単なメカニズムで無線の特性に依存しない信頼できる値を取得することができるのに対し、RTT より ARQ バッファ使用量を推測する方法は、それにより得られる値が広くばらつくことが分かる。

図 7 より、RTCP-RR より求められる実効帯域の推測

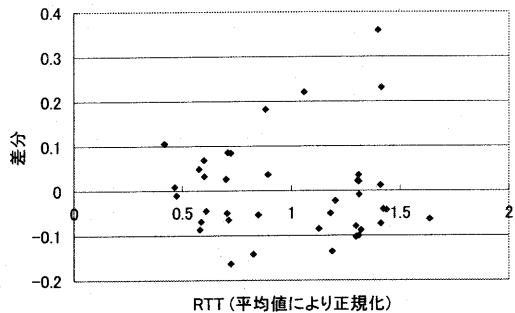


図 6: RTT と「RTT-APP より取得した ARQ バッファ使用量 - RTT より推定した ARQ バッファ使用量」の関係

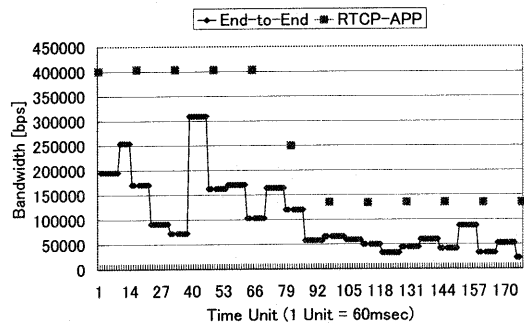


図 7: RTCP-APP より取得した実効帯域と RTCP-RR から推測した実効帯域の時間変化

値は、RTCP-APP より求めた値に対して大きく異なる変動をしているが、これはおそらく RTCP-RR による測定法の問題と考えられる。なぜ RTCP-RR による実効帯域の推測値と RTCP-APP により得られる実効帯域が大きく異なるのか、今後明らかにしていく必要がある。

## 7. まとめ

本稿では無線区間の通信状況に関する情報取得をどのように行うかについて着目し、End-to-End の方法による無線区間の情報取得の問題点について議論を行った。そして、基地局と交信して無線区間の情報を取得しサーバへフィードバックする中間ノードを導入したアーキテクチャを提案した。W-CDMA のネットワーク環境のエミュレータを用いた定量的評価により提案方式を検証し、簡単なメカニズムで十分信頼性の高いデータを取得することができることを確認した。

## 謝辞

本稿の作成において協力して下さった日本 IBM (株) 東京基礎研究所の谷口雅昭氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- [1] 山内, 串田, 富田, 尾上, 渥美, “再送をともなう無線区間を持つインターネットでの動画転送時のバッファ制御,” 情報処理学会 DPS 研究報告, 2001 年 5 月.
- [2] 安木, 渥美, 高橋, 尾上, 黒川, 串田, 富田, 山内, “モバイルストリーミングのための QoS 制御フレームワーク,” DICO2001, 2001 年 6 月.
- [3] 串田, 富田, 黒川, 山内, 尾上, 安木, 渥美, 高橋, “モバイルマルチメディア QoS の構成方式,” DICO2001, 2001 年 6 月.
- [4] 尾上, 安木, 渥美, 威, 村尾, 串田, 山内, “マルチメディアセッション制御プロトコルにおけるモビリティ拡張機能について,” 情報処理学会 MBL 研究報告, 2001 年 9 月.
- [5] 村尾, 谷口, 串田, 萩野, 尾上, 高橋, “ワイヤレス区間を想定したビデオストリーミングシステム,” 情報処理学会 DPS 研究報告, 2001 年 9 月.
- [6] 谷口, 村尾, 串田, 萩野, 安木, 稲村, 山内, “無線環境における帯域幅の予測とマルチメディア・コンテンツの送出力制御,” 情報処理学会 DPS 研究報告, 2001 年 11 月.
- [7] 稲村, 石川, 高橋, “W-CDMA 網での TCP トラフィック特性評価,” MBL 研究報告, 情報処理学会, 2001 年 9 月.
- [8] H.Schulzrinne, S.Casner, R.Frederick and V.Jacobson, “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications,” RFC 1889.