

モバイルワイヤレスマルチメディア QoS 制御方式の評価検討

串田 高幸*, 村尾 高秋*, 谷口 雅昭*, 駒木 寛隆*

尾上 裕子**, 萩野 浩明**, 渥美 幸雄**, 稲村 浩**, 安木 成比古**

山内 長承***

* 日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

** 株式会社NTTドコモ マルチメディア研究所

*** 東邦大学情報科学科

概要

この研究は、モバイルワイヤレスの環境においてマルチメディアストリーミングのサービスを行なう場合に必要となる QoS に関するフレームワークを構築して、それに基づいてシステム開発することを目的としている。このフレームワークでは、モバイルワイヤレスにおいて、マルチメディアストリーミングの配信を行なうときに必要となる QoS 制御を行なうための階層構造を定義する。その階層構造に基づいて、End-to-End においてモバイルワイヤレスのリンクに応じて、動的にマルチメディアの配信を制御する方式について述べる。

Evaluation of mobile multimedia QoS control methods

Takayuki Kushida*, Takaaki Murao*, Masaaki Taniguchi*, Hirotaka Komaki*,

Yuko Onoe**, Hiroaki Hagino**, Yukio Atsumi**, Hiroshi Inamura**, Nalihiko Yasuki**

Nagatsugu Yamanouchi***

*IBM Research, Tokyo Research Laboratory

**Multimedia Laboratories, NTT DoCoMo, Inc.

***Department of Information Science, Toho University

Abstract

There are two issues for the streaming video delivery on the 3G network: one is to change the bandwidth of the data link layer dynamically, and another is to change the connected/disconnected state during the session. The purpose of the study is to create a framework for developing the software which manages these issues on mobile wireless to control QoS parameters among the wireless link, video contents and user's requests. The paper describes several issues on mobile wireless link for multimedia streaming, and proposes techniques which can improve the QoS control on end-to-end path for multimedia streaming to mobile terminals.

はじめに

最近、モバイルワイヤレスにおいてデータの転送レート的高速化が進んできている。例えば、ローカルエリアネットワークでは、IEEE802.11bを使用した無線 LAN が 11Mbps までバンド幅をもっていて企業や家庭だけでなく、ホットスポットとしてネットワークへの接続手段の一つとしても利用されている。また、広域では、移動無線サービスである携帯電話や PHS のデータ通信サービスが、9.6Kbps あるは 64Kbps のバンド幅を提供していて、多くのユーザに利用されている。

これら既存の無線技術に加えて、次世代の広域移動体コンピュータ通信網として、有望な Wideband CDMA (WCDMA) 技術を使った第 3 世代携帯電話サービスがはじまった。このサービスは、当初、384Kbps までのバンド幅をサポートしている。また、技術的には、標準の規格として 2Mbps までのバンド幅をサポートすることが可能になっている。このようにワイヤレスリンクのバンド幅が増大してくると、モバイルワイヤレス環境においても、移動中、常時ブロードバンドサービスを利用することが期待できる。

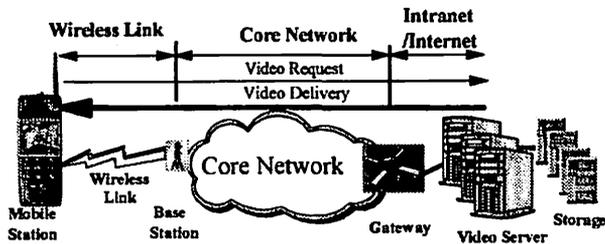


図 1: 前提となる構成

本研究では、第三代携帯電話ネットワークを使用したモバイルワイヤレスの環境が、広い範囲でサービスが可能になったとき、最も有望とされるマルチメディア・ストリーミングのサービスを提供するために必要な基本技術を開発することを目的としている。

ここでは、まず、「バックグラウンド」として、ネットワーク構成とその問題点を明確にする。そして、「機能の拡張」において、今まで行なってきた研究と、その問題点に対処するために我々が提案している拡張機能の技術について述べる。さらに、これらの技術の詳細について議論する。

バックグラウンド

この章では、モバイルワイヤレス環境におけるマルチメディア配送に関する現状とその問題点について、「ワイヤレスリンクの特徴」、「パケット損失及びビットエラー」、「バンド幅の変化」、「輻輳と損失の取り扱い」及び「インターネット・アーキテクチャの限界」にそれぞれ分けて述べていく。

[ワイヤレスリンクの特徴]

図 1 は、本研究において前提となる構成を示している。この図で、ビデオサーバ (Video Server) を使って、モバイル端末 (Wireless Terminal) に対して、ストリーミングビデオを配送するサービスを行なうことを想定する。このサービスを行なう場合、ネットワークの構成は、1. ビデオサーバに接続されたインターネット (Internet/Intranet)、2. ゲートウェイ (Gateway) から基地局 (Base station) までの有線で構築されたコアネットワーク (Core Network)、3. 基地局からモバイル端末までのワイヤレスリンク (Wireless Link) の 3 種類から構成されている。このうち、1. と 2. は、有線を使ったリンクであり、バンド幅も十分にあって安定して QoS を確保することができる。しかし、3. のワイヤレスリン

クは、1. や 2. とは異なり、ワイヤレス特有の性質を持っている。そのため、ワイヤレスリンクでは、十分な QoS を確保することが容易ではない。この詳細について、以下の各項目に分けて述べていく。

[パケット損失及びビットエラー] モバイルワイヤレスでは、通常、ワイヤレスリンクが使われており、このリンクでは、データ転送時にパケット損失やビットエラーが、有線リンクよりも多く、また、常に起こることが報告されている [1]。

このワイヤレスリンクで起こるパケット損失やビットエラーをワイヤレスリンクのデータリンク層において、再送機能あるいは回復機能によって処理せず、そのまま、上位層となるネットワーク層やトランスポート層に知らせる方法がある。このとき、これらのパケット損失を回復させる処理は、上位層において下位層とは独立して行なう。

一方、ワイヤレスリンクで起こるエラーをデータリンク層で処理して回復させる方式がある。この方式では、ワイヤレスリンクでエラーが起こった場合、ワイヤレスリンクに使用されているデータリンク層では、受信側で損傷あるいは損失したデータを同じパケットの再送によって回復するか、あるいは、冗長した情報を送ることで回復させる方式になる。

本研究では、あとに述べたデータリンク層において回復する方式を前提とする。図 2 は、ワイヤレスリンクでの損失と再送の結果が、遅延になることを表している。パケットがワイヤレスリンクで損失した場合、Receiver から再送要求が出され、Sender から同じパケットが再送される。ここで、パケットの損失がないときにかかる転送時間を T_1 とすると、たとえ、ホストでの処理時間が 0 であったとしても、再送の転送時間 T_2 だけ増えるので、もし損失が一回で回復した場合の転送時間は、 $T_1 + T_2$ になる。もし、 n 回同じパケットを送ることで成功した場合、 $T_1 + nT_2$ と通常よりも大きな遅延になる。

バンド幅を B 、転送するデータ量を L 、転送時間 T と定義すると、バンド幅は $B = L/T$ の式で表される。損失がないバンド幅と n 回の損失がある場合、 $B_0 = L/(T_1)$ 、 $B_n = L/(T_1 + nT_2)$ という式で表すことができる。ここで、 $B_n < B_0$ の範囲になる。損失の場合のバンド幅の式を見ればわかるように、再送による遅延の増加すると、実効転送量の減少が起こることがわかる。

[バンド幅の変化] 基地局と端末のワイヤレスリンクでは、基地局の持っているリソースに応じて、

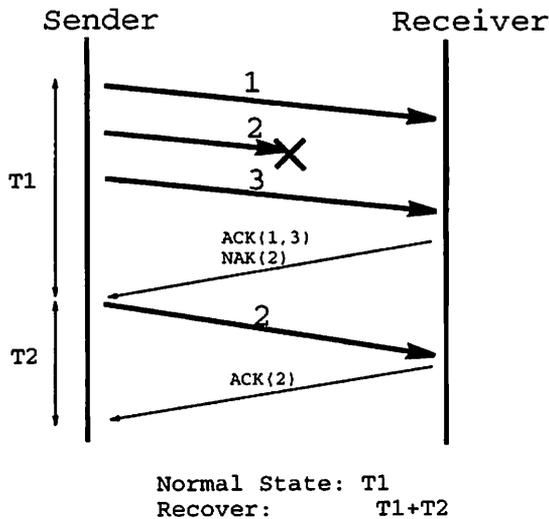


図 2: 再送による遅延時間

各クライアントに割り当てる最高バンド幅を動的に変更する機能を持っていることがわかっている [2]. そのため、このリンクを両端で使うアプリケーションにおいて、利用可能な最大バンド幅の上限も動的に変化する。最大バンド幅、ワイヤレスリンクの特性によって異なるが、このバンド幅は、例えば、PHSであれば、32Kbpsと64Kbpsのように2倍のように大きな変化となる。この基地局からのリソースの配分によって割り当てられるバンド幅の動的な変化は、ワイヤレスリンクに特有な性質である。そのため、End-to-Endで見ると、インターネットの輻輳とはまったく独立して、極端な変化が検出されることになる。

[輻輳と損失の取り扱い] 有線で主に利用されているインターネットにおいて、遅延やパケット損失が起こる主な原因は、途中経路でリンクの輻輳が起っていると想定して、両端のホストでは、途中リンクに対するデータの流量制御を行なっている。一般にインターネットで起っている遅延や損失は、十分に余裕のないリンクへのパケットの過大な流入によって、直前のルータで、パケットのバッファリングや破棄が起こることが主な原因である。また、このときの前提は、有線においては、途中のリンクで使用しているデータリンク層のメディアでのエラー率が低いことが前提になっている。

パケットの遅延と損失が、インターネットとは異なり、輻輳状態とまったく連動せずに起こることが多い無線ネットワークでは、リンクに十分なネットワークリソースがあるにもかかわらず、著しいパ

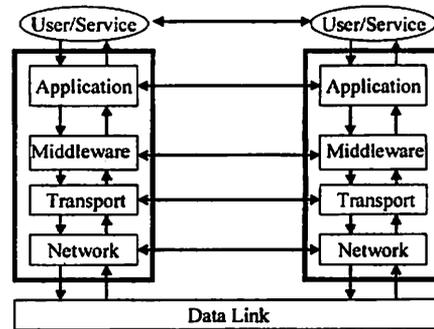


図 3: QoS フレームワークの構成

フォーマンスの低下を引き起こす。

このことから、途中でワイヤレスリンクがある場合は、有線部分でパケット損失が輻輳によって、ゆっくりとした変化で起こっているか、あるいはワイヤレスリンク部分で、パケット損失が不安定にそして突発的に起こっているかについて判定して、それに基づいて End-to-End のホストで処理する必要がある。

機能の拡張

[フレームワーク] インターネットのアーキテクチャをワイヤレスリンクに対して適用する場合、限界があるので、このサービスを提供するため、最初にモバイルワイヤレス環境におけるマルチメディア QoS に関する定義とその体系化を行なって、その結果を報告した [3][4]. 我々が提案しているフレームワークでは、モバイルワイヤレスの環境において、マルチメディア・ストリーミング配信を行なうときに必要な QoS 制御のために、新しい階層構造を導入した。また、その階層構造に基づいて QoS 制御に必要な要素をパラメータ化して制御する手法をとっている。

この研究では、OSI の 7 層とは別に階層構造を図 3 のように定義して、次に各層の層内では、同じ層の内部にある QoS に関連したすべてのパラメータを定義した。その後、各層の層内 QoS パラメータを定義して、それぞれの層を有機的に動作させるため各層の間でやりとりされる層間 QoS パラメータを定義した。この層間 QoS パラメータは、必ずしも層内 QoS パラメータと等しくなるとは限らない。一部の層内 QoS パラメータは、層の内部だけで使用されていて、層間では受け渡しされない QoS パラメータとして定義されている。この層間 QoS パ

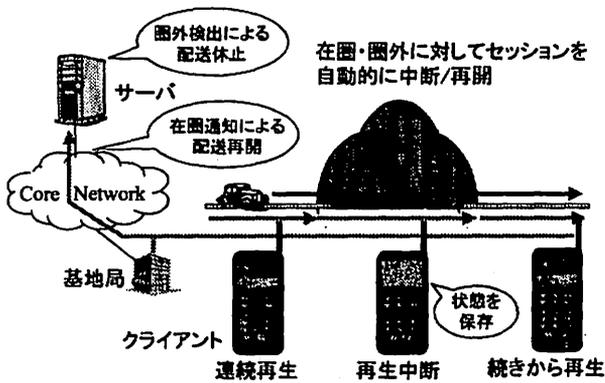


図 4: 拡張モバイルセッション制御

ラメータを使って、上位層と下位層をマッピングすることを行なう。これをパラメータマッピングとして定義した。この一連の定義及びその機能については、すでに報告している [4]。

層内パラメータ及び層間パラメータに加えて、QoS フレームワークの研究では、複数のノード間にまたがって QoS パラメータの交換を定義するため、ネットワークのノード間で交換されるノード間 QoS パラメータを定義している。このノード間のパラメータ交換は、層間 QoS パラメータのサブセットとして定義され、ノード間で使われるプロトコルを使って交換される QoS パラメータを各階層ごとに定義している。

[中断と再開] モバイル通信では、電波の到達状況によってワイヤレスリンクがしばしば中断されることが起こる。図 4 のように、例えば、モバイルユーザーが端末を持ったまま、サービスエリア範囲の外やトンネル内に入ると、電波の到達範囲外（圏外）になるために、セッションが一時的に中断（あるいは切断）されて、その後、再び電波が到達範囲内（在圏）に入るとセッションが再開される。この現象は、ワイヤレスリンクにおいて、よく起こる。一方、有線で利用することを目的に開発されたストリーミングに利用する RTP/RTCP/RTSP プロトコルでは、圏外になるとセッションを閉じてしまうかあるいは、ストリーミングサーバは、途切れたことがわからないまま、パケットを転送し続ける問題がある。また、在圏になると、途切れたセッションは最初スタートさせなければならない。このように現在のストリーミング用プロトコルでは、モバイルの環境において適切な対処ができない。

この状況に対処するために、セッション制御をモバイル用に拡張して、連続性を持たせる機能を付

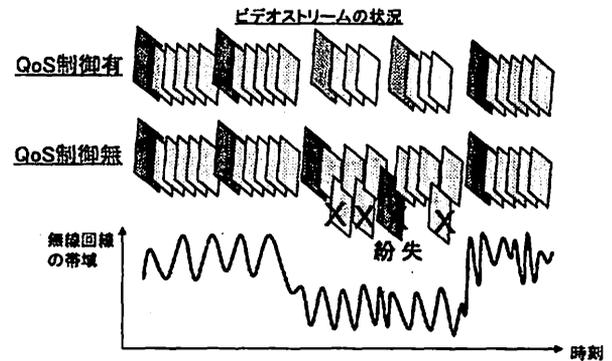


図 5: 動的 QoS 制御

加した [5]。図 4 は、セッション制御の拡張である。この拡張では、RTSP をコマンドのパラメータを拡張することによって、モバイル環境における中断と再開を制御している。このとき、RTSP のサーバは、ワイヤレスリンクの情報をクライアントからの Keep-Alive 信号により判定して、ストリーミングの自動中断と再開を行なっている。

[動的 QoS 制御] 一般にビデオ・ストリーミングのサービスにおいて、ネットワークのデータ転送レートに比べて、ストリーミングの再生レートが遅いと、プレイヤーのバッファにある再生用のストリーミングデータが枯渇してしまう。その結果、プレイヤー（クライアント）において、ストリーミングの表示が途切れてしまう現象が起こる。この現象は、ストリーミング配信を行なっているサービスプロバイダーからみると、サービスの質を下げってしまう問題となる。そのため、マルチメディアのストリーミング配信技術では、プレイヤーにおいて途切れなくストリーミングを再生するために、ある特定の時間間隔において、ネットワークでのデータ転送レートとビデオの再生レートが、平衡して動作させながらバッファ制御を行なう必要がある。

さらに、上記に加えてバッファ枯渇あるいは溢れの基地局バッファの制御を行なうため両端で送出流量の制御をする必要がある。この制御を行なうためには、まず、配信に利用しているクライアントとサーバ間のリンクの特徴を理解する必要がある。そのため、ワイヤレスリンクとバッファ管理に関する研究を行なって報告した [6]。

一方、基地局のバッファ量やワイヤレスリンクの状況は、サーバがワイヤレスリンクとは、直接接続していないため測定することができない。そのため、クライアントからのフィードバック情報によっ

て間接的に見積ることが必要である。間接的に見積る場合、どのようなパラメータをフィードバック情報から計算で得られるかについて報告をした [8]。

また、サーバからのパケットの送出レートを減少させることはできるが、その場合、マルチメディアストリーミングとして有効なデータを送る必要がある。図5は、動的 QoS 制御の方法である。この QoS 制御において、「QoS 制御有」の場合、トランスコーディング機能を組み込んで転送時に柔軟に送出レートを減少させることを実現している [7]。このトランスコーディング機能では、フレーム数を減らすことと、フレームの質を変更することによって、バンド幅が少ないときに、そのバンド幅にあわせたコンテンツレートを作り出すことができる。そのため、ワイヤレスリンクの変動によって、柔軟にサーバから送出するコンテンツを変更して、基地局のバッファ枯渇やオーバーフローを防ぎながら、マルチメディアストリーミングをモバイルデバイスに配信する。

[複数ストリームの切替え制御] ワイヤレスリンクでは、基地局あるいはアクセスポイントで選択され、動的にバンド幅が切替ることがある。例えば、FOMA であれば 64Kbps から 384Kbps、あるいは無線 LAN であれば 5.5Mbps から 11Mbps への切り替わる。この場合、前述のトランスコーディング機能だけでは、対処することが難しい。そのため、フィードバック情報からワイヤレスリンクのバンド幅が大きく変化したときにストリームを適切なビットレートに切替える機能を開発した [9]。図6は、開発した複数ストリームの切替え制御について説明している。この図では、複数のビットレートにエンコードされた「低帯域」、「中帯域」、「広帯域」の三種類のコンテンツをサーバに登録しておき、クライアントからのフィードバック情報によって、随時、これらの切り替えを行なって、適切なビットレートのコンテンツをクライアントに配信することができる。

[再送制御] End-to-End のパスでは、必ずパケット損失が起こる。また、ワイヤレスリンクでは、その状況によって、パケット損失率が、大きくなったり小さくなったり動的に変化している。そこで、RTP/RTCP のプロトコルを拡張して選択的な再送制御機構を開発した [10]。図7は、再送制御を説明している。この図の再送制御では、損失したパケットの再送要求をクライアントからサーバに送って

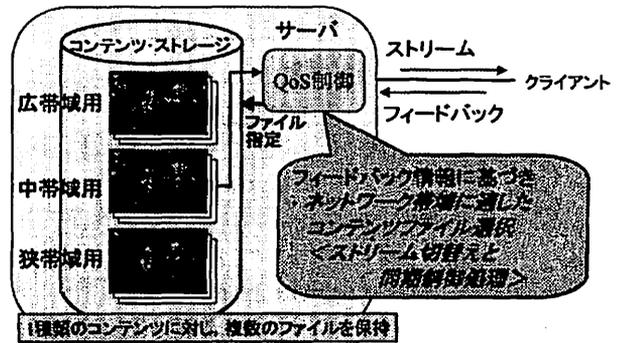


図6: 複数ストリームの切替え制御

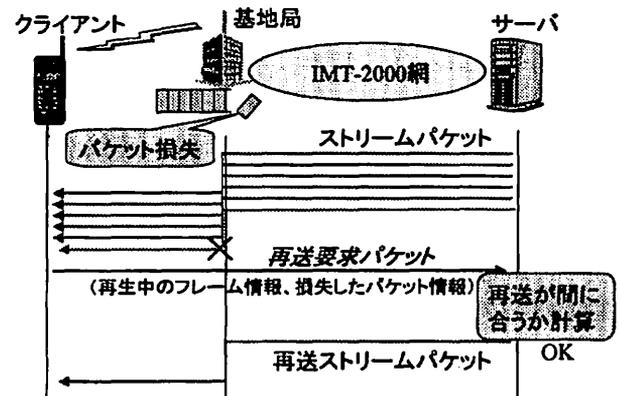


図7: 再送制御

いるが、サーバでは、再送要求について、該当するパケットがプレイヤーの再生時間に間に合うかどうか、周回遅延時間とバッファ量から計算を行なって、その結果によって再送パケットを送るかどうかが決めている。この計算は、現在のクライアントバッファ量、RTT (周回遅延時間) を使っている。再送パケットが間に合うかについて、この計算から判断出して選択的に送ることを決めている。この結果、効率よく限られたバンド幅を使うことができる。

[基地局からのフィードバック制御] End-to-Endでの QoS 制御では、サーバはクライアントのフィードバック情報だけで、今までに述べてきた各種の制御を行なっている。さらに、ネットワーク内部、特にワイヤレスリンクの直前にある基地局からのフィードバック情報を使って制御を行なうことができれば、より適切な制御を行なうことが可能である。

ここでは、基地局が持っている情報をネットワーク管理情報の MIB としてパラメータ化しておき、基地局の近傍において、基地局からの管理情報を SNMP で取得して、RTCP レポートパケットを生成して、サーバに送る方式について報告を行なった

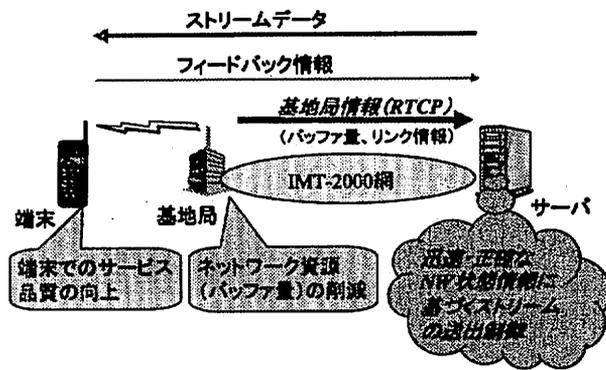


図 8: 基地局からのフィードバック

[11][12]. 図 8 は、基地局からのフィードバックによる効率のよい QoS 制御の方法である。この方式を使うことによって、フィードバック情報にワイヤレスリンクでの遅延がなく、基地局から直接サーバにフィードバックできるため、より素早い制御が可能になる。また、基地局においてワイヤレスのバンド幅、損失率、現在のデータ転送量、あるいは、基地局バッファ量がわかることによって、サーバにおいてより正確な制御を行なうことが可能になる。

おわりに

この研究では、第三代携帯電話網のようなモバイルワイヤレスの環境において、マルチメディアのストリーミング配信を行なう際に問題となる項目を明確にして、その問題に対して、クライアントとサーバで補完するための制御技術を開発について述べてきた。これらの技術は、現在、実装されて評価が行ない、さらに実用化へ向けて調整している。

また、これらの拡張技術は、End-to-End において、サーバとクライアントの拡張を行なうことを前提に開発されている。将来、サーバとクライアントに加えて、中間ノードにおいて、受動的にネットワーク情報を生成するだけでなく、能動的にマルチメディア・ストリーミングのデータを処理する構成が可能であると考えられる。また、モバイルワイヤレスのネットワークも多様化することが予想されるために、マルチメディアストリーミングを複数のモバイルワイヤレスネットワークに対して、ユーザにとって連続的に配信するための技術も必要となってくる。これらの研究項目については、今後の研究テーマとして研究を進めている [13].

参考文献

- [1] D. Chalmers, M. Sloman, "A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments", IEEE Communications Surveys, Second Quarter 1999, pp. 2-10. IEEE, 1999.
- [2] H. Holma and A. Toskala, "WCDMA for UMTS," John-Wiley and Sons, Ltd., 2000.
- [3] 安木成比古, 渥美幸雄, 高橋修, 尾上裕子, 黒川雅人, 串田高幸, 富田アルベルト, 山内長承, "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", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2001) シンポジウム論文集, pp.717-722, June, 2001.
- [4] 串田高幸, 富田アルベルト, 黒川雅人, 山内長承, 尾上裕子, 安木成比古, 渥美幸雄, 高橋修, "モバイルマルチメディア QoS の構成法", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2001) シンポジウム論文集, pp.723-728, June, 2001.
- [5] 尾上裕子, 安木成比古, 渥美幸雄, 威乃しん, 村尾高秋, 串田高幸, 山内長承, "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", 情報処理学会モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会研究報告 18-34, pp. 253-259, Sep., 2001.
- [6] 山内長承, 串田高幸, 富田アルベルト, 尾上裕子, 渥美幸雄, "再送を伴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", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会研究報告 103, pp.37-42, May, 2001.
- [7] 村尾高秋, 谷口雅昭, 串田高幸, 萩野浩明, 尾上裕子, 高橋修, "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", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会研究報告, Sep., 2001.
- [8] 谷口雅昭, 村尾高秋, 串田高幸, 萩野浩明, 安木成比古, 稲村浩, 山内長承, "無線ネットワーク環境における帯幅の予測とマルチメディア・コンテンツの送出量制御", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会研究報告, pp. 65-70, Nov., 2001.
- [9] 萩野浩明, 尾上裕子, 安木成比古, 渥美幸雄, 駒木寛隆, 村尾高秋, 串田高幸, 山内長承, "モバイルストリーミング QoS サーバにおけるファイル切り替え方式", 電子情報通信学会技術研究報告 SST2001-141, pp. 91-98, Mar., 2002.
- [10] 萩野浩明, 尾上裕子, 安木成比古, 渥美幸雄, 駒木寛隆, 村尾高秋, 串田高幸, 山内長承, "マルチメディアストリーミング配信のためのパケット再送制御について", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2002) シンポジウム論文集, July, 2002.
- [11] 駒木寛隆, 村尾高秋, 串田高幸, 尾上裕子, 萩野浩明, 稲村浩, 山内長承, "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", 電子情報通信学会技術研究報告 SST2001-141, Mar., 2002.
- [12] 萩野浩明, 尾上裕子, 安木成比古, 渥美幸雄, 駒木寛隆, 村尾高秋, 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", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2002) シンポジウム論文集, July, 2002.
- [13] 村尾高秋, 駒木寛隆, 萩野浩明, 尾上裕子, 安木成比古, "モバイルワイヤレスネットワーク上での連続したマルチメディア配信のパラダイム", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会研究報告 (109-12), Sep., 2002.