

移動通信環境におけるストリーミングのための 基本構造と機能

渥 美 幸 雄

目 次

1 はじめに	1
2 ストリーミングとプロトコル	1
2.1 ストリーミングとその特徴	1
2.2 ストリーミングに使用するプロトコル	3
2.3 現状の主なプレーヤソフトについて	4
3 移動通信とその特徴	4
3.1 高速な移動通信サービスの状況	4
3.2 移動通信環境の特徴	6
4 QoS 制御のフレームワーク	9
4.1 階層的構造	9
4.2 QoS パラメータとインタフェース	11
5 移動通信環境でのストリーミング制御機能	14
6 おわりに	19
[参考文献]	19

1 はじめに

ADSL, CATV, 光ファイバなどの常時接続のブロードバンド回線の普及^[1]により, インターネットを介した映像や音楽のサービス提供サイトが増加し, その利用も広まっており, 既存の放送メディアとは異なる領域を形成しつつある. ここで使用されるコンテンツの配信技術のことをストリーミングという. ストリーミングとは, 映像や音楽ファイルをサーバからクライアントのコンピュータへダウンロードしながら, クライアント上で再生する配信技術であり, ファイルのダウンロード完了を待つことなく速やかに視聴が可能となる. ストリーミングの提供サイトのコンテンツには, ニュース, スポーツ中継, 映画の予告, コンサート中継, ビデオ・CDの視聴, アニメなどがあり, 無料や有料の形態で, 新しいビジネス機会を生み出すものと考えられている. 例えば, eラーニング, セミナー, マンションの物件紹介などで実際に活用されている.

一方, 移動通信環境は近年, 目覚しく進歩し, 第三代携帯電話 IMT-2000 や無線 LAN により回線速度の高速化が進んでいる. 携帯端末 (携帯電話や PDA) は, いつでもどこでも情報発信や情報提供サーバへのアクセスを可能とする現代社会の基本的な通信手段を提供している. 現状はメールや Web アクセスの利用が中心であるが, 回線速度の高速化と表示の高精細化によりストリーミング技術を利用した各種コンテンツサービスが, 今後, ユーザから要望され普及していくものと考えられる. 移動通信という環境と画面が小さいということを考慮すると, コンテンツとしては比較的短時間 (3~10 分) の視聴を前提としたもの, 例えばニュースやスポーツ映像のダイジェストなどが考えられる. 快適なモバイル・ストリーミングサービスを実現するためには, 移動通信環境を考慮したサービス品質制御 (QoS [Quality of Service] 制御) の技術が必要となる.

本論文では移動通信環境の特性を整理した後, モバイル・ストリーミングのための QoS 制御のフレームワーク (システムモデル) を提案し, 更にモバイル・ストリーミングで必要となる制御機能を明らかにする. 以下, 2 章ではストリーミングの特徴とそこで使用される通信プロトコルを概観し, 次に 3 章にて移動通信サービスの現状と移動通信環境の特徴を整理する. 4 章では, 移動通信環境でのストリーミングを考慮した QoS 制御の基本構造とインタフェースなどからなるフレームワークを提示する. そして 5 章において, 移動通信環境を対象としたストリーミングに必要な制御機能についてまとめる.

2 ストリーミングとプロトコル

2.1 ストリーミングとその特徴

映画等の動画ファイルをサーバからクライアントへ配信し, クライアントで動画ファイルを見る方法には, 図 2.1 に示すようにストリーミング型とダウンロード型がある^[2].

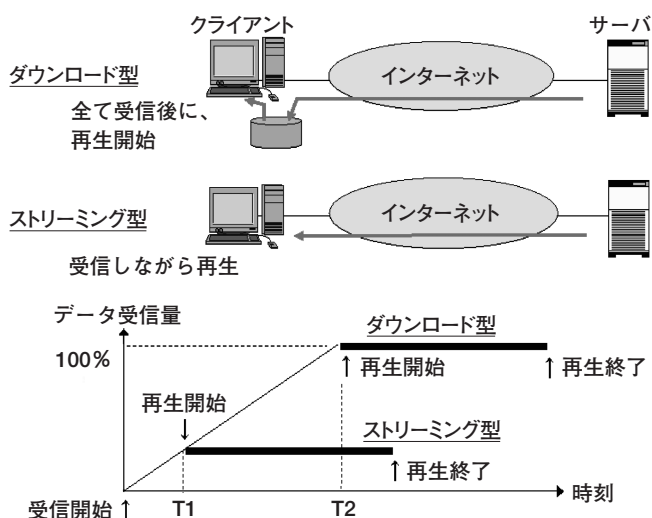


図 2.1 ストリーミング型とダウンロード型

ダウンロード型は、ファイル転送プロトコル (FTP) を用いてサーバからファイルを全てクライアントへダウンロードした後に再生する。ダウンロード型では、ファイルを全てダウンロードしてから再生するため、ファイルサイズが大きい場合には要求してから実際に見るまでに相当な時間を要することになる。また、サーバから配信されるコンテンツがクライアントのディスクに保存されるため、再配布や改ざんなど著作権の問題を生じる恐れがある。

これらのダウンロード型の問題に対処するために生まれた技術が、ストリーミング型の情報配信技術である。すなわち、ストリーミング型では、クライアントにおいて、コンテンツの受信開始とともに再生を開始し、受信しながら再生する。但し、実際には直ぐには再生せず、少しコンテンツを蓄積してから再生を開始する。これはインターネットにおけるパケットの到着遅延時間の変動の影響を回避するためであり、これを吸収できる程度の少しの蓄積を行うのである。また、ストリーミング型では、クライアントにコンテンツを蓄積しないのでメモリ量が少なく済み、これにより基本的にはコピーの防止を図ることができる。但し、コピー防止が完全に行えるわけではなく、配信されたコンテンツを格納するツール類^[注1]も存在する。

また、ダウンロード型において、擬似的にストリーミング相当の機能を実現する、プログレッシブ・ダウンロードと呼ばれる方法がある。本方法は、コンテンツをある程度ダウンロードできたら、再生を開始するものである。ストリーミングとの違いは、配信中に巻き戻しや早送りの操作が出来ないこと、再生開始までの時間が遅いことなどである。

なお、ダウンロード型の技術は、即時に再生を要しない利用形態では有効であり、例えば深夜など利用者がコンテンツを視聴しない時間帯に配信しておくために利用される。

[注1] 例えば、ダウンロード Ninja 2 for Windows (株式会社アイフォー) があるが、その利用は完全に私的目的に限ることは、いうまでもない。

2.2 ストリーミングに使用するプロトコル

ストリーミング情報の配信制御で使用する代表的なプロトコルとして、RTPとRTCP、およびRTSPがあり、その位置付けを図2.2に示す^[3]。

RTP (Real Time Transport Protocol)^[4]は、映像・音声のストリーミングなど、リアルタイムメディア情報を配信するためのトランスポートプロトコルである。リアルタイムメディアの情報転送では映像や音声の再生に際して、パケット配送に伴うネットワーク内での遅延の揺らぎやロスの影響を回避するため、情報の再生時間に関する情報等をパケットに付加して転送する。映像や音声の情報は一部が欠けていても再生できること、また意味ある時間内に届いた情報のみが有効であるため、RTPではTCPと異なりデータ転送の送達確認の保証をしないことが大きな特徴である。なお、本プロトコルはエンドポイントの識別情報を有しておらずトランスポートプロトコルとしては不完全なため、UDP (User Datagram Protocol) を下位層として使用する。

RTCP (Real Time Control Protocol)^[5]はRTPとともに用いられ、RTPによる情報転送を制御するプロトコルであり、送信量の調整等のQoS制御に利用される。例えば、サーバ側はRTPによりストリーミング情報を送信するとともに、これに関する送信パケット数やタイムスタンプ等の送信情報をRTCPのSRメッセージによりクライアント側へ送信する。クライアント側では、ストリーミング情報の受信状況、例えば紛失パケット数やパケット間隔ジッタ等を、RRメッセージでサーバ側へ伝える。即ち、RTPはリアルタイムメディア情報そのものを転送するだけのプロトコルであり、RTCPは受信側の受信状況等、RTPによる情報転送の状況を伝えるためのプロトコルである。

RTSP (Real Time Streaming Protocol) は、ストリーミング情報の配信におけるセッション情報の取得/設定や再生制御を行うプロトコル、いわばビデオをリモートで制御するための機能を提供す

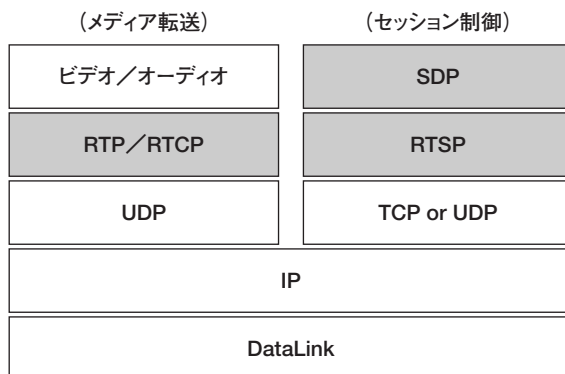


図2.2 ストリーミングのためのプロトコル階層

る。RTSPでは、ストリーミング情報の配信の停止、早送り、巻き戻し、指定した位置からの再生等の制御機能を提供する。

2.3 現状の主なプレーヤソフトについて^{[6][7]}

ブロードバンド回線などの有線を対象として、Windows パソコンなどで使用されているストリーミングの受信ソフトとしては、マイクロソフト社の Windows Media Player^[8]、リアルネットワークス社の RealOne (RealPlayer)^[9]、そしてアップルコンピュータの QuickTime^[10]があるが、現状では前2者が多用されている。

これらのプレーヤソフトは、ブロードバンド回線での高品質再生を狙いとし、いわば遠隔にあるVTRをオンラインで操作して視聴できるものといった機能を実現している。特に、ストリーミングの使い心地をより良くするため、コンテンツ要求後の再生開始時間の短縮を図る機能を各社とも搭載している。ストリーミングの基本的な情報転送方式では、コンテンツのビットレートと同じ帯域を使用するが、時間短縮のため利用可能な帯域を最大限利用して短時間でコンテンツを転送するなどの工夫をしている。Windows Media Playerの「ファストストリーミング」は、即時再生・常時再生を謳い、バッファリング時間を極力少なくし、すぐ再生を開始できるようにする。また、回線速度の許す限り高速に、プレーヤのキャッシュにコンテンツを蓄えることにより、ネットワークの問題で転送が一時的に中断しても再送を出来る限り継続できるようにしている。RealOneの「TurboPlay」は、コンテンツのビットレートより大きい帯域を使用して短時間に送信し、また回線速度を監視して最高速度でのストリーミング再生を実現する。また、QuickTimeの「インスタントオン」も、再生再開までの待ち時間を著しく短縮する機能であり、再生要求や見たい箇所へのジャンプ要求時に有効なものである。

一方、コンテンツの配信制御に使用するプロトコルは、Windows Media Playerでは独自のMMSプロトコル(仕様は未公開のため不明)を基本としRTSPも使用可能であるのに対し、RealOneとQuickTimeではインターネットの標準プロトコルであるRTSPのみを使用する。

3 移動通信とその特徴

3.1 高速な移動通信サービスの状況

本節では、移動通信環境でのストリーミングサービスに関係する移動通信サービスの現状について、急速に利用が伸びている次世代の第三世代携帯電話、通信料金に関するパケットの定額制、そして高速通信を手軽に実現できる無線LANの3つの観点から整理する。

(1) IMT-2000 サービス (第三世代携帯電話)^[11]

1979年のアナログ自動車電話サービスに始まるわが国の移動通信サービスは、1987年には携帯電話サービスが始まり、音声中心の第一世代の移動通信サービスと呼ばれる。第二世代の移動通信サービスは、デジタル方式であるPDC方式により1993年に開始され、音声の他に低速データ通信（～9.6 Kbps）の非電話系サービスも提供されるようになった。

そして移動通信サービスにおけるマルチメディア化への対応として、高速広帯域化（移動時384 Kbps、静止時2 Mbps）などをねらいとした世界的な標準である第三代方式としてIMT-2000（International Mobile Telecommunication）が1999年末に国際電気通信連合（ITU）にて定められた。わが国では2001年10月にNTTドコモがサービス名FOMAとして始めてサービスを開始し、その後2002年4月にはKDDIが、また2002年12月にはボーダフォンがIMT-2000方式による通信サービスを開始した^[12]。

2005年3月末には携帯電話8700万加入のうち3035万加入（35%）を占めるに至っており^[13]、今後数年のうちにIMT-2000方式に移行すると考えられている。現時点では第二世代方式の携帯電話の方が多く、利用者へのサービス性は第三代方式が遥かに優れているので、携帯電話の機種変更および新規加入時に選択する利用者が増えつつある。

(2) パケット定額制

携帯電話によるメールやWebアクセスの利用増大に伴う利用者の料金負担（パケット通信料）は非常に大きなものとなっている。特に、IMT-2000のサービスでは大量情報を容易に転送することが可能となったため、パケットの従量制料金では利用者にとって経済上の理由から有効に活用することができない。このため携帯電話事業者は、有線回線のADSL、CATVインターネット、FTTHのような定額制の料金プランの提供を始めている。2003年11月にはKDDI（au）がCDMA1X WINサービスの料金プランとして「EZフラット」（2004年8月には料金を見直して「ダブル定額」という名称に変更）^[14]を、また2004年6月にはNTTドコモがFOMAの料金プランとして「パケ・ホーダイ」^[15]を導入している。

なお現状では、携帯電話機そのものによるパケット通信の定額制であり、携帯電話をパソコンやPDAに接続してのインターネット利用の形態では、従来どおり従量制である。ただし、パソコンやPDAでのインターネットの利用性を向上するためにパケット料金の割引プランが設けられている。

(3) 無線LANと携帯端末

無線LANは企業、大学、家庭などにおいて、配線問題を気にすることなく高速通信を実現できる手軽な通信手段として広く普及している。また、駅、ホテル、空港など限られたエリアでホットスポットと呼ばれる有料の公衆無線LANサービスや飲食店、カフェなどで提供される無料の無線LAN

表 3.1 主な公衆無線 LAN サービス

事業者	名称	月額料金	アクセス ポイント数
NTT コム	ホットスポット	1680 円	1,300
NTT 西日本	フレッツ・スポット	945 円など	2,200
NTT 東日本	フレッツ・スポット	945 円など	260
NTT BP	無線 LAN 倶楽部	1575 円	236
NTT ドコモ	エムゾーン	2100 円	495
日本テレコム	モバイルポイント	2100 円など	160
ソフトバンク BB とヤフー	ヤフー BB モバイル	当面无料	674

サービスもある。主な公衆無線 LAN サービスの提供状況を表 3.1 に示す^[16]。公衆無線 LAN サービスは 2002 年に開始され、当初は利用できるアクセスポイント（基地局）が大都市圏の主要なホテルや駅、主要国内空港に限られていたが、昨年から今年にかけて NTT 系を中心にアクセスポイントが大幅に増設された。これに伴い契約者数も増加しつつあり、2004 年 3 月末の 4 万 3000 契約から半年後の 9 月末には 7 万 6000 契約の約 1.8 倍となった^[17]。

現在の無線 LAN の規格には、2.4 GHz 帯の電波を使用する IEEE 802.11 b（最高 11 Mbps）と IEEE 802.11 g（最高 54 Mbps）、5.2 GHz 帯の電波を使用する IEEE 802.11 a（最高 54 Mbps）があり、特に IEEE 802.11 b は広く普及している^[18]。無線 LAN の回線速度は公称値 11 Mbps～54 Mbps、実効速度は最高でも半分程度ではあるが、IMT-2000 携帯電話の 384 Kbps に比較すれば 10 倍以上であり、また自設備内なら通信料金を要しないという利点がある。

このため企業などの構内では無線 LAN を、外に出たら携帯電話を利用するといったことが望まれており、無線 LAN 機能付きのノート PC や PDA では、IMT-2000 用のデータカードを挿入することにより可能な状況となっている。一方、NTT ドコモでは 2004 年 11 月に、FOMA/無線 LAN デュアル端末「N 9 0 0 iL」の販売を開始した^[19]。本端末は法人企業向けであり、本端末を含めたシステムは「PASSAGE DUPLETM（パッセージ・デュプレ）」として販売されている。このことから、携帯電話においても、状況に応じて通信回線（IMT-2000 と無線 LAN）を使い分けて利用できる環境が整いつつあると言える。

3.2 移動通信環境の特徴

ストリーミングサービスを移動通信環境においても利用者に快適に提供するためには、サービス品質制御（QoS 制御）を適切に行う必要がある。本論文で対象とする移動通信環境では、(i)無線区間が存在する、(ii)端末（場合によってはサーバ）自体が移動する、という 2 つの特徴を持っており、

これらのネットワーク環境の特徴がサービス品質 (QoS) に与える影響を整理しておく必要がある^[20].

(1) 「無線」であることによる影響

無線通信では、地形、天候、交通、他の通信や電子機器等の影響を受けて、通信品質の変動が大きいという特性がある。具体的には、転送速度、SNR (信号ノイズ比)、パケット損失率が変動する。これらはユーザから見ると、映像や音声のときれや雑音の原因となる。

(a) 転送速度の変動

回線の「転送レート」そのものが変動する。

IMT-2000 では、基地局の持っているリソースと各端末のトラフィック状況に応じて、各端末に割り当てる帯域を変更する機能を持っている^[21]。このためこの無線回線を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。この帯域幅は、例えば、384 Kbps と 64 Kbps のように大きく変化する。そのためエンドの端末やサーバから見ると、インターネットの輻輳とは独立して、極端な帯域の変化が検出されることになる。

また、無線 LAN においても、電波状況が悪化すると、例えば IEEE 802.11 b ならば、11 Mbps→5.5 Mbps→2 Mbps→1 Mbps のようにダウンしていく。PHS であれば、64 Kbps と 32 Kbps のように利用者数の状況により 2 倍も異なる。

(b) SNR の変動

回線の転送レートは変わらなくても、「実質的な転送レート」の変化に直接関係する。これは SNR が一定値以下に下がるとパケット損失率が增大する、というパケット損失率の変動要因ともなっている。

(c) パケット損失率の変動

下位層で発生したパケット損失率の変動が、中位層で「パケット再送回数」の変動要因となり、その結果、上位層での応答時間変動やジッタ要因となる。サービスレベルでは、UDP 系サービスの場合、映像や音声のときれや雑音の原因となり、TCP 系サービスの場合、タイムアウトやセッション断の原因となる。

(2) 「移動」することによる影響

移動しながら利用するという事は、「在圏」や「圏外」といった (無線基地局のカバー範囲内にいるか否か) 通信可否状態の変化、「ハンドオーバー」や「ローミング」といった (他の基地局のカバー範囲に移動する) 通信経路の変更処理が常に発生することを意味している。このような状況が発生すると、通信の遮断と復旧、通信経路の変更により遅延問題、同期問題の原因になる。

(a) 通信の遮断, 復旧

通信を遮断した後, 復旧時に, セッションを継続するか, あるいは新たに設定し直すかの基準を定める必要がある. また, クライアントとサーバのコンテンツにおいて, 再開ポイントの設定など, 同期処理の問題が発生する.

(b) 通信経路の変更

移動にともなって, データリンク層 (MAC レベル) で通信経路の切り替え, あるいはネットワー

表 3.2 移動通信環境の QoS への影響

要因 分類	QoS 要素→ 要因 ・要因起源	転送時間	遅延時間	ジッタ	通信の継続
無線	SNR 変動 ・位置関係 ・他の通信等の影響	・実効転送レート の変動 (AP/IP/L 2)	・応答時間変動 (AP/IP/L 2)	・到達間隔変動 (AP/IP/L 2)	→最悪交信断 (AP/IP/L 2)
	パケットロス変動 ・SNR 変動 ・負荷変動	・実効転送レート の変動 (AP/IP/L 2)	・再送回数変動 (AP/IP/L 2)	・応答時間変動 ・到達間隔変動 (AP/IP/L 2)	→最悪交信断 (AP/IP/L 2)
移動	通信の遮断と復旧 ・ハンドオーバー/ ローミング ・地理的条件の変動	・転送停止期間発 生 (AP/IP/L 2) ・再送多発による 無駄負荷発生 (L 2/IP)	・無応答, 再送多発 による遅延時間の 拡大 (AP/IP/L 2)		・交信の中断 ・中断後継続再開 ・中断後新規接続 (AP/IP/L 2)
	通信経路の変更 ・ハンドオーバー/ ローミング ・MobileIP	・転送停止期間発 生 (AP/IP/L 2)	・変更基地局認識時 間 (L 2) ・ルーティング変更 時間 ・変更 IP アドレス 認識時間 (IP)	・遅延時間ばらつき (AP/IP/L 2)	

[備考] AP: エンドでの見え方, IP: IP 層での見え方, L2: データリンク層での見え方

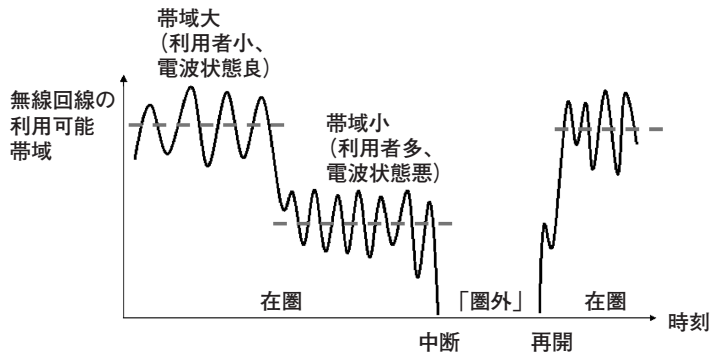


図 3.1 移動通信環境での利用可能帯域の特徴

ク層（IP アドレス）での通信路切り替えが考えられる。この場合、パケットのルーティング変更等、通信経路の切り替えに伴う処理時間や同期のための処理時間によるサービスの不通期間が発生する。

以上について、移動通信環境が及ぼす QoS への影響を表 3.2 に示す。また、モバイル環境での利用可能な通信帯域の特徴を図式化して図 3.1 に示す。

4 QoS 制御のフレームワーク

移動通信環境でのストリーミングでは、無線区間の存在と端末自体の移動という 2 つの特徴を有しており、これを考慮した QoS (Quality of Service) 制御が必要となる^[22]。ここで QoS 制御について「利用者から見て一定品質のサービスを保証する」という原点から見ると、サービスの品質を合理的、統一かつ予測可能な品質として記述できる枠組みが必要である。また、品質を保つために、その品質に影響する要素を抽出し、品質との関係を整理しておく必要がある。そこでモバイル通信環境で、ストリーミング・サービスを実現するのに必要な QoS 制御のために、新たな階層構造を提案する。そして、これに基づき QoS 制御に必要な要素をパラメータとして定義し、パラメータマッピングおよびインタフェースを定めて、QoS 制御のフレームワークを明確にする。

4.1 階層的構造

ストリーミングサービスはコンテンツを配信するサーバと、コンテンツを受信してユーザに提供するクライアントからなり、ユーザが受けるサービス品質はいわゆるエンド-エンド間で考えなければならない。このときの構成を見ると、サーバのアプリケーション、ビデオ・音声の圧縮、ネットワークへの送出、ネットワーク転送、クライアントでのネットワーク受信、ビデオ・音声の伸張復号、ユーザ画面に表示するアプリケーション、のような種々の機能要素を経てサービスが提供される。

これらは全体を図 4.1 に示すような階層的な枠組みで扱うと考えやすい。すなわち、ネットワーク転送を最下層とし、その提供するサービスをネットワーク送出やネットワーク受信の機能要素が受け取り、その上位のビデオ圧縮や伸張の機能要素に提供する。ビデオ圧縮・伸張の機能要素は、ネットワーク送受信から受け取った「トランスポート」というサービスを用いて、「ビデオ・音声のネットワーク転送」という新しいサービスを作り出し、上位のサーバや端末画面表示のアプリケーションに提供する。アプリケーションは、更に上位の最終ユーザ（端末側は利用者、サーバ側はサーバ運用者）に「ビデオ・音声の配送」のサービスを提供する。このようにサービス提供のモデルとして、階層的な枠組みを用いて考えることができる。すなわち、あるサービス提供機能（提供層）は、下位の機能層の提供するサービスを受け、自らは下位層のサービスを利用してサービスを作り出し、上位の

機能層へそのサービスを提供する。この関係の繰返しにより多層的なシステムが構築され、最終ユーザにサービスが提供される。このような階層を用いたモジュラな構成を用いることにより、構造が簡明になるだけでなく、同一層に属する機能の異なるサービスの差し替えや、実装の異なるサービスの差し替えなどを考えることができる。

このような階層構造については、7階層のOSI参照モデル（開放型システム間相互接続基本参照モデル）があり、情報通信ネットワークの各種の技術検討に際してベースとなっている。しかし、移动通信環境のストリーミングサービスにおいては、実際のソフトウェア構成を考慮すると適切ではないので、OSI参照モデルをベースに実装を考慮した階層モデルを定義する。本モデルでは、アプリケーション層、QoS制御層としてのミドルウェア層、トランスポート層、ネットワーク層及びデータリンク層の各層を定義する^[23]。

(1) ユーザ／サービス層

ユーザである使用している人、あるいはアプリケーションが作り出したサービスに関してのQoSを定義する層である。この層では、主にユーザインタフェースあるいはサービスそのものを定義する。

(2) アプリケーション層

ストリーミングのアプリケーションのうち、ビデオコーデックに関係していないアプリケーションに依存した部分に関するQoSを制御するための層である。

(3) ミドルウェア層

各種のアプリケーションプログラムからストリーミングに共通する部分だけを抜き出して別個に制御するための層である。ビデオコーデックは、一般にビデオフォーマットによって違いがあるが、アプリケーションから独立した処理であり、本層に組み込まれるものと定義する。

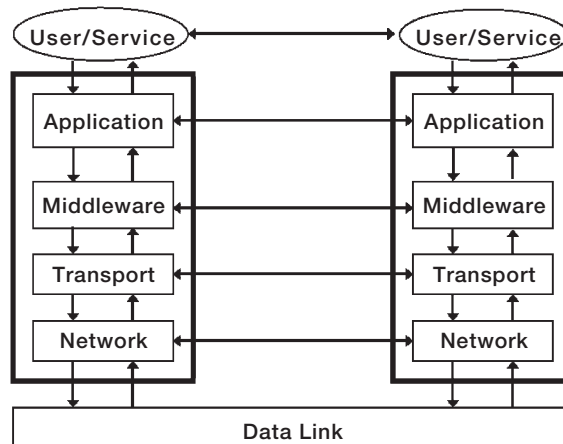


図 4.1 QoS フレームワークの層構成

(4) トランスポート層

OSI 7 層で定義したトランスポート層と同じである。この層は、end-to-end の転送を保証するための層である。

(5) ネットワーク層

OSI 7 層で定義したネットワーク層と同じである。ネットワーク層は、ネットワーク間のパケットの転送あるいは経路制御を管理するための層である。

(6) データリンク層

OSI 7 層で定義したデータリンク層と同じである。データリンク層は、ここではモバイルのデータリンク層を想定する。モバイルのデータリンク層のうち、広帯域のネットワークである IMT-2000 リンク及び無線 LAN リンクを想定する。

4.2 QoS パラメータとインタフェース

QoS の階層構成を考える場合、QoS の記述は具体的な値としてパラメータ化して表現することが必要である。すなわち、下位層から受けるサービスの品質を QoS パラメータの値として表現し、当該層はその下位層から受けた一定品質のサービスをもとにして自らあるレベルの（QoS パラメータとして表現される）品質のサービスを作り出し、上位層へそのサービスを提供する。また、ネットワーク上の分散アプリケーションでは、ノード間でサービス品質の取り決めを行う。

ある層において、下位層から受けたサービスをもとにして、当該層のサービスを作り出して上位層にサービスを提供する場合、当該層から受けるサービスの QoS パラメータをもとにして上位層に提供する（新しい）サービスの QoS パラメータを作らなければならない。例えば、下位層のネットワーク転送機能が提供するサービスの品質がよくない（例：パケット紛失が多い）と、ビデオ・音声の伸張機能のサービスが受信ユーザに対して提供する画像品質も劣化することになる。このとき、転送サービスの提供する品質（本例ではパケット紛失率）とビデオ・音声の伸張サービスの提供する品質（本例では画質）は、まったく異質なものであるが、関連しており何らかの形で変換（マップ）されるものである。一般に、異なる層のサービスの QoS パラメータは異質なものであるが、それらの間を変換する QoS マッピングを定める必要がある。QoS マッピングは一般に単純ではなく、複数のパラメータの組合せを入力としてマップされる場合もある。

以上のことから QoS のパラメータは、次の 3 つに分類することができる^[20]。

- i) 層内のパラメータ
- ii) 層間のパラメータとそのパラメータマッピング
- iii) ノード間で交換するパラメータ

QoS 制御のための各種パラメータの位置付けを図 4.2 に示す。本図において、両端のノードで

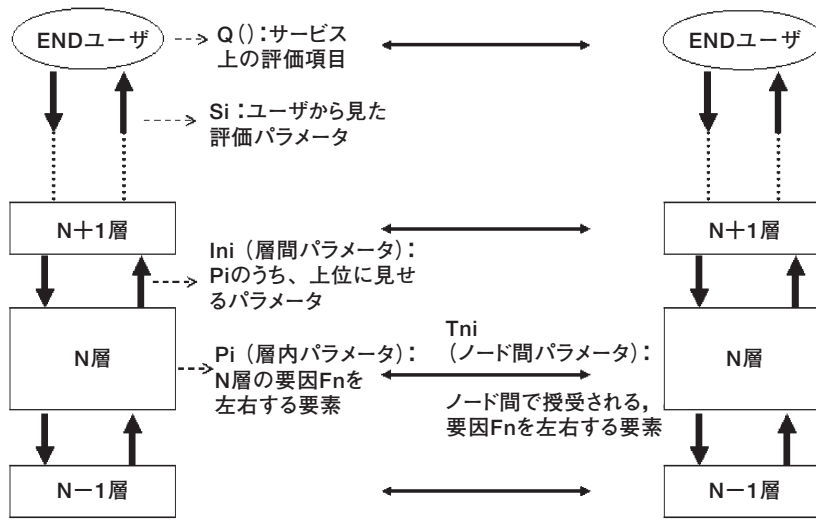


図 4.2 QoSの階層的枠組みとパラメータ

は、エンドユーザからみたユーザ満足度を評価項目とする。ユーザ満足度は、満足度を決定するパラメータの集合体によって決定される。両端のノードは階層構成となっており、例えばN層に注目してみると、N層は、N+1層とN-1層とパラメータの交換を行う。また、N層は相手方のN層ともパラメータの交換を行う。

図 4.2 においてユーザの満足度 Q は、以下のように定義される。

Q : ユーザの満足度 (サービス品質)。

通信品質, 体感速度, コストパフォーマンス, 等を定義している。ユーザによって相当主観的に判定される要素を含んでいる。

・ S_i : 満足度を決定するパラメータ。

転送レート, 遅延, ロス率とそれらの揺らぎ等で決定される。

・ F_n : S_i を決定する N 層内の要因。

層内で起こる遅延やゆらぎなど。

・ P_i : F_n を左右する, 層内の要素。〈層内パラメータ〉

各層における, F_n を発生させる要素。監視時間, 再送方法など。

・ T_{ni} : N 層において, ノード間で授受するパラメータ。〈ノード間パラメータ〉

ノード間の状態通知, 問い合わせ, 要求, ネゴセーション, など。

・ I_{ni} : N 層が N+1 層に見せるインタフェース。〈層間パラメータ〉

コマンドインタフェース, 状態通知インタフェースなど。

なお, 添字 n は N 層の要素であることを示す。また, 添字 i は各要素の複数ある因子のうち代表となる第 i 因子であることを示す。

で行う。

もし、合意の範囲を超えて品質が劣化した場合、③を通してサーバ側に通知して再調整する。その結果、②を通してN+1層に状態を通知して、上位層にQoS制御をゆだねる。また、③は図4.3のN-1層での点線で表示に示すように中継ノードとの間でパラメータを交換することがある。また、実装においては、N層を介さず、N+1層とN-1層の間で直接に制御パラメータを受け渡しする層の飛び越しの手法を使用することもある。

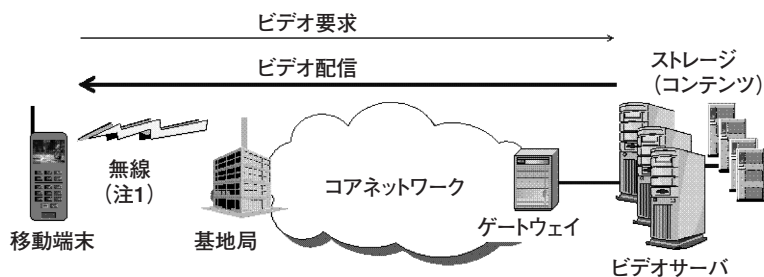
5 移動通信環境でのストリーミング制御機能

本章では、無線と移動という移動通信環境でストリーミングを実現する上で必要となる制御機能を明らかにする。

ここでストリーミングサービスのための前提とするネットワークシステムの全体構成を図5.1に示す。本図において、ビデオサーバから移動端末に対して、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。ネットワークは、ビデオサーバやストレージが接続されたイントラネット、ゲートウェイから無線の基地局までのコアネットワーク、基地局から移動端末までの無線区間(ワイヤレスリンク)の3種類から構成される^[24]。本構成においてイントラネットとコアネットワークの部分は、有線を使ったリンクのため回線帯域幅も十分にあり安定したサービス品質(QoS)を確保することができる。しかし、無線区間はそれらとは異なり、無線特有の性質を持っているため、十分なQoSを確保することが容易ではない。

(1) 動的 QoS 制御

ストリーミングサービスにおいて、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速いと、クライアント(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、表示が途切れてしまう現象が起こる。そこでクライアントにおいて途切れなくストリーミ



(注1) IMT-2000、無線LAN
(備考) 対象ビデオ:MPEG-4規格(移動通信向け符号化)

図5.1 ストリーミングサービスのシステム構成

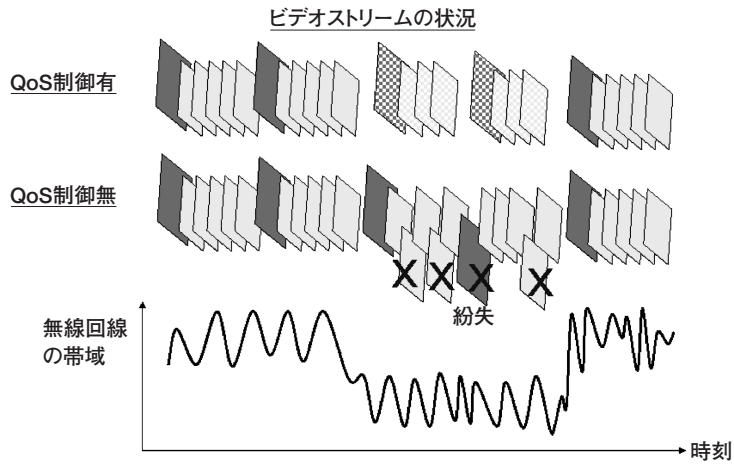


図 5.2 動的 QoS 制御の意味

ングを再生するため、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、平衡して動作するようなバッファ制御を行なう必要がある。また、ネットワーク内の中継ノードでバッファ枯渇あるいは溢れが生じないように、サーバの送出流量の制御をする必要がある。

以上のことから、クライアント端末でストリーミング情報を適切に再生するため、時々刻々と変化する回線状況、即ち利用可能な帯域に合わせて、サーバにおいて送出レートを適切に調整する動的な QoS 制御を行う（図 5.2）。

(2) 再送制御^[25]

上記で述べた動的 QoS 制御の機構により、サーバで送信レートの調整を行っても、ネットワークの輻輳等により、パケット紛失を全て回避することは困難である。そこでクライアントにおける再生

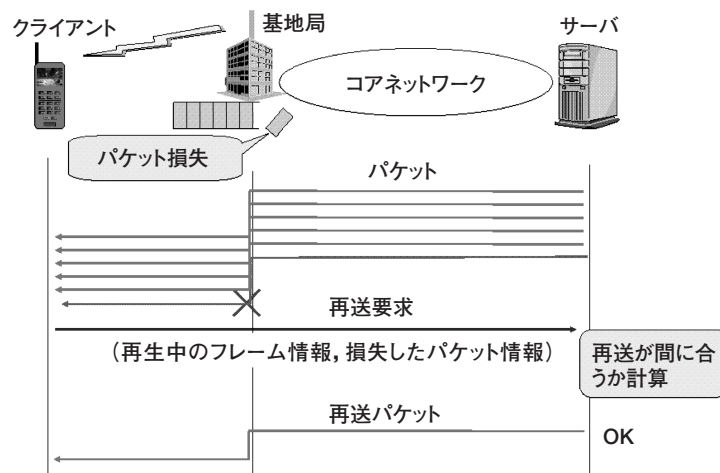


図 5.3 再送制御

品質の向上のために、紛失したパケットを再送することが有効である。但し、サーバではクライアントからの再送要求について、該当するパケットがクライアントの再生時間に間に合うかどうか、往復遅延時間とバッファ量から再送パケットを送るかどうか判断することが必要である（図 5.3）。

(3) QoS ポリシー指定

利用可能な回線帯域は大きくなったり小さくなったりするが、動的な QoS 制御を行うに際して利用者にとって重要なことは、利用可能な帯域が小さくなった時の帯域の使い方である。即ち、限られた帯域に対して、動画の画質を優先するか動きを優先するかである。これはコンテンツとユーザの好みによるので、ポリシーとして指定できるようにするのが有効である（図 5.4）。文字情報や図などを明瞭に見るため画質を優先する場合には、フレームの画質を維持するが、単位時間当たりのフレーム数を少なくする。それに対して、スポーツ等の動きの多いシーンを見る場合には、動きを優先することが有効であり、このためフレームの画質を下げて単位時間当たりのフレーム数を維持する。

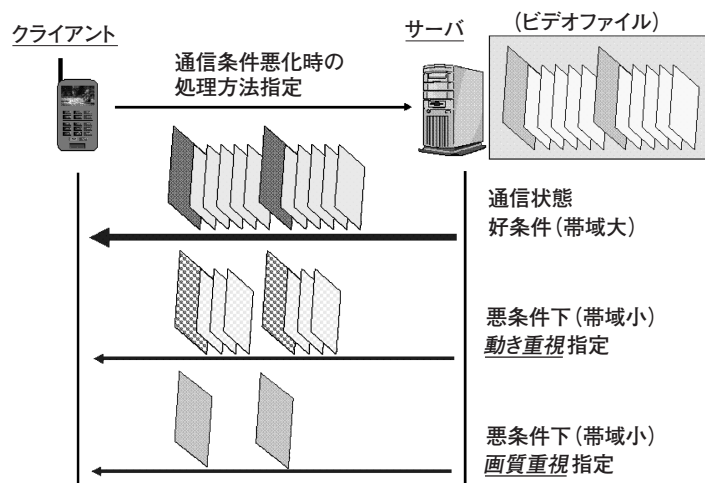


図 5.4 QoS のポリシー指定

(4) セッション制御の拡張^[26]

一時的にトンネル等の電波が届かない状況（圏外）になったとき、サーバ側がストリーミング情報を流しつづけていたり、勝手にセッションを閉じたりすると、無駄な送信となったり、回線の回復後に最初から再開というようなサービス性の低下の問題が生ずる。このため電波状態が悪化して通信の継続が困難な状況になったら、サーバとクライアント間でセッションを一時的に停止する。そして、再び電波状態がよくなったら、再開するような制御を行う（図 5.5）。

なお、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セッション制御用の RTSP プロトコルには、本機能はないため拡張が必要となる。

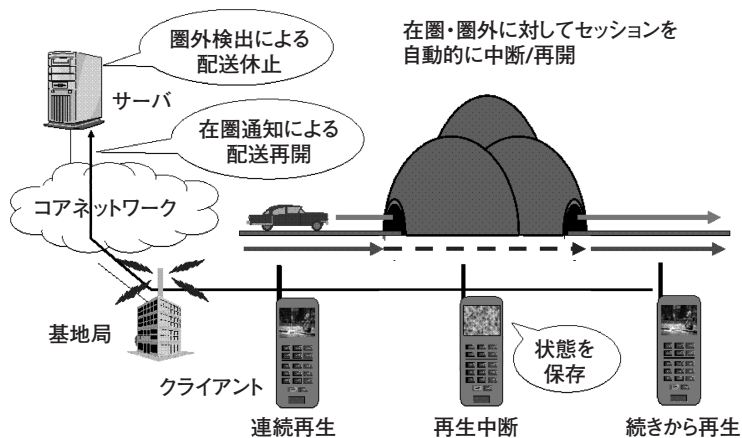
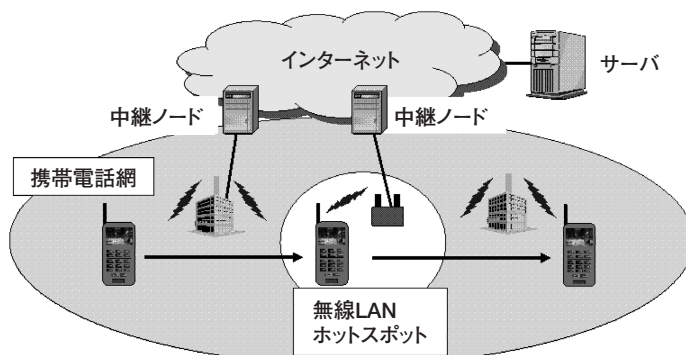


図 5.5 セッション制御

(5) シームレス制御

現在、手軽に利用できる高速無線通信の手段として第三代携帯電話と無線 LAN があるが、クライアント（端末）の置かれた状況に応じて適切に選択できることが望まれる。例えば、第三代携帯電話を用いてストリーミングの再生を開始した端末が、無線 LAN のホットスポット内に移動した場合、無線 LAN 経由のストリーム配信にスムーズに切り替えることができれば、無線 LAN の高速性を活かした、より高品質のサービスを受けることができる（図 5.6）。即ち、利用するネットワークの切り替え時に、旧ネットワークで視聴していたストリーミングを停止することなく、移動先のネットワークにおいても連続して視聴可能とするシームレス制御が必要である。なお、ネットワークを自動的に切り替えるか、ネットワークの選択をその都度ユーザに問い合わせるかなど、ストリーミングに関する切り替え方法や優先度をユーザが設定できることも必要となる。



☆ネットワークを適切に切替えてサービスを継続的に利用

図 5.6 シームレス制御

(6) 高速な表示開始

ストリーミングでは、パケットの到着遅延時間の変動の影響を回避するため、少しコンテンツを蓄積してから再生を開始する訳であるが、ユーザの視聴要求後できるだけ速やかに再生できることが望まれる。このための対処方法として、再生開始時に品質を調整することにより、再生を始めながら高速にクライアントのバッファへデータ蓄積を行う方法が考えられる（図 5.7）。これにより通常よりも素早く表示を開始することが可能となる。

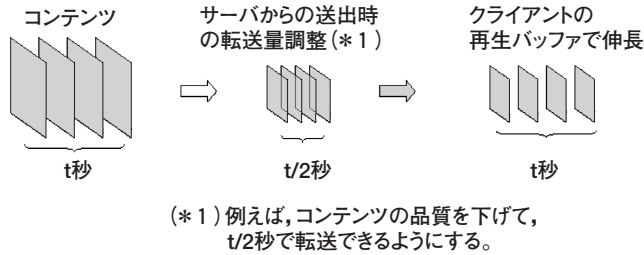


図 5.7 高速な表示開始

(7) ストリーム切替えによる適用帯域幅の拡大^[27]

無線の帯域は、電波状況や利用者数によって、例えば FOMA であれば 384 Kbps から 64 Kbps、無線 LAN であれば 11 Mbps から 2 Mbps の間で大幅に切替ることがある。

ストリーミングにおける QoS 制御では、このような利用可能な通信帯域に合わせてコンテンツの送出レートを調整する必要がある。このためトランスコーディングとよばれる技術を用いて 1 つのコンテンツファイルから柔軟に送出レートを調整することができる。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、帯域幅が少ないときに、その帯

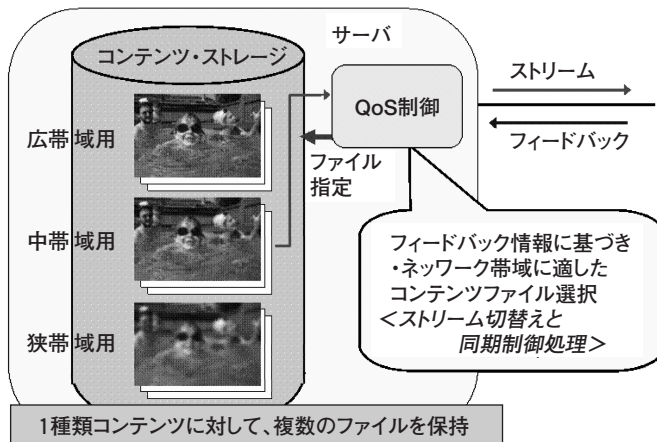


図 5.8 ストリーム切り替え

域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。しかしながら、上記のような通信帯域の変動が数倍程度の場合には、トランスコーディング技術のみで、適切な品質に変換することは困難である。

このため、複数の送出レートにエンコードされた、例えば「低帯域」、「中帯域」、「広帯域」の三種類のコンテンツをサーバに用意しておき、無線回線の帯域が大幅に変化したときは（第三世代携帯電話と無線 LAN のシームレス制御時も含む）、これらの切り替えを行う（図 5.8）。これにより大きな帯域変動に対してはストリーム切り替えを行い、微調整はトランスコーディング技術を用いることにより、適切な送出レートのコンテンツをクライアントに配信可能となる。

6 おわりに

1999 年 2 月の i モードサービスに始まった携帯電話とインターネットの融合により、移动通信環境における情報通信サービスは、あらゆる領域で新しいビジネスを生み出してきた。このような状況において、オーディオ・ビジュアル情報の配信技術であるストリーミングにより、携帯端末（携帯電話や PDA など）で快適に情報配信サービスを受けられるようにすることが、今後ますます重要になっていく。

本論文では、移动通信環境におけるストリーミング技術の確立に向けて、そのベースとなるサービス品質（QoS）制御のためのフレームワーク、即ち QoS 制御の基本構造とインタフェースを提示し、また移动通信環境のストリーミングに必要な制御機能についてまとめた。インタフェースに係わるパラメータの具体値や所要制御機能の詳細方式については別途扱う。なお、ストリーミングに関連する技術は、本論文で述べた QoS 制御とプロトコル関係の他に、映像や音声の符号化（エンコーディング）、コンテンツの記述言語（例：SMIL）、ユーザ表示インタフェースなどがあるが、これらについて移动通信環境を考慮した検討も今後必要である。

【謝辞】

本論文は、平成 16 年度専修大学研究助成「情報通信ネットワーク技術の効果的教授法の確立と実践」を受けて実施した研究成果の一部であり、感謝申し上げます。

【参考文献】

- [1] 総務省, 平成 16 年度版情報通信白書, 第 1 章 1 節, 平成 16 年 7 月 6 日
- [2] 諏訪, 渥美, 山田, “情報通信概論”, 7.5 節, 丸善株式会社, 2004 年 6 月 30 日発行
- [3] インターネットプロトコル詳解編集委員会編, “IPv6 時代のインターネットプロトコル詳解”, 10.3 節, 毎日コミュニケーションズ, 2003 年 9 月 5 日発行
- [4] H. Schulzrinne, etc., “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC 1889, January 1996
- [5] H. Schulzrinne, etc., “Real Time Streaming Protocol (RTSP)”, RFC 2326, April 1998
- [6] “ストリーミング配信の 2 大勢力”, 日経コミュニケーション, 2002.12.16 号, pp. 115-121

- [7] “使えるストリーミング”, Nikkei Internet Solutions, 2003 年 1 月, pp. 89-104
- [8] <http://www.microsoft.com/japan/windows/windowsmedia/>
- [9] <http://www.jp.realnetworks.com/index.html>
- [10] <http://www.apple.com/jp/quicktime/products/qt/>
- [11] 木下, “やさしいIMT-2000”, 電気通信協会, 2001 年 5 月 10 日発行
- [12] 情報通信総合研究所編, “情報通信ハンドブック 2005 年版”, 情報通信総合研究所, 2004 年 11 月
- [13] 総務省, 情報通信統計データベースより「情報通信主要データ」, 2005 年 5 月 11 日, <http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/>
- [14] http://www.au.kddi.com/ryokin_waribiki/kanto_chubu/waribiki/double_teigaku.html
- [15] http://www.nttdocomo.co.jp/p_s/f/foma_pake_hodai.html
- [16] “「街中ブロードバンド」拡大”, 日本経済新聞, 2005 年 2 月 16 日 (水) 朝刊
- [17] 総務省, 「電気通信サービスの供給側/需要側の動向調査 (平成 16 年度) 移動体通信領域」(H 17 年 2 月 3 日) より, 「9-1 公衆無線 LAN の契約者の推移」
- [18] 阪田編著, “ユビキタス技術無線 LAN”, オーム社, 2004 年 6 月 25 日発行
- [19] <http://www.nttdocomo.co.jp/new/contents/04/whatnew1115.html>, 2004 年 11 月 15 日報道発表
- [20] 安木, 渥美, 他, “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 (DICO 2001) シンポジウム論文集, pp. 717-722, June 2001.
- [21] 尾上, 山尾, “モバイルアクセス技術”, 電子情報通信学会誌, Vol. 84, No. 2, pp. 112-118, 2001
- [22] D. Chalmers, M. Sloman, “A Survey of Quality of Service in Mobile Computing Environments”, IEEE Communications Surveys, Second Quarter 1999, pp. 2-10
- [23] 串田, 渥美, 他, “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 (DICO 2001) シンポジウム論文集, pp. 723-728, June 2001.
- [24] 串田, 渥美, 他, “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”, 情報処理学会第 10 回 DPS ワークショップ論文集, pp. 257-262, Oct. 2002.
- [25] 萩野, 渥美, 他, “マルチメディアストリーミングにおける再生時刻を考慮したパケット再送制御”, 情報処理学会 論文誌, Vol. 45, No. 2, pp. 402-411, Feb. 2004.
- [26] 尾上, 渥美, 他, “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 研究会研究報告 18-34, pp. 253-259, Sep. 2001.
- [27] 萩野, 渥美, 他, “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 SST 2001-141, pp. 91-98, Mar. 2002.