

論 文

PHS回線における蓄積メディア同期実験

加藤 正美[†] 中村耕太郎^{††} 田坂 修二^{††}

Experiment on Stored Media Synchronization over PHS Channels

Masami KATO[†], Kotaro NAKAMURA^{††}, and Shuji TASAKA^{††}

あらまし 本論文では、蓄積されたビデオと音声をインターネットプロトコルを適用してPHSで伝送する場合を考える。PHSによるデータ通信では、データリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSが適用され、インターネットアクセス時には、トランスポートプロトコルとしてTCPやUDPを利用できる。このような環境下で複数の連続メディアを伝送すると、再送による遅延の発生がメディア同期を乱す。しかし、PHSによるインターネットアクセスに関するこれまでの研究では、メディア同期性能の定量的な評価はなされていない。そこで、筆者らは、モバイル端末とダイヤルアップルータ間にPIAFSを、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間にUDPを適用し、モバイル端末において、受信したビデオと音声を同期・出力する実験システムを構築した。特に、メディア同期制御方式として、筆者らの既提案のスライド制御方式を一部拡張して実装し、メディア同期性能の評価実験を行った。同期の平均2乗誤差等のシステム性能の測定結果により、その有効性を示す。

キーワード PHS, ビデオ伝送, 蓄積メディア, メディア同期

1. ま え が き

PHS (Personal Handy Phone System)[1]は、データ伝送制御手順PIAFS (PHS Internet Access Forum Standard) [2]の標準化により、高品質な無線データ通信を可能にした。更に、インターネットの急速な普及に相まって、PIAFSを利用したインターネットアクセスも可能になり、インターネットを介したモバイル・マルチメディア・コミュニケーションが急速に進展している。例えば、インターネットプロトコルを使用したビデオ・音声ツール[3]を利用すれば、PHSでインターネットにアクセスするだけで、PHSによるビデオ・音声伝送も可能である。

伝送容量が小さいPHSでビデオ伝送を行うには、H.263[4]などの低ビットレート対応の動画圧縮符号化方式を利用する必要がある。H.263はフレーム間相関を高度に利用した方式であり、一つのビデオフレームの伝送誤りが、連続したビデオフレームに影響を及ぼす可能性が高い。従って、フェージングの影響を受

けるPHSで、H.263圧縮ビデオ情報を伝送するには、誤り訂正能力に限界があるFEC (Forward Error Correction) よりも、確実に訂正できるARQ (Automatic Repeat reQuest)の適用が重要になる。

例えば、PHSによるインターネットアクセスでは、モバイル端末とダイヤルアップルータ間のデータリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSが適用される。更に、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間のトランスポートプロトコルとして、TCP (Transmission Control Protocol)やUDP (User Datagram Protocol)を利用できる。このような環境下で、連続メディアであるビデオや音声を伝送すると、PIAFSやTCPの再送による遅延の発生が、送信側でのビデオの発生間隔と受信側でのビデオの表示間隔との同期(メディア内同期)や、対応するビデオと音声の時間的關係(メディア間同期)を乱してしまう[5]。しかしながら、インターネットプロトコルを使用したほとんどのビデオ・音声ツールでは、メディア同期に対する十分な考慮がなされていない。

これまでに筆者らは、PHS回線とISDNを介して接続されたメディアサーバとモバイル端末間において、蓄積メディア伝送時のメディア同期性能について検討を行った[6], [7]。特に、メディア同期制御方式としてスライド制御を提案し、その有効性をシミュレーショ

[†] 三洋電機株式会社ハイパーメディア研究所, 岐阜県
Hypermedia Research Center, SANYO Electric Co., Ltd., Gifu-ken,
503-0195 Japan

^{††} 名古屋工業大学電気情報工学科, 名古屋市
Department of Electrical and Computer Engineering, Nagoya Institute of
Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan

ンにより明らかにした。しかしながら、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能の評価はなされていない。

無線のアクセスネットワークを用いた場合のメディア同期の研究としては、文献[8]の無線LANアクセスによる蓄積メディアの同期性能評価実験がある。これは蓄積交換系ネットワークにおいて無線と有線とを統合した通信環境を検討の対象としている。しかしながら、PHSによるインターネットアクセス時のように、設計思想の異なる回線交換系ネットワークと蓄積交換系ネットワークを統合し、しかも無線と有線との統合を実現した通信環境におけるメディア同期性能は評価されていない。

そこで本論文では、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能を実験により評価する。すなわち、提案方式を実装し、実験を行うことにより、これまでのシミュレーションのみによる研究では、必ずしも十分には評価しきれない性能の側面を含めて、総合的に実証評価する。そのために、モバイル端末とダイヤルアップルータ間にPIAFSを、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間にUDPを適用し、モバイル端末が受信したビデオと音声を同期・出力する実験システムを構築する。更に、メディア同期制御方式として、筆者らの既提案のスライド制御を一部拡張して実装する。そして本論文では、特に、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行う。すなわち、フェージング周波数やCNR(Carrier to Noise Ratio)などのPHSの通信環境や、UDP等の通信プロトコルが、メディア同期性能に及ぼす影響を実験により評価し、スライド制御の有効性を示す。なお、インターネットにおける遅延揺らぎがメディア同期に及ぼす影響については、別途、報告する。

本論文の構成は次のとおりである。2.ではメディア同期制御方式について、3.では実験システムについて述べる。4.では数値結果と性能評価を報告する。

2. メディア同期制御方式

2.1 PHSによるインターネットアクセス

本論文では、PHSを利用してインターネットにアクセスする場合を想定している。PHSによるインターネットアクセスでは、モバイル端末は基地局を介してダイヤルアップルータと接続し、更に、インターネット上のメディアサーバと接続する(図1)。このとき、モバイル端末と基地局間はPHSのエアインタフェース

(RCR-STD28[1])で、基地局とダイヤルアップルータ間はN-ISDNで接続される。

モバイル端末とダイヤルアップルータ間では、データリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSを適用する。PIAFSは、SR-ARQ(Selective Repeat - Automatic Repeat reQuest)による再送機能を提供する。ARQフレームの構造は、640 bitを一つのARQフレームとし、ARQ制御情報とユーザデータを常に組み込むピギーバック方式である(図2)。なお、ARQフレームの同期は通信開始時に確立される。また、CRCによりARQフレームの誤りを連続20回検出した場合には、再同期処理が実行される。

更に、モバイル端末とダイヤルアップルータ間では、PIAFSの上位にPPP(Point-to-Point Protocol)[9]が適用される。PPPは、2点間を結びリンク上で、ネットワークレイヤのプロトコルが異なる複数のデータグラムの伝送を可能にする。PPPは、LCP(Link Control Protocol)とNCP(Network Control Protocol)から構成される。LCPはユーザ認証を含む通信条件の調整を行い、2点間のリンクを確立する。その後、利用するネットワークレイヤのプロトコルごとに定められたNCPが必要な情報を交換する。例えば、IP(Internet Protocol)に対応するNCPであるIPCP(Internet Protocol Control Protocol)[10]は、モバイル端末が使用するIPアドレスの送受信などを行う。これによりモバイル端末は、インターネット

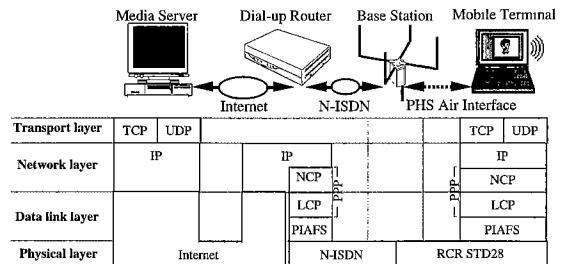


図1 プロトコルスタック
Fig. 1 Protocol Stack.

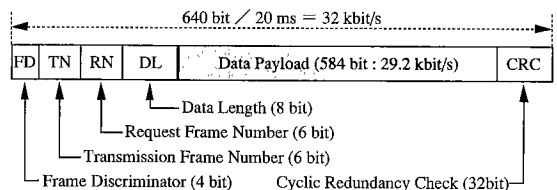


図2 PIAFSのARQフレーム構成
Fig. 2 ARQ frame structure of PIAFS.

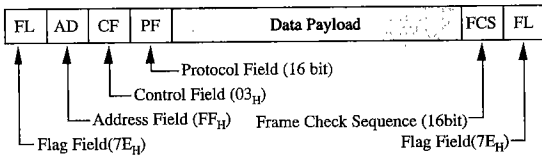


図3 PPP フレーム構成
Fig. 3 PPP frame structure.

上のメディアサーバと IP を利用した通信ができる。

PPP フレームは HDLC(High-level Data Link Control Procedure)の UI(Unnumbered Information)フレームと同じ構造である(図3)。PPPでは、データフィールドと FCSフィールドにおけるビット透過性を実現するために、 20_H 以下のデータと $7E_H$ (フラグパターン) および $7D_H$ (エスケープ文字)が現れた場合には、エスケープ文字を挿入すると共に、該当データの第6ビットを反転する。従って、PPPにより伝送すべき情報量が増加する可能性がある。

一方、モバイル端末とインターネット上のメディアサーバ間では、ネットワークレベルのプロトコルとして IP が利用できると共に、トランスポートレベルのプロトコルとして TCP や UDP を利用できる。TCP は、エラー検出・回復、フロー制御や順序制御などにより、信頼性のある通信サービスを提供する。また、UDP はこのような制御を行わないために、信頼性が低いもののオーバーヘッドの少ない通信サービスを提供する。本論文では、データリンクレベルに適用した PIAFS による再送の影響が現れるように、トランスポートレベルには UDP を適用する。なお、TCP を適用した場合の検討は、今後の課題である。また、H.323 [3]では、UDP の上位レイヤに RTP (Real time Transport Protocol)や RTCP (Real Time Control Protocol)[11]などを適用しているが、本論文ではこれらを適用しない。RTPなどを適用した場合の検討も、今後の課題である。

2.2 メディア同期

本論文では、同期制御方式として、筆者らが既提案のスライド制御[6]を一部拡張して適用する。ここで各メディアは、その出力単位であるメディアユニット(MU)から構成されているものと仮定する。特に、ビデオは1ビデオフレームを1ビデオMUとし、音声は一定の情報量をもって1音声MUを構成すると仮定する。そして、メディア発生源 i における n 番目の MU の発生時刻を $T_n^{(i)}$ 、 n 番目と $n+1$ 番目の MU の発生間隔を $\sigma_{n,n+1}^{(i)} (= T_{n+1}^{(i)} - T_n^{(i)})$ と定義する(図4)。なお、以後 $i=1$ はビデオ、 $i=2$ は音声を示す。

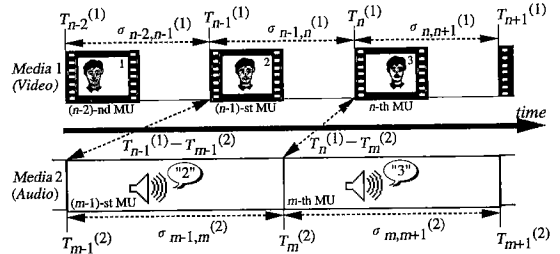


図4 ビデオ MU と音声 MU の時間関係
Fig. 4 Temporal relationship between video and audio MUs.

このとき、メディア内同期は、単一メディア i を構成する MU 間の発生間隔 $\sigma_{n,n+1}^{(i)}$ を、メディアの出力先においても出力間隔として維持することである。更に、メディア間同期は、メディア 1 の n 番目の MU と、これに対応するメディア 2 の m 番目の MU との発生間隔 $T_n^{(1)} - T_m^{(2)}$ を、メディアの出力先において同様に維持することである。

ここで、メディアの出力先におけるメディア i の n 番目の MU の目標出力時刻を $t_n^{(i)}$ 、遅延ジッタがない理想的な場合の目標出力時刻を $x_n^{(i)}$ 、到着時刻を $A_n^{(i)}$ 、実際の出力時刻を $D_n^{(i)}$ 、到着してから出力されるまでの出力待ち時間を $\tau_n^{(i)} (= D_n^{(i)} - A_n^{(i)})$ と定義する。更に、 $D_n^{(i)}$ を $t_n^{(i)}$ から意図的に変化させる時間量としてのスライド時間を $\Delta S_n^{(i)}$ と定義し、総スライド時間を $S_n^{(i)} (= S_{n-1}^{(i)} + \Delta S_n^{(i)})$ と定義する。このとき、 $t_n^{(i)}$ 、 $D_n^{(i)}$ は、次式で与えられる。

$$t_1^{(i)} = A_1^{(i)} + \tau_1^{(i)}, \quad x_1^{(i)} = t_1^{(i)} \quad (n=1)$$

$$t_n^{(i)} = x_n^{(i)} + S_{n-1}^{(i)}, \quad x_n^{(i)} = x_{n-1}^{(i)} + \sigma_{n-1,n}^{(i)} \quad (n \geq 2)$$

$$D_n^{(i)} = t_n^{(i)} + \Delta S_n^{(i)} \quad \text{if } A_n^{(i)} \leq t_n^{(i)} + \Delta S_n^{(i)} \quad (n \geq 1)$$

$$D_n^{(i)} = A_n^{(i)} \quad \text{if } t_n^{(i)} + \Delta S_n^{(i)} < A_n^{(i)} \quad (n \geq 1)$$

2.3 スライド制御の拡張

文献[6]では、蓄積メディアの伝送におけるビデオと音声のメディア間同期を制御するために、スライド制御を適用した。これは、ビデオ MU の到着時刻と目標出力時刻の差 $(A_n^{(1)} - t_n^{(1)})$ を計測し、その値に応じて $t_n^{(1)}$ を $\Delta S_n^{(1)}$ だけ遅らせるものである。この考えは、VTR (Virtual-Time Rendering) アルゴリズム[12],[13]に基づいている。

ところで、このスライド制御は音声を無手順で伝送することを前提としており、音声 MU の到着遅れには対応していない。しかしながら、本論文では、音声と

ビデオをPIAFSとUDPを適用して伝送する場合を検討の対象とする。すなわち、ビデオMUのみならず音声MUも、再送により目標出力時刻より遅れて到着することがある。従って、スライド制御を適用するには、音声MUの遅延を考慮した拡張を施す必要がある。

これまでのスライド制御では、ビデオMUが目標出力時刻より遅れて到着した場合、遅れたビデオに音声を再同期させた。特に、スライド制御による目標出力時刻の変更が、音声に及ぼす影響を考慮し、Gradual recovery と Fast recovery の2種類の変更方法を採用した[6], [7]。Gradual recovery は、音声への影響を小さくするために、 $t_n^{(0)}$ を少しずつ変更して徐々にメディア間同期を修復する。また Fast recovery は、音声への影響は大きいけれども、 $t_n^{(0)}$ を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を回復する。

本論文では、更に、音声MUの到着遅れに対応するために次のようにスライド制御を拡張する。すなわち、 m 番目の音声MUが目標出力時刻より遅れて到着した場合、遅れた音声にビデオを再同期させる。ここで、音声MUの到着遅れは、音声の中断を引き起こすために主観的な影響が大きい。しかし、スライド制御によりビデオの目標出力時刻を変更しても、主観的な影響は音声より小さい。そこで、音声MUの到着遅れ時間($A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$)をもとに目標出力時間を一度に大きく変更し、早急にメディア間同期を回復する。

ここで文献[6]に従い、Gradual recoveryによるスライド制御を実行するための $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ のしきい値を T_{h1} 、そのスライド時間を θ_1 、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を ω_1 と定義する。また、Fast recoveryによるスライド制御を実行するための $A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$ のしきい値を T_{h2} 、そのスライド時間を θ_2 ($\gg \theta_1$)、スライド制御を実行できる最小許容時間間隔を ω_2 と定義する。このとき、以下の条件に応じてスライド制御を実行する。なお、1ビデオMUに対し1回のスライド制御しか実行されない。

- (a) $A_m^{(2)} \leq t_m^{(2)}$, かつ $T_{h2} \leq A_n^{(1)} - t_n^{(1)}$:

$$\Delta S_n^{(1)} = \Delta S_m^{(2)} = \theta_2 \quad (\text{Fast recovery})$$
- (b) $A_m^{(2)} \leq t_m^{(2)}$, かつ $T_{h1} \leq A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h2}$:

$$\Delta S_n^{(1)} = \Delta S_m^{(2)} = \theta_1 \quad (\text{Gradual recovery})$$
- (c) $A_m^{(2)} \leq t_m^{(2)}$, かつ $A_n^{(1)} - t_n^{(1)} < T_{h1}$:

$$\Delta S_n^{(1)} = \Delta S_m^{(2)} = 0$$
- (d) $t_m^{(2)} < A_m^{(2)}$,

$$\Delta S_n^{(1)} = \Delta S_m^{(2)} = A_m^{(2)} - t_m^{(2)} + \tau_m^{(2)}$$

なお、文献[7]で提案した受信バッファ占有率を利用した制御は、実装の都合により、本論文では適用しない。

3. 実験システム

本論文では、PHSの無線通信環境がメディア同期性に及ぼす影響を定量的に評価するために、実験システムを構築する。

3.1 実験システムの構成

図5に実験システムの構成を示す。PIAFSアダプタとPHS移動局を具備したモバイル端末(MMX Pentium 166 MHz, Windows 95)は、PHSの無線区間をシミュレートする疑似電波伝搬環境を介して実験用基地局と接続される。実験用基地局は、ISDN回線およびISDN交換機を介してダイヤルアップルータと接続される。更に、ダイヤルアップルータは、Ethernet(10BASE-T)を介してメディアサーバ(MMX Pentium II 266 MHz, Windows NT)とつながっている。ここで、PIAFSアダプタとダイヤルアップルータ間のデータリンクレベルのプロトコルとしてPIAFSを適用する。そして、モバイル端末はダイヤルアップルータにPPP接続する。更に、モバイル端末とメディアサーバ間のトランスポートレベルのプロトコルとして、UDPを適用する。

回線容量の小さいPHSにおいてメディアの品質をある程度確保するためには、H.263の符号化能力を考慮すると、64 kbit/s程度の伝送容量が必要である。PHSでは、64 kbit/s非制限デジタルベアラサービスの提供も予定されているが、現時点では、32 kbit/s非制限デジタルベアラサービスしか利用できない。そこで本実

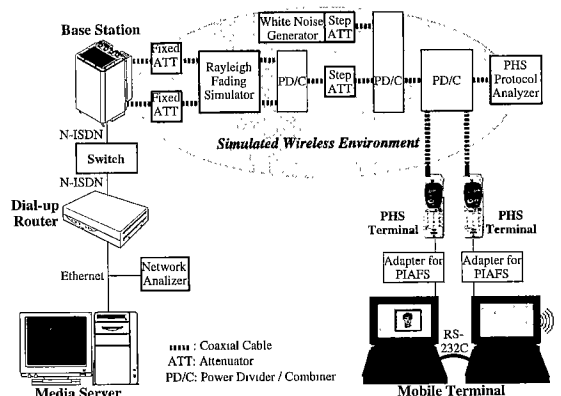


図5 実験システムの構成
 Fig. 5 Block diagram of the experimental system.

験では、2台のモバイル端末が、それぞれ32 kbit/s 非制限デジタルベアラサービにPIAFSを適用してダイヤルアップルータにPPP接続し、別々に受信したビデオと音声同期出力する構成を採用した(但し、将来的には、64 kbit/s 非制限デジタルベアラサービを利用することを想定している)。このとき、2台のモバイル端末間では、同期情報をRS-232Cインタフェース(伝送速度:38.4 kbit/s)で交換する。なお、一つの同期情報の交換に要する時間は約2 msであり、この手法が同期性能に与える影響は十分小さい。また、メディアサーバは、H.263で符号化されたビデオ情報と、G.726(24 kbit/s)[14]で符号化された音声情報を蓄積している。そして、各MUをMU発生間隔 $\sigma_{n,n+1}^{(i)}$ に従ってMU単位で送信する。

一方、疑似電波伝搬環境では、PHS移動局と実験用基地局を、レイリーフェージング・シミュレータ、分配/合成器、固定および可変の減衰器を介して同軸ケーブルで接続する。ここで、実験用基地局の複数のアンテナ端子は、固定の減衰器(36 dB)を介してレイリーフェージング・シミュレータに接続される。更に、これらの無線出力は分配/合成器で一つに合成され、可変の減衰器(0~121 dBの範囲で1 dB単位で変更可能)を介した後、白色雑音発生器の信号出力と別の分配/合成器で一つに合成される。そして、PHS移動局とPHSプロトコルアナライザに別の分配/合成器で分配される。なお、白色雑音発生器は可変の減衰器(0~60 dBの範囲で1 dB単位で変更可能)を内蔵している。

この疑似電波伝搬環境では、可変の減衰器により無線キャリアの伝送路損失、および白色雑音発生器に内蔵された可変の減衰器により白色雑音の出力レベルを変更できる。PHS移動局側における無線キャリアの受信レベルは、PHSプロトコルアナライザのスペクトラムアナライザ機能により無線キャリア周波数ごとに測定できる。また、白色雑音の受信レベルも同様に測定でき、これらの測定値からCNRを求める。なお、実験に際しては、PHS移動局内の熱雑音の影響が無視できるように、すなわち、無線キャリアの受信レベルが十分大きくなるように、可変減衰器の値を選択した。更に、疑似電波伝搬環境では、レイリーフェージング・シミュレータにより、異なるフェージング周波数のフェージングを付加できる。付加するフェージングは無相関とする。なお、実験用基地局の送信出力は500 mW、PHS移動局のそれは10 mWである。また、実験システムが通信事業者の制御チャネルの影響を受けな

いように、1,916.150 MHz(キャリア番号:71)を制御チャネルとして使用した。

なお、本実験では、無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行う。そのために、Ethernet上に遅延揺らぎを発生させる仕組みは設けていない。インターネットにおける遅延揺らぎがメディア同期に及ぼす影響は、今後の課題である。また、本実験システムでは、複数の無線キャリアに対し、同様のフェージングや白色雑音を付加している。無線キャリアごとに異なるフェージングや白色雑音を付加した場合の性能評価も、今後の課題である。

3.2 メディアの仮定

実験で使用するH.263圧縮ビデオ情報とG.726音声情報の作成に関し、以下の仮定を置く。

A1: H.263で規定された四つのコーディング・オプションは、いずれも使用しない。

A2: 1ビデオフレームを1ビデオMUとする。ビデオの目標符号発生レートを20 kbit/s、目標MUレートを15 MU/sとする。

A3: n 番目のビデオMUの発生時刻 $T_n^{(i)}$ は、符号化時にビデオフレームに設定されたTemporal Reference(TR_n)により、 $T_n^{(i)} = TR_n/30$ 、 $TR_1 = 0$ と与える。

A4: 音声の符号発生レートを24 kbit/sとする。1MUサイズを2.4 kbitとする。従って、MU発生レートは10 MU/sとなり、 n 番目のMUの発生時刻 $T_n^{(2)}$ を $T_n^{(2)} = (n-1)/10$ と与える。

A5: 使用した蓄積メディアの諸元を以下のようにする。

- ・メディアソース 人の上半身の画像
- ・画像サイズ sub-QCIF (128×96ピクセル)
- ・記録時間 241.0 s

なお、PPPのエスケープシーケンスにより伝送すべき情報量は増加する。特に、H.263では、各ピクチャの先頭を示すPSC(Picture Start Code)として、エスケープシーケンスの対象となる 00_H を必ず2バイト発生するなど、伝送すべき情報量が増加する傾向が強い。従って、本実験では、このような情報量の増加を考慮してビデオの目標符号発生レートを選択している。例えば、本実験で使用する目標符号発生レートが20 kbit/sのビデオストリームは、エスケープシーケンスにより19.14%増加、PPPヘッダにより5.00%増加し、単位時間当りの伝送すべき情報量は24.8 kbit/sになる。なお、24 kbit/sの音声ストリームは、エスケープシーケンスにより4.74%増加、PPPヘッダにより

2.67%増加し、単位時間当りの伝送すべき情報量は25.8 kbit/sになる。

3.3 メディア同期制御のパラメータ

メディア同期制御の各パラメータを以下のように定める。

A1: ビデオ MU の到着遅れに伴うスライド制御 (Gradual Recovery および Fast Recovery) において、各パラメータの値は文献[6]と同じ値とする。すなわち、 $T_{h1} = 100$ ms, $\theta_1 = 100$ ms, $\omega_1 = 1,000$ ms, $T_{h2} = 2,000$ ms, $\theta_2 = 4,000$ ms, $\omega_2 = 60,000$ ms とする。

A2: 音声 MU の到着遅れに伴うスライド制御において、 $\tau_m^{(2)} = 0$ ms とする。

A3: 第1ビデオMUの到着時刻 $A_1^{(1)}$ をもって、メディア同期の基準時刻を定める。従って、第1ビデオMUの目標出力時刻は $t_1^{(1)} = A_1^{(1)} + \tau_1^{(1)}$ 、第1音声MUの目標出力時刻は $t_1^{(2)} = t_1^{(1)} + T_1^{(2)} - T_1^{(1)}$ となる。なお、第1ビデオMUの出力待ち時間は $\tau_1^{(1)} = 500$ ms とする。

3.4 評価尺度

本論文では、評価尺度として、メディア間同期ずれ時間 $\Delta_n^{(1-2)}$ の2乗平均値の平方根(RMS: Root Mean Square)、メディア*i*のMUの出力間隔の変動係数 $C_v^{(i)}$ 、総出力時間、平均MU出力レート、MUの欠落率を用いる。

ここで $\Delta_n^{(1-2)}$ は、*n*番目のビデオMUと、それに対応する*m*番目の音声MUの出力間隔と発生間隔の差であり、次式で与えられる。

$$\Delta_n^{(1-2)} = (D_n^{(1)} - D_m^{(2)}) - (T_n^{(1)} - T_m^{(2)}) \quad (n \geq 1, m \geq 1)$$

$\Delta_n^{(1-2)}$ のRMSは、メディア間同期品質を表す。

また、 $C_v^{(i)}$ はメディア内同期性能を示す評価尺度の一つであり、出力の滑らかさを表す。これは、総MU数を*N*とすると、次式で与えられる。

$$C_v^{(i)} = [\{ \sum_{n=1}^{N-1} (D_{n+1}^{(i)} - D_n^{(i)} - E^0)^2 \} / (N-1)]^{1/2} / E^0$$

$$E^0 = (D_N^{(i)} - D_1^{(i)}) / (N-1)$$

平均MU出力レートは、受信側で単位時間当りに出力したMU数の平均値とする。但し、ビデオの場合、1ビデオフレームを1ビデオMUと仮定しているので、フレームレート (fps: frame per second) に等しい。

なお、本論文では蓄積メディアを対象としており、遅延が多少増加しても、実用上の影響は小さい。むしろ、ユーザにメディアを提示した時間である総出力時間のほうが、ユーザに対する影響をよく表していると考えた。

従って、時間に関する評価尺度として遅延ではなく、総出力時間を採用する。また、MOS(Mean Opinion Score) [15]などの手法を使用した主観評価による検討は、今後の課題である。

4. 数値結果

PHSによるインターネットアクセス時の蓄積メディア同期性能を実験により評価した。特に、無線通信環境における影響に焦点を合わせた。その結果を以下に示す。

4.1 スライド制御の有効性

(1) メディア間同期性能

まず、スライド制御の有効性を確認するために、メディア間同期性能を評価する。図6に $\Delta_n^{(1-2)}$ のRMSとCNRの関係を示す。なお、CNRは移動局側における下りの制御チャンネルの測定値を代表値として使用する。また、フェージングを付加する場合は、これを付加しない場合のCNRを代表値として使用する。図において、スライド制御を適用し(SC: Slide Control)、かつフェージング周波数*f*が*f*=0, 7, 70 Hzの場合を、それぞれ◇, □, △印で示す。また、スライド制御を適用せず(NC: No Control)、かつ*f*=0, 7, 70 Hzの場合を、それぞれ◆, ■, ▲印で示す。なお、*f*=0 Hzは静止時、*f*=7 Hzは約4 km/hの低速移動時、*f*=70 Hzは約40 km/hの高速移動時におけるフェージング環境に相当する。

図6によれば、スライド制御の適用によりメディア間同期性能が改善していることがわかる。また、CNRが小さい場合には、フェージングの影響が顕著に現れている。文献[16]は、 $\Delta_n^{(1-2)}$ が80 ms以内であればメディア間同期は良好な状態であり、160 ms以上であれば同期はずれの状態であると報告している。この値を

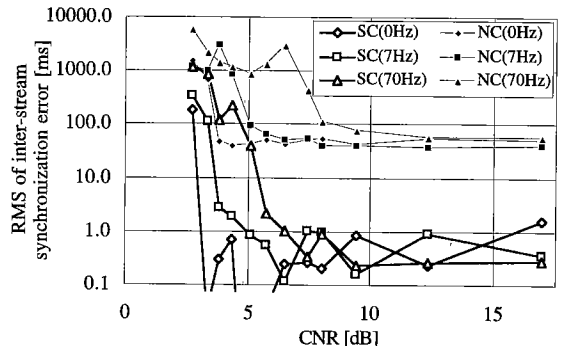


図6 $\Delta_n^{(1-2)}$ のRMSとCNRとの関係
Fig. 6 Root mean square of $\Delta_n^{(1-2)}$ versus CNR.

用いて同期品質を評価する。スライド制御を適用すれば、 $f=0$ Hz、 $f=7$ Hz の場合、 $CNR \geq 3.8$ dB において極めて良好なメディア間同期を維持できると言える。しかしながら、 $f=70$ Hz では、 CNR が 4.3 dB 程度であっても同期外れとなることがある。一方、スライド制御を適用しなくても、 $f=0$ Hz では $CNR \geq 3.8$ dB において、また、 $f=7$ Hz では $CNR \geq 5.1$ dB において、ほぼ良好な同期を維持できる。しかしながら、 $f=70$ Hz では、 $CNR \leq 7.4$ dB において同期外れとなる。

なお、本実験では、情報チャンネル(TCH:Traffic Channel)の切替が発生した回数を PHS プロトコルアナライザによって同時に計測している。TCH の切替とは、使用している TCH の受信レベルや回線品質等が劣化した場合に、良好な通信品質を維持するために別の TCH に変更を行う無線チャンネル制御方式である。TCH の切替時には、少なくとも数百 ms 程度の間、通信が中断するため、PIAFS の ARQ フレームの一部が欠落する。従って、再送による遅延が増加し、メディア同期品質に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、本実験では、いずれの測定条件においても、TCH の切替が発生していないことを確認した。TCH の切替や、TCH の切替時に接続する基地局が変わるハンドオーバーがメディア同期性能に与える影響は、今後の検討課題である。

(2) メディア内同期性能

つぎに、メディア内同期性能を出力間隔の変動係数 $C_v^{(i)}$ により評価する。 $C_v^{(i)}$ は MU の出力間隔のばらつきの程度を表し、この値が小さいほど出力が滑らかである。図 7、図 8 に、それぞれビデオと音声の出力間隔の変動係数 $C_v^{(i)}$ と CNR との関係を示す。

これによれば、スライド制御の適用によりビデオ、および音声の出力間隔の変動係数を小さくできることがわかる。すなわち、スライド制御がメディア内同期にも有効であると言える。但し、 CNR が小さく、かつフェージングを付加した場合には、スライド制御によりビデオの変動係数が増加することがある。このときには、4.2 で示すようにビデオ MU および音声 MU の欠落が多く発生している (図 13、図 14 参照)。特に、スライド制御適用時に音声 MU が欠落すると、欠落した音声 MU に対応するビデオ MU は、次の音声 MU を受信したときに連続して出力される。そのために、ビデオの変動係数の値が大きくなる。

(3) 総出力時間の増加

つぎに、各メディアの総出力時間を調べる。図 9、図

10 に、それぞれビデオと音声の総出力時間と CNR の関係を示す。

これによれば、 CNR が小さく、かつフェージングを付加した場合において、ビデオ、音声とも総出力時間が顕著に増加している。スライド制御を適用しない場合では、伝送誤りによる PIAFS の再送が遅延を増加させたために、総出力時間も増加する。またスライド制御を適用した場合では、再送による遅延の増加に加えて、スライド制御による目標出力時刻の変更が、総出力時間を更に増加させる。しかしながら、 $f=70$ Hz で CNR が極端に小さくなければ、総出力時間の増加は多くても 10 s 程度であり、使用した蓄積メディアの記録時間 (241.0 s) と比較すれば、実用上問題とならない大きさである。なお、スライド制御の適用時には、音声とビデオの総出力時間がほぼ同じ値になっている。

(4) 平均 MU 出力レート

つぎに、各メディアの平均 MU 出力レートを調べる。図 11、図 12 に、それぞれビデオと音声の平均 MU 出力レートと CNR の関係を示す。

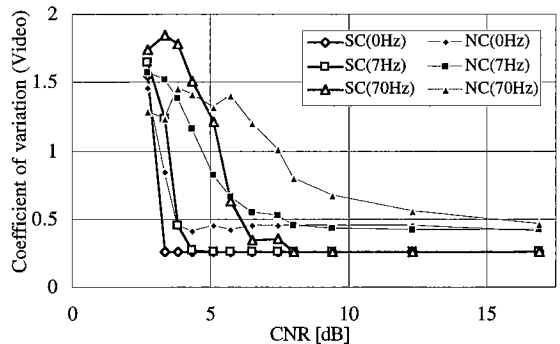


図 7 ビデオ MU の出力間隔の変動係数と CNR との関係
Fig. 7 Coefficient of variation of output interval for video versus CNR .

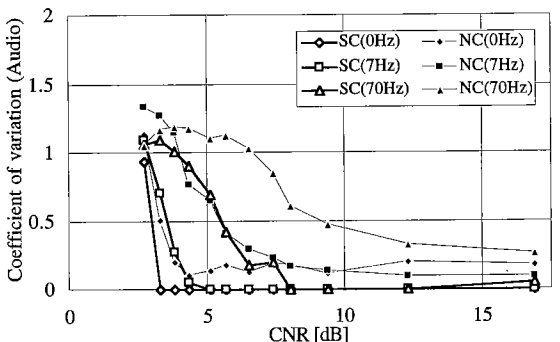


図 8 音声 MU の出力間隔の変動係数と CNR との関係
Fig. 8 Coefficient of variation of output interval for audio versus CNR .

これによれば、スライド制御の適用の有無が平均 MU 出力レートに及ぼす影響は十分小さいが、フェージングによる影響は顕著であると言える。平均 MU 出力レートの低下は、総出力時間の増加によっても引き起こされるが、4.2で示すようにビデオ MU および音声 MU の欠落が大きく影響していると考えられる (図 13, 図 14 参照)。なお、 $f=0$ Hz, 7 Hz の場合、 $CNR \geq 4.3$ dB においてビデオの平均 MU 出力レートの低下はほとんどなく、動きが滑らかなビデオが得られている。

4.2 UDP データグラムの欠落

本論文では、モバイル端末とメディアサーバ間のトランスポートレベルのプロトコルとして UDP を適用している。従って、ネットワークの状況によっては、UDP データグラムの欠落が発生する可能性がある。そこで本節では UDP データグラムの欠落状況を調べる。

(1) MU の欠落率

図 13, 図 14 に、それぞれビデオと音声の MU 欠落率と CNR との関係を示す。なお、メディアサーバは、各メディアを MU 単位で送信するので、MU 欠落率は UDP

データグラムの欠落率に等しい。図によれば、フェージングが MU の欠落率に大きな影響を及ぼしていることがわかる。例えば、 $f=0$ Hz, $f=7$ Hz の場合、 $CNR \geq 4.3$ dB であれば、ビデオ MU や音声 MU の欠落は発生しない。しかし、 $f=70$ Hz の場合、 CNR が 7.4 dB 以下になると MU の欠落が発生する。

(2) MU の欠落原因

ここで、MU の欠落原因を調べるために、到着時刻と目標出力時刻の差 ($A_n^{(i)} - t_n^{(i)}$) の時間的経過を調べる。特に NC の場合、この値により各 MU の遅延状況がわかる。図 15 に、 $CNR=5.1$ dB, $f=70$ Hz の場合における音声 MU の $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ の時間的経過を示す。但し、MU が欠落した場合は、横軸上に Δ 印をプロットする。

これによれば、通信開始後、遅延が徐々に増加していることがわかる。これは、伝送誤りにより PIAFS の再送が発生したためである。そして、その値が約 5 s に達した以後、MU の欠落が発生している。このとき、メディアサーバにおいて、UDP データグラムの欠落は発生していないことを、Ethernet に接続したネットワー

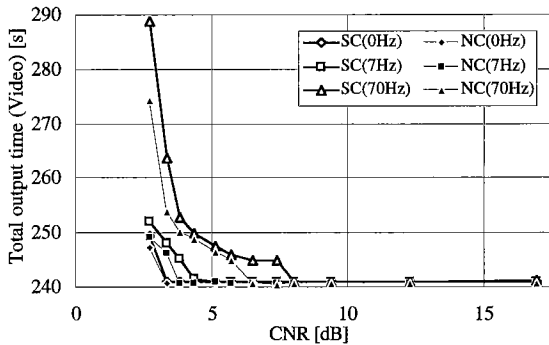


図 9 ビデオの総出力時間と CNR との関係
Fig. 9 Total output time of video versus CNR.

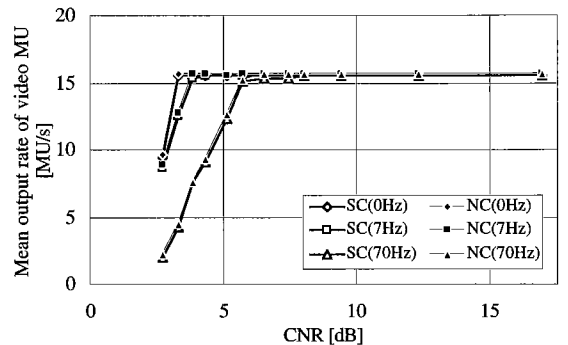


図 11 ビデオの平均 MU 出力レートと CNR との関係
Fig. 11 Mean output rate of video versus CNR.

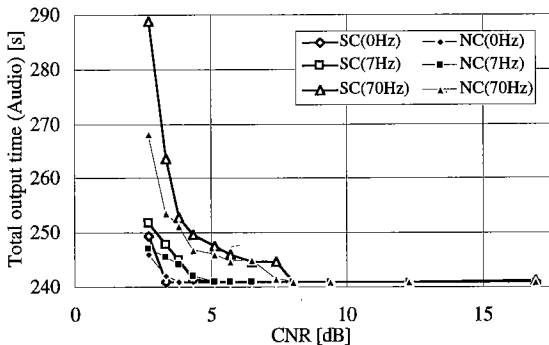


図 10 音声の総出力時間と CNR との関係
Fig. 10 Total output time of audio versus CNR.

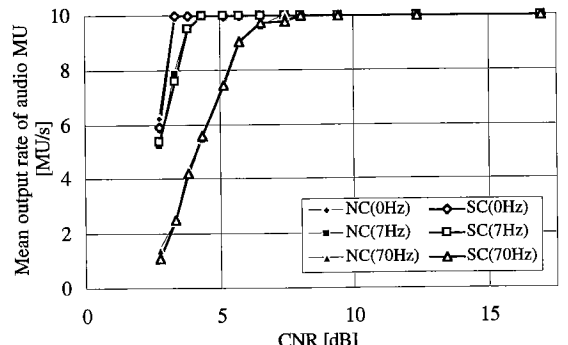


図 12 音声の平均 MU 出力レートと CNR との関係
Fig. 12 Mean output rate of audio versus CNR.

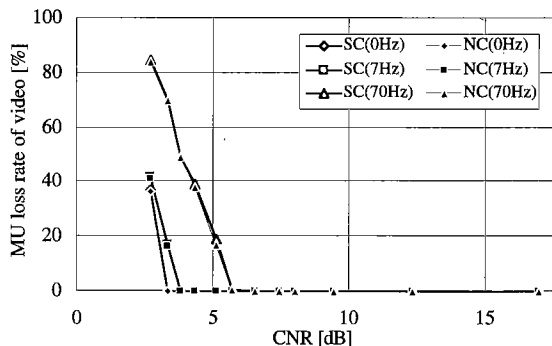


図 13 ビデオ MU の欠落率と CNR との関係
Fig. 13 MU loss rate for video versus CNR.

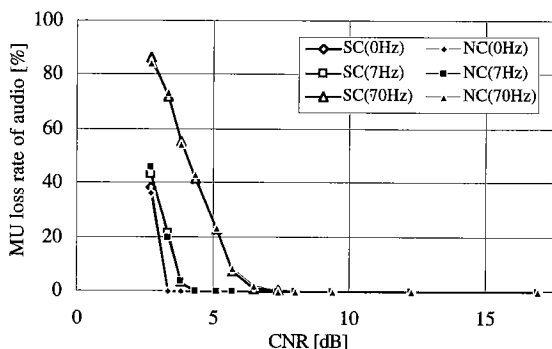


図 14 音声 MU の欠落率と CNR との関係
Fig. 14 MU loss rate for audio versus CNR.

クアナライザによって確認した。このことは、ダイアルアップルータの送信待ちバッファがオーバーフローし、UDP データグラムが欠落したことを意味している。すなわち、UDP ではフロー制御が適用されておらず、また、メディアサーバでは各 MU を MU 発生間隔 $\sigma_{n,n+1}^{(i)}$ に従って送信するために、オーバーフローが発生したものである。また、符号発生レートが高い音声のほうがオーバーフローを発生しやすいために、音声の MU 欠落率がビデオよりも少し高くなった (図 13, 図 14)。従って、CNR が小さい、若しくは、CNR がある程度大きいくともフェージング周波数が大きい通信環境では、フロー制御やトラフィック制御の適用が必要である。

また、図 15 に示した場合に限らず、MU が欠落した他の場合においても、ダイアルアップルータの送信待ちバッファがオーバーフローしたときのみ、MU が欠落することを確認した。このことは、ダイアルアップルータとモバイル端末間のデータリンクレベルでは、PIAFS の再送機能により信頼性の高いデータ通信が行われていることを意味する。従って、ダイアルアップ

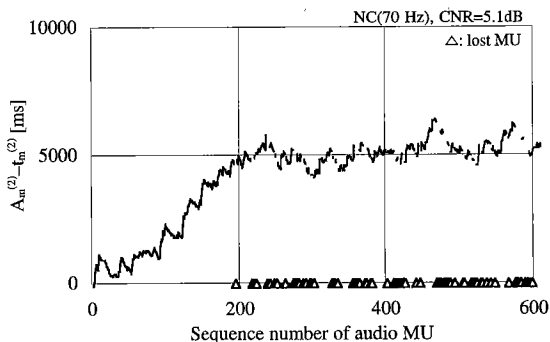


図 15 $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$ の時間的経過
Fig. 15 Progress of $A_m^{(2)} - t_m^{(2)}$.

ルータで UDP データグラムが欠落しなければ、トランスポートレベルに TCP のような信頼性の高い再送機能を適用しなくても、データリンクレベルに適用した PIAFS による再送機能だけで十分であると言える。また、ダイアルアップルータにおける UDP データグラムの欠落を考慮すれば、低オーバーヘッドである UDP の特徴を残し、かつ、フロー制御やトラフィック制御等の機能をもつ新しいトランスポートプロトコル [17], [18] の適用が必要と考える。

なお本実験では、2 台のモバイル端末は、それぞれ異なる PPP 接続を利用してビデオ若しくは音声を伝送している。すなわち、ダイアルアップルータにおける送信バッファは、ビデオと音声で異なるものを使用している。1 台のモバイル端末が 64 kbit/s 非制限デジタルベアラサービスを利用し、一つの PPP 接続でビデオと音声を伝送する場合の検討は、今後の課題である。

(3) 画質や音質への影響

UDP データグラムの欠落が画質や音質に及ぼす影響について検討する。

まず、CNR が小さい、若しくは CNR がある程度大きいくともフェージング周波数が大きい無線通信環境を考える。この場合、無線区間に発生した伝送誤りは PIAFS の再送機能により回復できるものの、再送による遅延が大きくなる。そのため、メディア同期も大きく乱れるが、スライド制御の適用により同期品質は改善される。しかしながら、PIAFS の再送による遅延の増大により、ダイアルアップルータの送信バッファのオーバーフローが発生し、MU が欠落する。特に、H.263 はフレーム間相関を高度に利用した符号化方式であるため、一つのビデオ MU が欠落しただけでも、連続して画質が乱れてしまうことを確認した。一方、音声 MU の欠落は音飛びとし

て認識されるが、一つの音声MUの欠落が、引き続く音声MUの再生に及ぼす影響は確認されなかった。

つぎに、CNRが十分に大きい、若しくはCNRがある程度小さくてもフェージング周波数が十分に小さい無線通信環境を考える。この場合、無線区間に発生した伝送誤りはPIAFSの再送機能により回復でき、また、MUの欠落も発生しないため、画質の乱れや音飛びは発生しない。但し、再送による遅延の増加がメディア同期を乱すので、スライド制御の適用が有効になる。しかしながら、このような無線通信環境であっても、インターネット環境で欠落が発生し、画質を乱す可能性は十分にある。従って、無線通信環境がどのような状態であるかにかかわらず、画質を維持するためには、欠落を回避、保証する機構が必要である。

5. む す び

本論文は、PHSによるインターネットアクセス時における蓄積メディア同期性能を実験により評価した。特に、PHSの無線通信環境における影響に焦点を合わせて議論を行った。

その結果、スライド制御の適用によりメディア間同期性能が改善できることを確認した。また、モバイル端末とダイヤルアップルータ間のデータリンクレベルに適用したPIAFSの再送機能は、無線区間における信頼性の高いデータ通信の実現には十分である。しかしながら、PIAFSの再送による遅延の発生が、メディア同期性能に大きな影響を与えていることを確認した。更に、CNRが小さい、若しくはCNRがある程度小さくてもフェージング周波数が大きい無線通信環境では、ダイヤルアップルータの送信待ちバッファでのオーバーフローにより、UDPデータグラムが欠落し、画質が乱れてしまうことを確認した。従って、画質を維持するためには、フロー制御やトラヒック制御など、欠落を回避、保証する機構が必要である。

TCHの切替やハンドオーバーがメディア同期性能に与える影響の系統的な性能評価、インターネットにおける遅延揺らぎがメディア同期に及ぼす影響の評価、インターネットで利用されている既存方式との性能比較は、今後の検討課題である。

謝辞 本研究は、一部、通信・放送機構 平成10年度「創造的情報通信技術研究開発推進制度」と文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)によって行われた。関係各位に感謝する。

文 献

- [1] 社団法人電波産業会, “第二世代コードレス電話システム標準規格 第三版 RCR STD-28,” Nov. 1997.
- [2] PHSインターネット・アクセス・フォーラム, “PHS Internet Access Forum Standard (PIAFS)仕様書,” March 1997.
- [3] ITU-T Recommendation H.323, “Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service,” Nov. 1996.
- [4] ITU-T Recommendation H.263, “Video coding for low bit rate communication,” March 1996.
- [5] G.Blakowski and R.Steinmetz, “A media synchronization survey: Reference Model, Specification, and Case Studies,” IEEE J. Sel. Areas in Commun., vol.14, no.1, pp.5-35, Jan. 1996.
- [6] 加藤正美, 白井憲義, 田坂修二, “PHSによる蓄積メディア伝送時のメディア同期性能評価,” 信学論(B-II), vol.J80-B-II, no.9, pp.749-759, Sept. 1997.
- [7] M.Kato, N.Utsui, and S.Tasaka, “Stored Media Synchronization Based on Buffer Occupancy in PHS,” Proc. IEEE PIMRC'97, pp.1049-1053, Sept. 1997.
- [8] S.Tasaka and Y.Ishibashi, “Stored Media Synchronization Scheme in ATM and Wireless Networks: A Performance Comparison,” Proc. IEEE ICUPC'97, pp.766-772, Oct. 1997.
- [9] RFC1661, “The Point-to-Point Protocol (PPP),” July 1994.
- [10] RFC1332, “The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP),” May 1992.
- [11] ITU-T Recommendation H.225.0, “Media stream packetization and synchronization for visual telephone systems on non-guaranteed quality of service LANs,” Nov. 1996.
- [12] S.Tasaka, H.Nakanishi, and Y.Ishibashi, “Dynamic Resolution Control and Media Synchronization of MPEG in Wireless LANs,” Conf. Rec. IEEE GLOBECOM'97, pp.138-144, Nov. 1997.
- [13] Y.Ishibashi and S.Tasaka, “A Synchronization Mechanism for Continuous Media in Multimedia Communications,” Proc. IEEE INFOCOM'95, pp.1010-1019, April 1995.
- [14] ITU-T Recommendation G.726, “40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM),” Dec. 1990.
- [15] ITU-CCIR Recommendation 500-5, “Method for the subjective assessment of the quality of television pictures,” Sept. 1992.
- [16] R.Steinmetz, “Human perception of jitter and media synchronization,” IEEE J. Sel. Areas in Commun., vol.14, no.1, pp.61-72, Jan. 1996.
- [17] T.Hasegawa, T.Hasegawa, T.Kato, and K.Suzuki, “Applying reliable data transfer protocol to real time video retrieval system,” IEICE Trans. Commun., vol.E80-B, no.10, pp.1482-1492, Oct. 1997.
- [18] G.Carle and E.W.Biersack, “Survey of error recovery techniques for IP-based audio-visual multicast applications,” IEEE Network, vol.11, no.6, pp.24-36, Nov./Dec. 1997.

(平成10年3月18日受付, 6月9日再受付)



加藤 正美 (正員)

昭59 名古屋大・理・物理卒。同年三洋電機入社。現在、同社ハイパーメディア研究所主任研究員。移动通信システム、無線・有線統合型マルチメディアネットワークの研究に従事。



中村耕太郎 (学生員)

平9 名工大・工・電気情報卒。現在、同大大学院・博士前期課程在学中。PHSによるマルチメディア通信の研究に従事。



田坂 修二 (正員)

昭46 名工大・工・電気卒。昭51 東大大学院博士課程了。同年名工大情報勤務。現在、同大・電気情報教授。昭59～60 UCLA 客員研究員。工博。マルチメディア通信、無線ネットワークの研究に従事。IEEE, ACM, 情報処理学会各会員。