

H.323-SIP ゲートウェイシステムの研究開発

笠井 裕之[†] 富永 英義^{† †}

[†] 早稲田大学 国際情報通信研究センター
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

^{††} 早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

kasai@giti.waseda.ac.jp

通信品質非保証型ネットワーク上で使用されるマルチメディア通信システム及び端末用のプロトコルとして、ITU-T H.323 勧告と IETF SIP 標準が存在する。インターネット上でのマルチメディア通信プロトコルとして広く普及している H.323 端末と、次世代モバイルネットワークパケット交換網用シグナリングプロトコルとして採用される SIP 端末間の相互接続への期待は急激に高まりつつある。本稿では、H.323 システムと SIP システム間のインターオペラビリティを提供する H.323-SIP ゲートウェイシステムの研究開発を行なう。H.323-SIP ゲートウェイは、H.323 エンドポイント、SIP ユーザエージェント間のシステムプロトコル変換を行ない、H.323 システムと SIP システム間の相互接続を実現する。さらに、SIP ユーザエージェントが接続するネットワーク状態に基づきメディアトランスコーディングを行ない、マルチ SIP ユーザエージェントへのオーディオビジュアル通信を実現する。

キーワード H.323, SIP, ゲートウェイ, プロトコル変換, メディアトランスコーダ

The Development of An H.323-SIP Gateway System

Hiroyuki KASAI[†] Hideyoshi TOMINAGA^{† †}

[†] Global Information and Telecommunication Institute, WASEDA University
1-3-10 Nishi-Waseda Shinjuku-ku, Tokyo 169-0051 JAPAN

^{††} Dept. of Electronics, Information and Communication Engineering, WASEDA University
3-4-1 Ohkubo Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 JAPAN

kasai@giti.waseda.ac.jp

There are currently two standards for signaling and control of multimedia communication system over packet-based network with no-QoS, namely ITU-T Recommendation H.323 and the IETF Session Initiation Protocol (SIP). H.323 is the most spread protocol for PC-based conferences, while SIP has been decided to be used as a call protocol of packet-based network for IMT-2000. Therefore, the inter-working between H.323 and SIP is of significant importance for the audiovisual communication beyond each systems. In this paper, an H.323-SIP gateway system is presented, which provides protocol translation and media transcoding based on connecting network characteristics.

Keyword H.323, SIP, Gateway, Protocol Translation, Media Transcoder

1. まえがき

現在、インターネットや通信品質(QoS: Quality Of Service)非保証型 LAN(Ethernet 等)等のネットワークで使用されるマルチメディア通信システム及び端末用プロトコルとして、ITU-T H.323 勧告 [1] と IETF SIP (Session Initial Protocol)[2] 標準が存在する。H.323 は、従来の電話網の制御から IP ネットワークにおけるマルチメディア通信の制御に発展したものであり、Microsoft 社の Netmeeting[3] 等の普及により、PC ベースのマルチメディア会議 / 電話として最も広く使用されている勧告である。一方 SIP は、インターネット上のデータ通信制御から発展したプロトコルであり、VoIP (Voice over IP) への期待の高まりとともに標準化及び開発が進められてきた。昨年開始した IMT-2000 サービスでは、交換回線網用オーディオビジュアル端末規格として 3G-324M が使用されているが、3GPP[4] はパケット交換網用端末規格として SIP を採用することを決定した。これを受けて、モバイルネットワーク上の SIP 端末と、インターネット上の H.323 端末とのシームレスオーディオビジュアル通信実現への期待は自ずと高まりつつある。このような背景を受けて、H.323-SIP 間の相互接続に関する検討は盛んに行われている [5] [6] [7] [8]。しかしながら、これらはシステムインターフェース相互接続性のみに着目しており、両端末が接続しているネットワーク異種性を考慮したメディアハンドリングについては言及していない。特に、モバイルネットワークからのアクセスを想定した場合、シグナリング変換だけでなく、メディア自体の適応的な変換(トランスコーディング)は必要不可欠となる [9]。さらに、メディアストリーミングサービス等を想定した場合、複数モバイル端末からのアクセス要求に対応した相互接続機能の実現が期待される。

そこで本稿では、H.323 システムと SIP システム間のインターオペラビリティを提供する H.323-SIP ゲートウェイ(GW)システムの研究開発を行う。本研究開発では、

- H.323 エンドポイント (EP), SIP ユーザエージェント (UA) 間のシグナリング変換
- SIP UA が接続するモバイルネットワーク特性を考慮したメディアトランスコーディング
- マルチ SIP UA への対応

の技術要素に着目し、H.323-SIP GW システムを実装することを目的とする。

2. システム設定条件

図 1 に想定システムを示す。本稿で前提とするシステムは、モバイルネットワークに接続された複数 SIP UA から、インターネット上の H.323 EP に接続し、オーディオビジュアルサービスを受用することを可能とするものである。但し、本稿では、H.323 EP から SIP UA への片方向メディア通信のみを対象とする。複数 H.323 EP と複数 SIP UA との通信は、本システムを複数構築することで対応可能となる。さて、H.323 ネットワークから

見た場合、H.323-SIP GW は H.323 EP として動作し、一方、SIP ネットワークから見た場合 SIP UA として動作する。本システムは H.323 EP-複数 SIP UA 間の相互接続だけでなく、SIP UA 要求及びアクセスネットワーク状態を考慮にいたれたメディア通信を実現するため、H.323-SIP GW にはシグナリング変換機能に加え、メディアトランスコーディング機能が存在し、全シグナル及びメディアストリームは当該ゲートウェイを通過する。よって、H.323-SIP GW は全 SIP UA と Point-To-Point の呼を生成し、SIP ネットワークから見た場合、集中 (Centralized) 型 SIP サーバ [17] として機能する。即ち、スター型のトポロジー形態を形成するものとする [16]。また議論を簡略化するため、端末登録、通信許可等の機能を有する H.323 Gatekeeper エンティティ及び SIP Register/Location Server 機能については言及しない。よって SIP UA からの接続要求に対応する H.323 EP のアドレスは、予め H.323-SIP GW が既知であるものとする [5]。さらに、H.323-SIP 相互接続時に問題となるメディア能力交換等については、H.323-SIP GW と H.323 EP 間或は SIP UA 間とのコールセッティングアップタイミングが独立しているため、簡易に処理可能となる。

3. H.323-SIP Gateway (GW)

図 2 に H.323-SIP GW のブロック図を示す。H.323-SIP GW は、H.323 EP と SIP UA との相互通信を実現するため、H.323 Interface 及び SIP Interface を有する。特に、複数 SIP UA からの接続を可能とするため、Multiple SIP Message Receiver により全ての受信 SIP メッセージをハンドリングする。Multiple SIP Message Receiver は、受信 SIP メッセージから送信 SIP UA を識別し、各 SIP Interface へ受信 SIP メッセージを出力する。H.323-SIP GW システムは、SIP UA からの接続要求にかかわらず、GW システム起動後に H.323 Interface 及び Media Transcoder (図 2 中 A 部分) を作成する。そして、H.323 EP に接続し、Media Transcoder は複数種のメディアストリーム生成を開始する。その後、各 SIP UA からの接続要求に応じて SIP Interface 及び Media Transmitter (図 2 中 B 部分) を生成し、各 SIP UA へのメディア送信を開始する。以下では、各処理器について説明する。

3.1 H.323 Interface

H.323 Interface は、H.323-SIP GW と H.323 EP 間のシグナリング及びメディア送受信機能を実現する。本インターフェースは、H.225.0 [10] シグナリング機能により呼接続及び呼開放のための Q.931 メッセージを受信する。各制御情報を Q.931 メッセージの UUIC 中 UserInfo に格納し、ASN.1 記述によって表現する。また、H.245 [11] 制御機能により、能力交換、マスタースレーブ決定、論理チャネル生成 / 切断等を行う。H.225.0 シグナリングメッセージ、H.245 制御メッセージとともに TCP 上で送受信する。さらに RTP (Real Time Protocol) [12] メディア / RTCP (RTP Control Protocol) [12] パケット送受信機能を有し、各パケットとも UDP 上で送受信する。

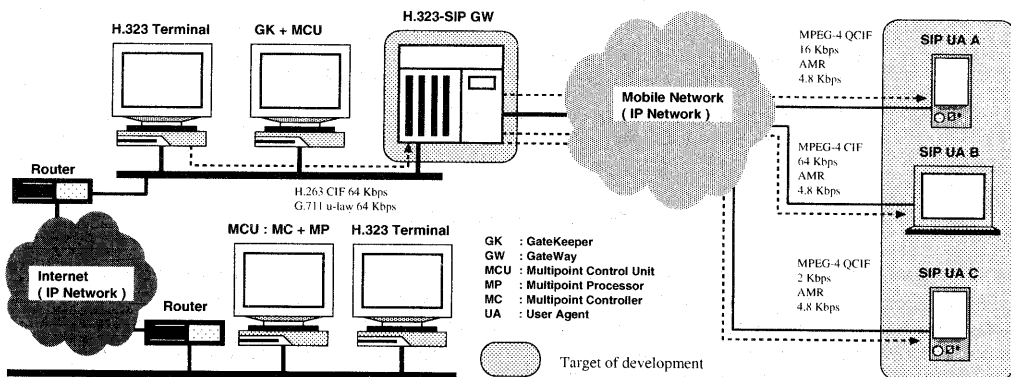


図 1: 想定システム

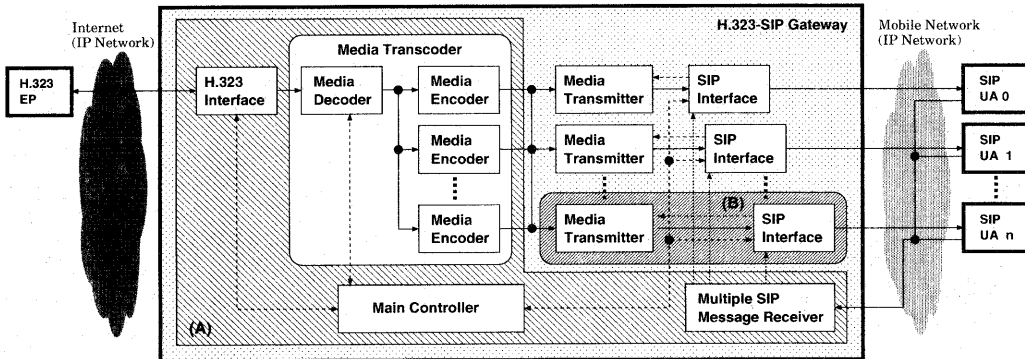


図 2: H.323-SIP GW ブロック図

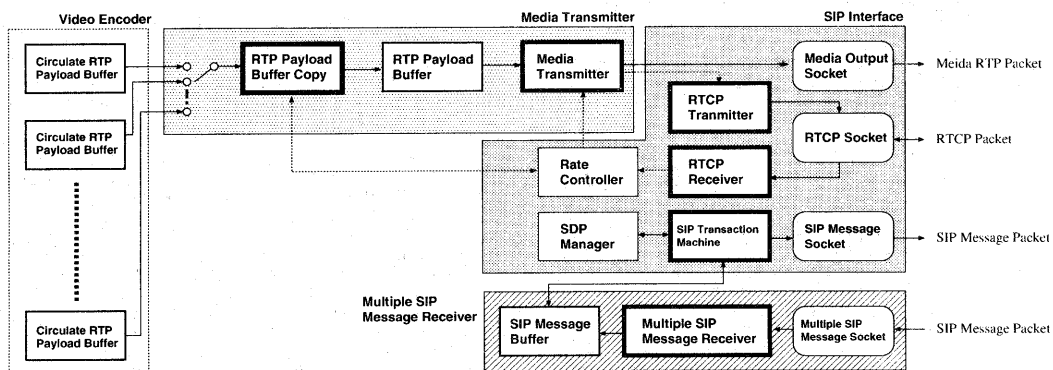


図 3: Media Transmitter / SIP Interface ブロック図

3.2 Multiple SIP Message Receiver

H.323-SIP GW は、複数 SIP UA からの接続を可能とするため、各 SIP UA に依存しない独立した SIP メッセージ受信器を有する。本受信器は、Well-known な SIP ポート番号 5060 に到着した SIP メッセージを取得し、メッセージに含まれる Call-ID に基づき、受信メッセージを各 SIP Interface へ出力する。ここで、新たな Call-ID を有する INVITE メッセージを受信した場合、Main Controller に対して SIP Interface 生成 / 処理開始要求を出力する。

3.3 SIP Interface

SIP は、H.323 端末における H.225.0 及び H.245 に相当する制御、セッション制御機能を提供する。但し、SIP の制御信号の伝送には UDP もしくは TCP を用いるが、主に UDP が広く用いられている。SIP Interface のブロック図を図 3 に示す。SIP は Transaction 型のプロトコルであり、現在の状態と各 UA 間の送受信される Request/Response メッセージにより各動作を決定する。SIP Transaction Machine は、SIP UA からの新たな INVITE メッセージにより生成されステートマシンを管理する。

SDP Manager は、送信用 SDP (Session Description Protocol) [13] 記述を作成するとともに、受信 SIP メッセージ中の SDP 記述を解析し、トランスポートアドレス、端末メディア能力情報等を取得する。SIP のセッション記述、時間記述及びメディア記述には、一般的に SDP が使用され、< 記述子 > = < 値

> 形式で表現される。記述子 < m > により、メディアの種類 (audio/video)、RTP 用トランスポートアドレス (ポート番号)、伝送タイプ (RTP)、ペイロード番号を記述し、端末メディア能力交換、アドレス情報交換機能を提供する。さらに、記述子 < a > により、クロックレート、ダイナミック RTP ペイロードタイプ、符号化パラメータ、送受信方向 (sendonly, recvonly, etc)、フレームレート等のメディア属性を表現可能であり、記述子 < b > によりセッション / メディアレベルの最大伝送レートを指定可能である。

RTCP Transmitter/Receiver はネットワーク状態測定を行なう RTCP パケット送受信機能を実現する。UA 間で RTCP パケットを送受信することで、フロー制御だけでなく、送受信装置のクロック同期、メディア間再生時刻比較、情報源識別等の機能を提供する。RTCP Transmitter は Sender Report パケットを SIP UA へ送信し、RTCP Receiver は Receiver Report パケットを SIP UA から受信する。RTCP で使用するトランスポートアドレスについては、SIP UA からの INVITE-ACK メッセージ中の SDP 記述から取得する。具体的には、RTCP で使用するポート番号は、当該 RTP メディアストリームが使用するポート番号に 1 を加算した値を採用する。但し、RTP ストリームの属性が sendonly の場合、RTCP 用のポート番号が送信される [14]。RTCP のレート制御については、セッション帯域の 5% 以内とし、この内 RTCP 送信者は 25% を、受信者は 75% を使用し、5[sec] に最低 1 個の RTCP パケットを送信することを義務づける [15]。

Rate Controller は、SIP UA とトランスコーダ間でのネットワーク状態を監視し、メディア再生品質劣化の要因となるパケット損失を抑制する機能を提供する。これまで、IP 上のメディアス

トリーミングのための TCP-friendly 制御メカニズムに関する検討は数多く報告されており、有効性が示されている。このような制御アルゴリズムは、AIMD (Additive Increase Multiplicative decrease) を用いた TCP 輻輳制御方式を模擬する方式、及び TCP スルーポイントモデルを使用する方式、に大別される。前者は算出される目標ネットワーク帯域が大きく変動し、メディア情報の品質変動が急激に変化するため、リアルタイムメディア伝送には不向きである。一方後者は、RTT (Round Trip Time)、再送タイムアウト時間、及びパケット損失率を使用して、目標ネットワーク帯域を算出するとともに、指数関数を使用したフィルタリングにより、前述パラメータのスムーズ化及び目標ネットワーク帯域値のスムーズ化を実現する。具体的には、(i) RTCP パケット情報を用いて RTT、再送タイムアウト時間、及びパケット損失率を算出、(ii) 目標ネットワーク帯域推定、(iii) 各メディア送信目標レート推定、(iv) Media Transmitter への出力、の各ステップから構成される。本稿では、文献 [18] を用いて算出されるメディア送信目標レートを後続の Media Transmitter で使用する。

3.4 Media Transcoder

Media Transcoder は、Video Transcoder と Audio Transcoder から構成される。

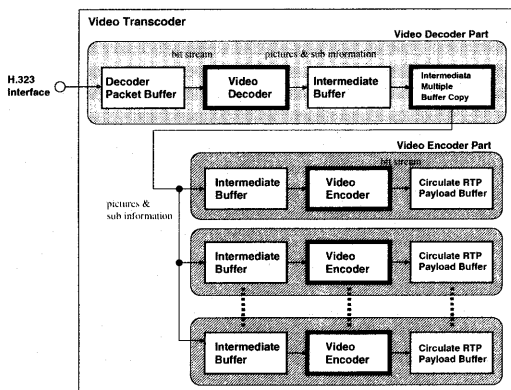


図 4: Video Transcoder

ビデオトランスコーダは、変換対象ビデオビットストリームを入力し、所定のフォーマットへ変換/出力する機能を提供する。ここで“所定のフォーマット”とは、符号化方式、画像サイズ、フレームレート、ビットレートを指す。本稿では、Pixel-Domain トランスコーダアーキテクチャを採用し、Video Decoder と Video Encoder のカスケード結合によりトランスコーディングを行なう。即ち、Video Decoder から出力される中間データ (画像データ、サブ情報) を Video Encoder に入力し、再符号化を行う [19] [20]。ビデオトランスコーダは、入出力フォーマットとして H.261 [21]、H.263 [22]、H.263v2、MPEG-4 (Simple Profile Level 3) [23]、H.26L (TML8) [24] を、画像サイズは CIF 及び QCIF をサポートする。

Video Decoder Part は、H.323 Interface から入力されるビデオビットストリームを Video Decoder へ入力/復号し、復号中間データを Intermediate Buffer へコピーする。これらのデータは Intermediate Buffer Multiple Copy により Video Encoder Part 中の各 Intermediate Buffer へコピーする。復号中間データは、復号画像、及びタイムスタンプ、ピクチャヘッダ情報、マクロブロック (MB) ヘッダ情報、発生符号量マップ情報等のサイド情報から構成される。特に復号画像については、Video Decoder Part にダウンサンプリングフィルタを使用して数種のサイズの画像を保持することにより、後続の Video Encoder Part にて数種のサイズのビットストリームを作成することを可能とする。Video Encoder Part は、Intermediate Buffer から入力される復号中間データを Video Encoder へ入力し、符号化及び RTP パッケージ化を行なう Circulate RTP Payload Buffer へ出力する。本バッファは、後続の Media Transmitter からのデータ読み出しに関係なく、Video Encoder の書き込み速度に従って上書きを行って

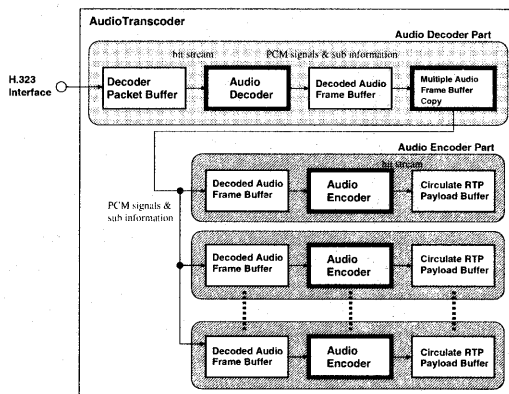


図 5: Audio Transcoder

く。これは、3.5 で述べるように、複数の Media Transmitter が各アクセスタイミングに応じて独立に読み出しを行うことを可能とするためである。本処理は、Video Encoder による書き出し速度が、Video Transmitter の読み出し速度と比較して極めて遅いという特性により実現される。Video Encoder から Circulate RTP Payload Buffer へ書き出されるデータは、RTP パッケージ化したペイロード部分であり、RTP ヘッダについては、後続の Video Transmitter にて作成される。但し、RTP パッケージ化については、H.261 は RFC2032 [25]、H.263 は RFC2190 [26]、H.263+ は RFC2190 [27]、MPEG-4 は RFC3016 [28] を使用する。また、H.26L は H.263 と同様に RFC2190 を使用する。

ビデオトランスコーダは、画像のリサイズ、フレーム間引き、再量子化処理によりビットレートを削減する。また、各ピクチャ、MB タイプ、量子化パラメータ等の情報は、基本的に入力ビットストリームに基づいて決定する。さらに、動きベクトルについては、入力ビットストリーム中に含まれる動きベクトルを再利用することで処理の簡略化を実現する。特にフレーム間引きが起こる場合の動きベクトルの再生成方法については文献 [29] を使用する。但し、入力ビットストリーム中の動きベクトルは、出力ビットストリーム中の正確な動きを再現しているとは限らず、そのまま使用した場合、画質劣化を引き起こすことが報告されている [30]。本稿では、再生成された動きベクトルに対して局所領域での動き検出を行い、動きベクトル再利用時の画質劣化を抑制する。さらに、ビデオトランスコーダは、エラー耐性エンハンスメントトランスコーダの特徴を有する。具体的には、周期的イントラピクチャの挿入、適応的イントラリフレッシュ MB の挿入、及び適応的再同期用マーカーの挿入を実現する [31] [32]。再同期用マーカーについては、H.263 スライス (Annex K)、MPEG-4 Resync Marker 等を入力ビットストリームの入力符号量マップ情報を元に挿入する。

さて前述したように、Video Encoder は、エラー耐性強化を目的としてイントラピクチャの周期的挿入を実現する。さらに、これは SIP Interface から得られるメディア送信目標レートに従って、Video Transmitter が読み出す Circulate RTP Payload Buffer を適応的にスイッチングする時、スイッチング直後のドリフト誤差伝搬を回避し、極度な画質劣化を抑制することを目的としている。但し、イントラピクチャの発生符号量は P ピクチャ等と比較して非常に大きく伝送遅延を招くため、通常リアルタイムビデオ配信においては、イントラピクチャの頻繁な挿入を行わない。よって、イントラピクチャによる極度なバッファ遅延については、後続の Video Transmitter におけるバッファ Awareness 伝送により低遅延化を実現する。

一方、オーディオトランスコーダは、変換対象オーディオビットストリームを入力し、所定のフォーマットへ変換/出力する機能を提供する。トランスコーダアーキテクチャは、Audio Decoder と Audio Encoder のカスケード結合トランスコーダアーキテクチャであり、Audio Decoder より出力される中間データ (PCM 信号、サブ情報) を Audio Encoder に入力し、再符号化を行う。本トランスコーダは、入出力フォーマットとして、G.711 A-law [33]、GSM Full-Rate Codec [34]、AMR (Adaptive Multi-Rate) [35] に対応している。各処理器については、ビデオトランスコーダと同様である。

3.5 Media Transmitter

Media Transmitterは、SIP Interfaceから得られるメディア送信目標レートに基づいてCirculate RTP Payload Bufferリストから最適なバッファを検索し、当該バッファからRTPペイロード情報を読み出す。本処理はRTP Payload Buffer Copyにより実現し、読み出したデータはRTP Payload Bufferへ蓄積する。Media Transmitterは、RTP Payload Bufferからデータを読み出し、RTPパケットヘッダを付与し、SIP InterfaceからSIP UAへ送信する。RTP Payload BufferはCirculate RTP Payload Bufferと異なり、Media Transmitterにより読み出しが終了したメモリアドレスのみRTP Payload Buffer Copyが新たなデータ書き出しを行う。これにより、Media Transmitterの送信速度低下によるバッファ滞留の度を測定することができ、バッファ滞留値が設定値より大きくなった場合には、1つ低レート用のCirculate RTP Payload Bufferへスイッチングする。

ビットストリームスイッチングについては、新たに算出されたメディア送信目標レート R_{new} が現在使用している伝送レート R_{curr} より大きい場合、ビットレート変更イベント(Event UP)を受信した直後にスイッチングを行わず、現在アクセスしているCirculate RTP Payload Buffer中の次のパケットがIピクチャ先頭パケットの時、 R_{new} に適合したCirculate RTP Payload Bufferへ切替えを行なう。切替え後は、メモリアドレス箇所を、現在書き込みが行われている箇所から n_{up} 分時間の後方へ移動し、メモリ中のバッファを検索する。ここで、既に切替え前に読み出しを行ったピクチャより新しいIピクチャの先頭を見つけ、コピーを開始する(Read Start Point Up)。一方、 R_{new} が R_{curr} より小さい場合、ビットレート変更イベントを受信した直後(Event Down)に、コピー中のピクチャが終了次第、ビットストリームを切替え、書き出し箇所から検索を行い、既に切替え前に読み出しを行ったピクチャより新しいIピクチャの先頭を見つけ、コピーを開始する(Read Start Point Down)。

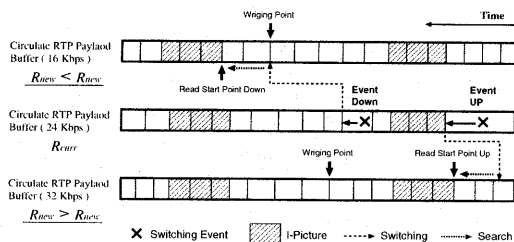


図 6: ビットストリームスイッチング

4. システム動作シーケンス

システム動作シーケンスは、H.323-SIP GWとH.323 EP間呼セットアップ及びメディア送信開始(Phase 1)、H.323-SIP GWとSIP UA間呼セットアップ及びメディア送信開始(Phase 2)、H.323-SIP GWとSIP UA間メディア停止及び呼の開放(Phase 3)、H.323-SIP GWとH.323 EP間メディア停止及び呼の開放(Phase 4)の、4つのPhaseに大別される。

以下では、図7に基づき、Phase 1及びPhase 2について説明する。

Phase 1

- H.323-SIP GWにてH.323 Interfaceを作成し、予め決められたH.323 EPへH.225.0 SETUPメッセージを送信することで呼セットアップ処理を開始する。
- H.323-SIP GWがH.225.0 ALERTING及びCONNECTメッセージを受信した後、H.245 Terminal Capability Set及びACKメッセージを用いて能力交換を行う。
- その後、H.245 Open Logical Channel及びACKメッセージを用いて論理チャネルを開き、RTPメディアストリームの送受信を開始する。
- 同時に、Media Transcoderを生成し、処理を開始する。生成された出力ビットストリームは、Circulate RTP Payload Bufferへ書き出される。

Phase 2

- SIP UAがINVITEメッセージをH.323-SIP GWへ送信することにより、H.323-SIP GW-SIP UA間の呼セットアップが開始される。
- H.323-SIP GWは、受信したINVITEメッセージのCall-IDから当該SIP UAが新規UAであるかを判定し、新規SIP UAである場合、SIP Interfaceを作成する。次に、INVITEメッセージ及び包含されているSDP記述を解析することで、SIP Interfaceの初期設定を行ないSIP Transaction Machineを開始する。そして、SIP UAとの通信を開始し、200 OKを始めとするResponseメッセージをSIP UAに送信する。
- SIP InterfaceがACKメッセージを受信すると、Media Transmitterを作成するとともに、その初期化を行う。
- Media Transmitterを開始し、INVITEメッセージから得られたSIP UAのトランスポートアドレスへのメディアストリーム送信を開始する。

5. 処理量評価

本システムの処理量評価を行う。ビデオトランスコーダ画質評価及びH.323-SIP GWにおける遅延量については、文献[36]を参照のこと。本稿ではSIP UA数とCPU占有率の関係を測定した。測定は、単位時間における当該アプリケーションのCPU時間を測定し、その割合を算出した。評価環境として、OS: Windows 2000, CPU: Pentium IV 1.5[GHz]のPCを使用した。但し、本実験ではビデオのみに限定し、入力ビットストリームはH.263 QCIF 128Kbps, 出力ビットストリームはMPEG-4 QCIF、8, 16, 24, 32Kbpsの4種類のビットストリームとした。SIP UA数とCPU占有率の関係を図8に示す。

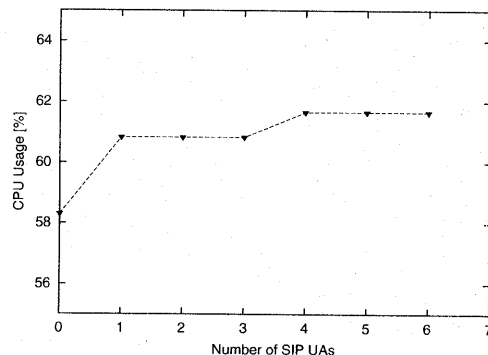


図 8: SIP UA 数と CPU 占有率の関係

図8から、SIP UAの増加に伴いCPU占有率は増加しているものの、H.323 Interface、Media Transcoder部の処理量と比較して、その増加量は比較的小さいことが分かる。

6. むすび

本稿では、H.323システムとSIPシステム間のインターオペラビリティを提供するH.323-SIPゲートウェイシステムの研究開発を行なった。本開発H.323-SIPゲートウェイは、H.323エンドポイント、SIPユーザエージェント間のシステムプロトコル変換を行ない、H.323システムとSIPシステム間の相互接続を実現する。さらに、SIPユーザエージェントが接続するネットワーク状態に基づきビットストリームスイッチングを行うことで、複数SIPユーザエージェントへのオーディオビジュアル通信を実現する。今後は、提案システムについて詳細な評価を行ない、より効率的/機能的なスケーラブル通信システムについて検討を行っていく。

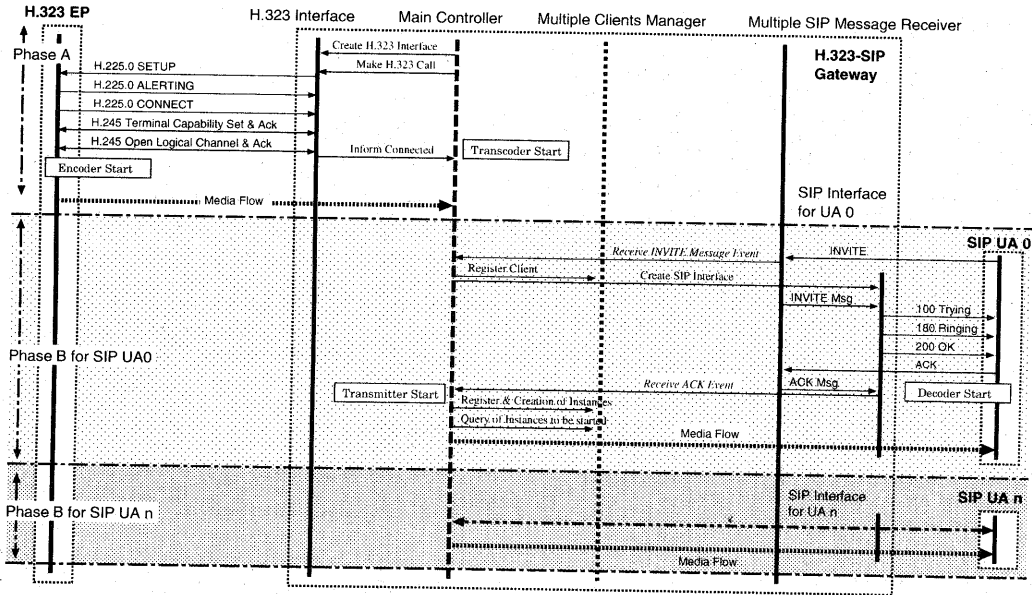


図 7: システム動作シーケンス

参考文献

[1] ITU-T, "Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non guaranteed quality of service", Recommendation H.323, March, 1996.

[2] M Handley, H.Schulzrinne, E.Schooler and J.Rosenberg, "SIP: Session Initial Protocol", RFC 2543, IETF, March, 1999

[3] <http://www.microsoft.com/>

[4] <http://www.3gpp.org/>

[5] K Singh and H.Schulzrinne, "Interworking Between SIP/SDP and H.323", IP Telephony Workshop'2000, Berlin, April, 2000

[6] K Singh and H.Schulzrinne, "Interworking Between SIP/SDP and H.323", Internet Draft, IETF, January 2000, Work in progress.

[7] D.R.Wisely, "SIP and conversational Internet applications", BT Technol. Journal Vol.19, No.2, pp.107-118, April 2001,

[8] A.Stephens and P.J.Cordell, "SIP and H.323 - interworking VoIP networks", BT Technol. Journal Vol.19, No.2, pp.119-127, April 2001

[9] T.Warabino, S.Ota, D.Morikawa and M.Ohashi, "Video Transcoding Proxy for 3Gwireless Mobile Internet Access", IEEE Communication Magazine, pp.66-71, October, 2000

[10] ITU-T, "Call signalling protocols and media stream packetization for packet-based multimedia communication systems", Recommendation H.225.0, November, 2000.

[11] ITU-T, "Control protocol for multimedia communication", Recommendation H.245, July, 2001.

[12] Schulzrinne, H. Casner, S. Frederick, R. and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications", RFC 1889, January 1996.

[13] M.Handley and V.Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", RFC 2327, IETF, April, 1998

[14] J.Rosenberg and H.Schulzrinne, "An Offer/Answer Model with SDP", draft-rosenberg-mmusic-sdp-offer-answer-00.txt, October, 2001

[15] S.Casner, "SDP Bandwidth Modifiers for RTCP Bandwidth", draft-ietf-avt-rtcp-bw-03.txt, March, 2001

[16] J.Rosenberg and H.Schulzrinne, "Model for Multi Party Conferencing in SIP", draft-ietf-sipping-conferencing-models-00.txt, November, 2001

[17] K.Singh, G.Nair and H.Schulzrinne, "Centralized Conferencing using SIP", IP Telephony Workshop'2001, New York City, April, 2001

[18] Y.-G. Kim, J.W.Kim, and C.-C.J.Kuo, "Smooth and fast rate adaptation mechanism for TCP-friendly Internet Video", Proc. Packet Video Workshop 2000, May 2000

[19] J.Youn, M.T.Sun and J.Xin "Video Transcoder Architecture for Bit Rate Scaling of H.263 Bit Streams", ACM International Multimedia Conference, pp.243-250, October, 1999.

[20] J.Youn, J.Xin, M.T.Sun and Y.-Q.Zhang, "Video transcoding for multiple clients", Visual Communications and Image Processing 2000, Proceedings of SPIE, Vol.4067, pp.76-85, June, 2000.

[21] ITU-T, "Video codec for audiovisual services at p x 64kbit/s", Recommendation H.261, 1993.

[22] ITU-T, "Video Coding for Low Bitrate Communication", Recommendation H.263, May, 1996.

[23] ISO/IEC 14496-2, "Information technology - Coding of audiovisual objects - Part 2: Visual", 1999

[24] ITU-T, "H.26L Test Model Long Term Number 8 (TML8) draft0", June 2001.

[25] Huitema, "RTP Payload Format for H.261 Video Streams", RFC 2032, October 1996.

[26] C. Zhu, "RTP Payload Format for H.263 Video Streams", RFC 2190, September 1997.

[27] C.Bormann, L.Cline, G.Deisher, T.Gardos, C.Maciocco, D.Neweell, J.Ott, G.Sullivan, S.Wenger and C.Zhu, "RTP Payload Format for the 1998 Version of ITU-T Rec H.263 Video (H.263+)", RFC 2429, October 1998.

[28] Y.Kikuchi, T.Nomura, S.Fukunaga, Y.Matsui and H.Kimata, "RTP Payload Format for MPEG-4 Audio/Visual Streams", RFC 3016, November 2000.

[29] A. Shimizu, A.Sagata, H.Watanabe and N.Kobayashi "Bitstream Scaling by Reference Frame Altering", IEICE Transaction Vol.J83-D-II, pp.967-976, March, 2000.

[30] J.Youn, M.T.Sun, and Chia-Wen Lin "Motion Estimation for High Performance Transcoding", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.44, no.3, pp.649-658 August, 1998.

[31] G.d.l.Reyes, A.R.Reibman, S.-F.Chang and J.C.-I.Chuang, "Error-Resilient Transcoding for Video over Wireless Channels", IEEE Journal on Selected Areas In Communications, Vol.18, No.6, June, 2000

[32] S.DOGAN, A.CELLATOGLU, A.H.SADKA and A.M.KONDOZ, "Error-Resilient MPEG-4 Video Transcoder for Bit Rate Regulation" Proceedings of the Fifth World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2001), Vol. XII, Part. II, Orlando, Florida, USA, 22-25 July 2001, pp. 312-317.

[33] ITU-T, "Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies", November, 1988.

[34] European digital cellular telecommunications system (Phase 1), "Full rate speech; Transcoding (GSM 06.10)".

[35] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) "Adaptive Multi-Rate (AMR) speech coding 1998

[36] H.Kasai and M.Nilsson, "The Implementation of an Audiovisual Transcoding System", IEEE International Conference on Multimedia System 2001, FA0.02, August, 2001