

ストリーミング技術を用いたリアルタイム遠隔授業システムの考察

田 中 成 治*・村 井 裕**

Study on Real-Time Remote Teaching System Based on the Streaming Technology

Seiji Tanaka and Yutaka Murai

Streaming is a useful technology for computer networks as used in the live broadcasting of sports or music through the Internet owing to the recent progress in data processing speed of computer systems.

In this paper, the authors discuss the feasibility of a real-time remote teaching system based on the streaming technology, since the streaming technology is available at any place where the Internet is provided. The authors show some results of streaming experiment performed with the computer network of FUT.

Streaming technology, however, provides only a one-way communication means for computer networks similar to the ordinary TV or radio broadcasting. This brings about some disadvantages to the students in the remote teaching system such as inconvenience in searching materials already explained or making questions at will.

The authors propose an idea to overcome the above disadvantages by constructing a quasi-interactive system, which involves additional functions such as sending materials for study by the aid of presentation tools or sending discussions by chat through the Internet.

1. はじめに

インターネットに接続されているコンピュータは年々増加し、日本国内でのインターネット普及率は 50%に届く勢いである。インターネット技術の進歩も目覚しく、画像だけにとどまらず、音楽や映像を手軽にインターネット上で楽しめるようになってきた。

本研究ではインターネット上のリアルタイム映像・音声配信技術（ストリーミング技術）を使い、安価で効率的な遠隔授業を行うためのシステムについて考察する。また学内だけにとどまらず家庭でもスムーズに受講できるシステムを構築するための考察を行う。

2. ネットワークの制御構造

2.1 コンピュータ通信の階層モデル

通信プロトコル TCP/IP は世界的に利用されているが、その階層構造は公的な標準化機構が制定した世界標準モデルではない。コンピュータ通信の階層モデルに関する世界標準は ISO（国際標準化機構）が定めた開放系相互通信システム OSI（Open System Interconnection）のモデルである。図 1 に両者の対応関係を示した。この世界標準に対して TCP/IP 階層モデルは一般的に業界標準と呼ばれる。TCP/IP は国際標準ができる以前から実用されてきたが、TCP/IP 階層モ

* 電気工学専攻大学院生(前期課程) ** 経営工学科

デルは国際標準と相互に関係しながら、インターネットでの実験や実運用の経験を通して生み出されてきたモデルである。一方 OSI の 7 階層モデルは、本来あるべき理想的な通信機能とアーキテクチャやサービスの議論から決められたものである。

A P 層		アプリケーション層
		プレゼンテーション層
		セッション層
T C P 層	U D P 層	トランスポート層
I P 層		ネットワーク層
ネットワークインターフェース層		データリンク層
物理層		物理層

図 1 TCP/IP 階層モデル(左)と OSI 階層モデル(右)の比較

2.2 TCP/IP ⁽¹⁾

インターネットは複数のネットワークがルータやゲートウェイで接続された複合ネットワークである。I P (Internet Protocol) は、それがあたかも 1 つの巨大なネットワークのイメージで通信が可能となるようなインタフェースを提供する。I P 層の基本的機能として、図 1 に示す階層構造において上位の T C P (Transmission Control Protocol) や U D P (User Datagram Protocol) から送信依頼されたメッセージを、ネットワーク上の送信単位であるデータグラム (パケット) に分割するとともに、その宛先に応じて受信先までデータを送り届ける役割を果たす。実際にこの機能を実現するのはホスト内のプログラムとネットワークを接続するルータ内のプログラムである。I P はあくまでも目的のホストまでメッセージを届ける役割を担うが、途中でデータグラムの一部が失われた場合、I P としてデータ回復や再送は行わず上位レイヤである TCP の機能に処理を任せる。

上位にある TCP 層はこの IP 層の機能を前提として、送信元ホストと受信先ホストを相互に連携して高信頼な通信サービスを提供する。図 2 はパケット送信のための TCP のフィールドフォーマットを示している。データ部の前にあるヘッダ部には確認応答番号などのフィールドが設けられ、通信の完全性を追及する構造になっている。

0			16			31		
送信元ポート番号				送信先ポート番号				
シーケンス番号								
確認応答番号								
ヘッダ長		予約		コードビット		ウィンドウ		
チェックサム					緊急ポインタ			
オプション						パディング		
データ								

図 2 TCP のフィールドフォーマット

2.3 UDP

UDPはその名前の通り、データグラムサービスに適用し、IPがもつサービスと同様なサービスをアプリケーションに対して提供する。図1に示すようにUDPはIPに対してTCPと同等の階層に属するが、UDPはTCPのように事前のコネクション確立、あるいは再送制御やフロー制御といった高信頼な転送機能は提供せず、よりシンプルにメッセージを送受信することを目的としている。図3はUDPのフィールドフォーマットを示しており、TCPの場合と比較してシンプルであり、通信の完全性の追求を犠牲にしていることが理解できる。映像や音声は、データの欠損による多少の乱れが発生しても実害が少ないため、データの完全性はあまり重視されない。完全性よりも、データの流れが阻害されることを防止するために、通信の簡潔性を追求することが重要視される。そのため音声や映像といったマルチメディア関連のデータはTCP層ではなくUDP層を介して通信される。

0	16	31
送信元ポート番号	受信先ポート番号	
ヘッダ長	チェックサム	
データ		

図3 UDPのフィールドフォーマット

本論文で取り上げるストリーミングにもUDPが適用される。

3. ストリーミング技術⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

3.1 ストリーミングの特徴

ストリーミングはインターネットでラジオ放送やテレビ放送を実現するために必要な技術である。従来の方法で映像・音声をダウンロードする場合には、全データのダウンロードが終了するまで再生できないため、リアルタイム性を期待することができない。例えば、Shockwave というソフトでFlashアニメが動く場合、データが全部送られてくるまでアニメーションは始まらない。しかし、ストリーミング技術を使うと、音声でも映像でも、すぐに再生が始まる。インターネット上で音声や映像を見る場合、ファイルサイズが大きいために、従来の方法でダウンロードするには時間がかかるが、ストリーミングでは、サーバが流すデータをユーザが受け取りながら再生していく。すなわちストリーミングでは基本的に「ダウンロードと再生」時の待ち時間がほとんどないため、実況放送でもリアルタイムに近い状態で音声・映像を楽しむことができる。音声や映像がサーバ側から送信されると同時にクライアント側で受信、再生され、文字通り「ストリーミング＝流れ」のように再生される。ストリーミングの特徴をまとめると以下のようになる。

(a)映像などをダウンロードする際にダウンロードし始めてから再生するまでの待ち時間が小さく、ほぼリアルタイムに音声・映像を見ることができる。待ち時間は数秒程度である。

(b)全てのデータをダウンロードする必要がなく、ハードディスクなどの大容量メモリを必要としない。

ストリーミング技術を利用したサービスには2つの形態がある。一つは音声や映像をリアルタイムに配信するライブ放送、いわゆる生中継である。もう一つはサーバが有する大容量メモリに音声や映像データを保存し、ユーザから要求があった場合に配信するオンデマンド放送である。

遠隔授業においても上記の2つの利用形態が考えられる。

3.2 ストリーミングの仕組み

ストリーミングの仕組みを図4に示す。サーバ側から送信されるデータが音声であればWAVE、映像であればAVI形式のデジタルデータに変換される。さらにMPEGなどにより、データが圧縮されデータ量が減少した状態で送信される。クライアント側では上記と逆のプロセス、すなわち受信したデータがMPEGなどにより解凍され、WAVE・AVIで再生可能なデータに変換される。

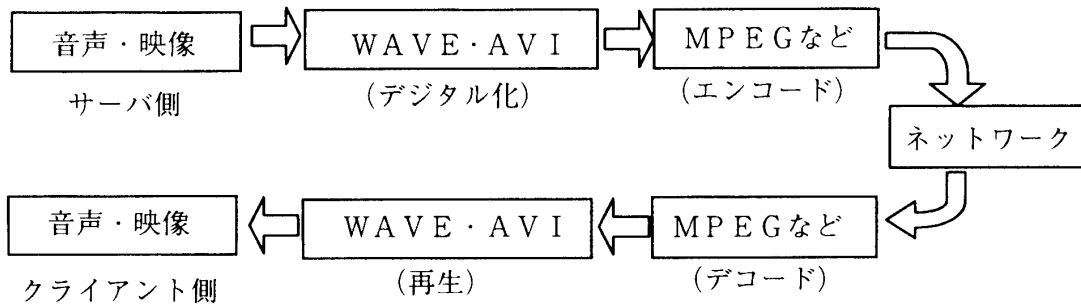


図4 ストリーミングの流れ

4. ストリーミング用ソフトウェア

ストリーミングを行う上で必要なストリーミング用ソフトとして現在主流のもの2種類を表1に示した。これらは何れも今回の実験に供したものである。

表1 各社ストリーミング用ソフトウェア

会社名	Real Network 社	マイクロソフト社
システム名	Real System	Windows Media Technologies
配信サーバ	Real Server	Windows Media Services
エンコーダ	Real Producer	Windows Media Encoder
視聴プレーヤ	Real Player	Windows Media Player

4.1 Real System

Real Systemは「RealAudio」(音声)、「Real Video」(映像)、「Real Flash」(アニメーション)などのデータタイプのコンテンツ製作から配信までを総合的に管理しているシステムである。Real Systemは、図5に示すように動画や音声の変換などを行うエンコーダ(電波放送ではテレビカメラ、編集マシンに相当するもの)、配信や管理を行うサーバ(電波放送ではテレビ局に相当するもの)、クライアント側でクリップの再生を行うプレーヤ(家庭のテレビに相当するもの)の3要素から成り立っている。

インターネットでのライブ放送をするためには、配信側でReal Encoderを使って映像・音声を取り込み、Real Video・Real Audioファイルに変換(圧縮)する。この時、「クリップ情報」、「ターゲットとなるネットワーク環境」、「オーディオ・ビデオの品質」、「ファイルタイプ」などの設定を行う。そして圧縮されたファイルをReal Serverにアップロードし、インターネット上に配信

する。一方、受信側では<rtsp://[Real ServerのIPアドレス]/encoder/[ファイル名].rm>にアクセスすることによって映像・音声を受信できる。

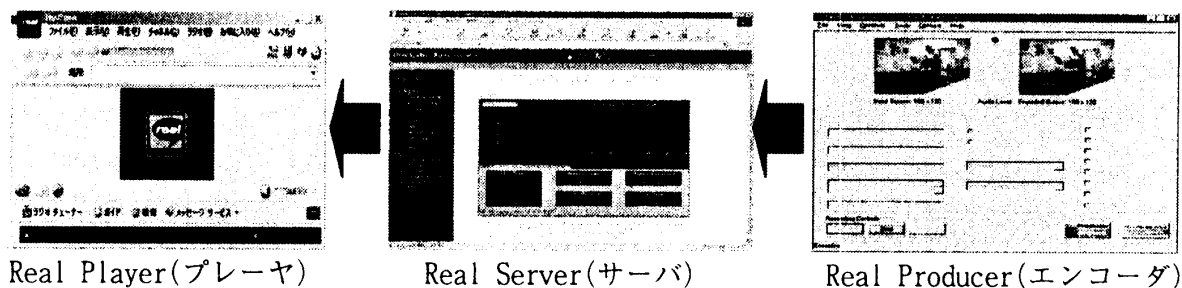


図5 Real Systemにおけるストリーミングの流れ

4.2 Media Technologies

Media Technologies も Real System と同じように、コンテンツの作成・配信・再生のためのソフトウェアをサポートしている。その中心となるファイルフォーマットはASF (Advanced Streaming Format) である。Media Technologies も Real System 同様、エンコーダで映像・音声を取り込んで圧縮し、サーバで配信する。そして MediaPlayer で<mms://[サーバ IP アドレス]/ファイル名>にアクセスし、受信する。(図6)

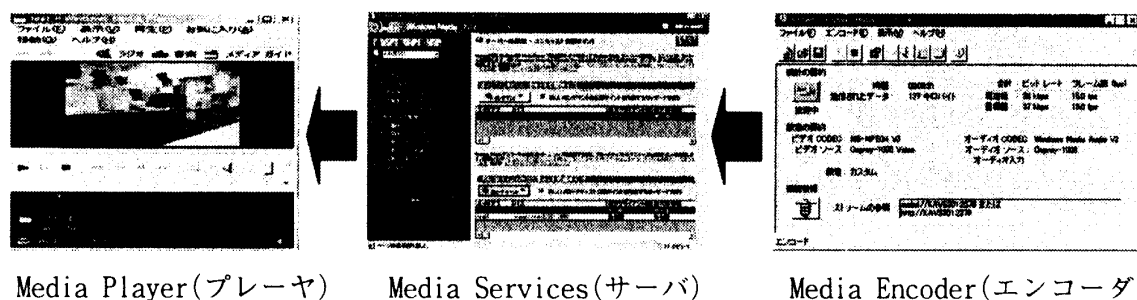


図6 Media Technologies におけるストリーミングの流れ

5. Real System と Media Technologies の比較

5.1 実験

福井工業大学内の LAN (通信速度 100Mbps) に接続されたサーバとクライアント間で Real System と Media Technologies の比較実験を行った。サーバとクライアントのシステム環境は表2のとおりである。

まず Real System で映像配信を行った。サーバ側から映像を配信し、20 秒後にクライアント側でアドレスを入力し受信した。アドレス入力後、約 13 秒 (バッファリング時間) で再生が始まった。

表2 実験環境

	O S	CPU	メモリ
サーバ	Windows NT	300MHz	128MB
クライアント	Windows 2000	1GHz×2	384MB

サーバ側で見ることができる
実際の映像と、クライアント
側で再生された映像との時間
差は12秒であった。一旦受信
を止め再度受信を始めたところ、

表3 実験結果

	Real System	Media Technologies
バッファリング時間	12～13 秒	11～12 秒
時間差	12 秒	18～19 秒
時間差（再受信）	20 秒	18～19 秒

ろ、時間差が20秒に増えた。さらに何度も停止・受信を繰り返したが、時間差のばらつきが目立った。Media Technologyの実験でも、配信20秒後に受信した。こちらもReal System同様、バッファリングに11～12秒かかった。そして映像の時間差は18秒であった。停止・受信を繰り返しても時間差は18～19秒で、こちらの方は時間差のばらつきがほとんどなかった。また両者の画質はほとんど同じであった。

5.2 実験結果の考察

理論的にはサーバ側の映像とクライアント側で再生された映像との時間差のばらつきはないと考えられるが、実験ではReal Systemの方でばらつきが見られた。これは、サーバ側のCPU・メモリなどのパフォーマンス不足、もしくはクライアント側(Real Player)でのエンコード・再生にタイムロスが発生したと考えられる。ばらつきはあるが時間差が少ないときもあるので、シ

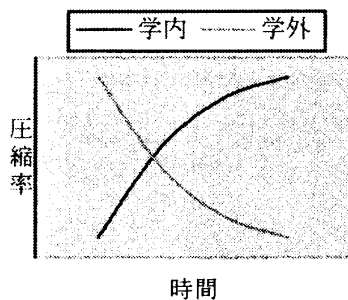


図7 圧縮率と時間の関係

ステム環境に応じてReal Sever・Media Technologies、両者を使い分けるのが望ましい。また学内のみで遠隔授業を行う場合は、通信速度が速いため映像・音声を圧縮せず、取り込んだファイルをそのまま送受信することにより、圧縮・デコードの時間を短縮できると考える。これにより時間差が減少すると思われる。学外の場合のみは、クライアントまでの通信線が低速のアナログ・ISDN回線が多いため圧縮率を上げなくてはならない。そして学内と学外同時に遠隔授業を行う場合は、図7のグラフに示すようにクライアントが学内にいる

か学外にいるかによって、データの圧縮率と時間差の関係が逆になるため、図の交点の圧縮率で配信するのがベストであると考えられる。

6. ストリーミング授業のシステム構築

インターネット普及率が50%に達する勢いの現在、ストリーミング技術を利用することにより、コストのかかるTV中継システムと比べ安価に遠隔授業を実現できる可能性が出てくる。しかしストリーミング技術のみでは不都合な点もある。例えば一般に受講者は講師の映像を見られるが、講師は受信者の様子を見ることができない。さらに送信側から受信側へ一方通行のため出席が取れないなどである。その他にも、既に説明が終わった図などを再度見ようとしても見ることができないなど、映像だけで授業を行うのには限界がある。これらの問題点を防ぐために、映像だけではなく、Power Pointをテキスト代わりにして受信者に送れば、効果的な講義を行うことができる。さらに授業中の質問などの場合、チャットを使うことによって、受信側からの質問に送信側が答えるといった双方向通信が可能になるわけである。また授業後のレポート提出や質問など

にはメールソフトを使う。これによってストリーミングを使った遠隔授業が、通常形態の授業により近づけるのではないかと考える。(図8)

最後にリアルタイム遠隔授業システムを利用して、登録された受講者のみが受講できるようにセキュリティを強化するために、パスワード認証システムを使用することが必要である。これはストリーミングなどのマルチメディアデータを扱うUDPの場合には、TCPと異なりセキュリティに対して厳重でないためである。

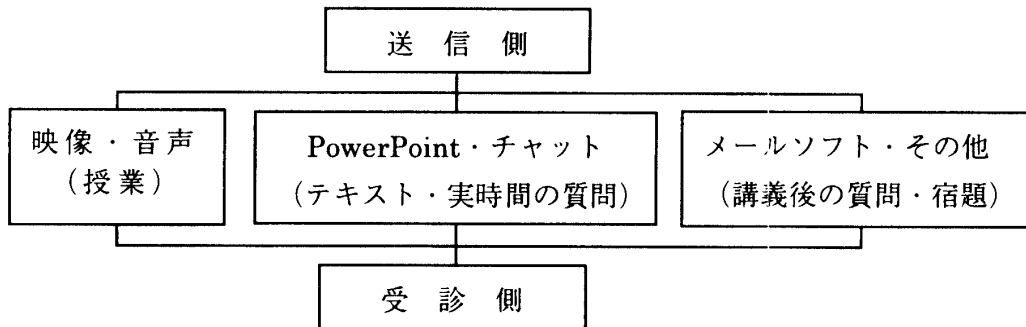


図8 授業システムの例

7. 結論

本論文ではストリーミング技術を使ったリアルタイム遠隔授業システムについて考察し、学内LANを用いて実験を行った。結論は次のとおりである。

(a)リアルタイム遠隔授業をストリーミング技術を使って一方通行的に行う限りにおいては、一般家庭における受講でも問題はない。しかし質疑応答など双方向性を必要とする状況では、特に一般家庭の低速通信回線では問題が大きい。最近のブロードバンド化は、この点の改善に効果があると考えられる。(例：64kbps→数Mbps)

(b)授業方法の改善策として、映像・音声以外にもPowerPointやチャット、メールソフトなど他のアプリケーションを使用する。

(c)サーバ側・クライアント側のシステムパフォーマンス、及びリアルタイム性の必要度に応じて、Real ServerとMedia Technologiesを使い分けることが好ましい。

(d)パスワード認証システムを使って遠隔授業システムのセキュリティ強化を図る必要がある。

今後検討すべき課題としては、(1)実際に学内で授業実験を行い、講師と受講者の両者から見た問題点を改善すること、(2)学内だけではなく一般家庭(アナログ回線・ISDN)でも受講する場合、回線の通信速度が極めて低い場合には、映像のストリーミングを諦めて、「静止画+音声ストリーミング+テキスト+チャット」の組み合わせを使う場合などを考察すること、

(3)Real ServerやMedia Technologiesなど、マルチメディアアプリケーションが身近なものになるにつれ、音質や画質といった尺度でQoS(Quality of Service)の良し悪しが体感できるようになってきている。そのため1つのネットワークで相異なるQoSの要求に、いかに対応するかが重要な課題となってくる。学内の通信設備の提供できる範囲内で、様々なユーザのQoSに対する要求に対応するため、QoS制御について考察することがあげられる。

【参考文献】

- (1) インターネットプロトコルハンドブック編集委員会：「最新インターネットプロトコルハンドブック」、朝日新聞社
- (2) 宝木和夫：「ファイヤーウォール インターネット関連技術について」、昭晃堂
- (3) モーリーロバートソン：「インターネットストリーミングブック」、翔泳社
- (4) 田中 成治・牧野 勝：「平成13年度 電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集」E-15

(平成13年12月6日受理)