

ネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構の提案

岸田 崇志 河野 英太郎[†] 前田 香織[†] 角田 良明[‡]

広島市立大学大学院情報科学研究科 〒731-3194 広島県広島市安佐南区大塚東 3-4-1

E-mail: takashi@v6.ipc.hiroshima-cu.ac.jp, † {kouno,kaori}@ipc.hiroshima-cu.ac.jp,

‡ kakuda@ce.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし 広帯域ネットワークの普及によりマルチメディアを用いた様々なインタラクションが実現可能となっている。インタラクションによっては、それに参加しているグループ内におけるホスト間の伝送遅延を考慮した同期を保障する必要があるが、インターネットはベストエフォート型であるため伝送遅延は変動する。そこで、本研究ではネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構の提案を行う。今回提案する機構では、ネットワークの変動に対応するようにグループ内ホスト間の相対的な時刻の差分を用いてリアルタイムに映像や音声の再生タイミングをアジャストし同期再生するといった特徴を持つ。

キーワード メディア同期, マルチキャスト, インターネット, 遅延, マルチメディア通信, RTP

A Proposal of Media Synchronous Mechanism considering Network Delay

Takashi KISHIDA Eitaro KOHNO[†] Kaori MAEDA[†] and Yoshiaki KAKUDA[‡]

Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University 3-4-1 Ozuka-Higashi, Asaminami-ku, Hiroshima,
731-3194, Japan

E-mail: takashi@v6.ipc.hiroshima-cu.ac.jp, † {kouno,kaori}@ipc.hiroshima-cu.ac.jp,

‡ kakuda@ce.hiroshima-cu.ac.jp

Abstract Broadband networks give us the various interactions using multimedia communications. Media synchronization considering transmission delay is needed depending on applications since the Internet provides best-effort service and transmission delay changes. In our proposal, timing to play out video and audio is adjusted by using relative difference of timestamps of video and audio packets of hosts in a group and media synchronization is realized.

Keyword Media synchronization, Multicast, the Internet, Delay, Multimedia communication, RTP

1. はじめに

広帯域ネットワークの普及により、マルチメディアを用いた様々なインタラクションが実現可能となっている。テレビ会議は実用的になり、インターネットを用いた遠隔合唱や[1]のような分散協調演奏も試みられている。インターネットのようなベストエフォート型のネットワーク上で様々なインタラクションを実現するにはパケット損失、ジッタ(遅延時間の揺らぎ)、遅延を十分に考慮する必要がある。パケット損失にお

いては FEC(Forward Error Correction)方式や ARQ(Automatic Repeat reQuest)方式などによってパケット損失を回復させる様々な研究が試みられている[2][3]。

しかし、ジッタや遅延などインターネットの変動的な伝送遅延に関してあまり議論されていない。エンドシステム間で遅延を制御することにより、様々なインタラクションを実現することが可能となる。例えば、インターネットを用いた遠隔合唱[4]なども可能とな

る。今後、マルチキャストを用いた多対多通信の増加が想定され、離れた拠点間の映像や音声の再生を同期することも必要になる。離れた拠点間の映像や音声の再生の同期ができると、一つの拠点から伴奏を同時に配信し、その伴奏に合わせて合唱を行うインタラクションや多拠点に同時に映像を再生することも可能になる。

本研究では、遅延の制御に着目し、ネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構の提案を行う。今回提案する機構では、ネットワークの変動に対応するように、リアルタイムに同じインタラクションに参加しているグループ内のホスト間の相対的な時刻の差分を用いて映像や音声の再生タイミングをアジャストし同期再生する特徴を持つ。

本稿では、まず2章でインターネット上での同期再生方法について述べ、次に3章でネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構のあらましについて詳述する。さらに、4章で同期再生機構の設計について述べ、5章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. インターネット上での同期再生

2.1. メディア同期

インターネットはベストエフォート型のネットワークである。インターネットを介して通信を行うと転送遅延やジッタが通信の品質に影響する。転送遅延やジッタが大ききネットワークでは、パケットの順序に入れ替わりが生じたり、再生を行うタイミングに揺らぎが生じることもある。そのため、マルチメディアアプリケーションでは受信側で送信されたタイミングを保証しなければならない。従って、送信したタイミングに合わせて受信側で再生タイミングを調節するためにメディア同期が行われる。単一ホスト内でのメディア同期方法としてメディア内同期とメディア間同期に分類される。メディア内同期は単一メディア内の時間関係を調節するための機構で再生の時間制御や順序制御に用いられる。メディア間同期は複数メディア間の時間関係を調節し同期を行うもので映像と音声を同期させるリップシンクなどに使用される[5]。

マルチキャスト通信などでは、一対多、もしくは多対多通信となる場面が多い。アプリケーションによっては送信者が複数、また受信者が複数となる環境では、同じインタラクションに参加するグループ内のそれぞれのホスト間での再生のタイミングを保証する機構があることが望ましい。複数ホスト間での再生制御を行うことで様々なインタラクションも可能となる。例えば、インターネットを用いた遠隔セッションにおいて

同時に伴奏を多拠点に配信することも可能になる。

2.2. RMCP

インターネット上の多ホスト間メディア同期方法のアプローチの一つとして RMCP (Remote Music Control Protocol)[6]がある。RMCPは、音楽情報を伝送するプロトコルとして提案され、MIDI(Musical Instrument Digital Interface)などのシンボル化された音楽情報を通信することができる。RMCPでは、RMCPサーバがRMCPクライアントの指定した時刻どおりに再生する必要があるため、時刻管理機能を必要とする。そこで、RMCPでは、タイムスタンプを用いた時間管理機能があり、クライアントの指定した時刻にパケットの処理を行うことが可能である。タイムスタンプの時刻前に到着したパケットを、その時刻がくるまでバッファリングして時刻通りに再生することができる。この方法は、複数のホスト間で時刻が同期していることを前提としている。そこで、複数のホスト間で時刻を同期させるためにRMCP Time Synchronization Serverが用意されており、自分のホストと他のそれぞれのホストの内部時計との時刻差を求めその値により調節を行う。Time Synchronization Serverを用いることで、あたかも異なる計算機の内部時計が同期しているかのように振る舞うことができる。

しかし、この方式ではLAN内での動作を想定しているためネットワークでの転送遅延は考慮されていない。また、インターネットを介して伝送を行う場合には、RMCP Gatewayを介す必要がある。RMCP Gatewayでは、ジッタの影響を小さくするためにネットワークの遅延時間よりも十分大きな値を加算するといった方法をとるため、インターネットを介した場合、非常に大きな遅延が生じる問題もある。Time Synchronization Serverの代わりにNTP(Network Time Protocol)を用いてそれぞれのホストの時刻を同期させることもできる。しかし、それでも転送遅延まで考慮することはできない。

3. ネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構

本章では、ネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構(同一メディアをグループ内ホスト間で同期する機構)について述べる。

3.1. 特徴

提案する機構の特徴は以下の通りである。

- ・ 複数の受信者が存在する場合に、同一のストリームは全受信者で同時に再生される
- ・ NTPサーバなど同期の管理に外部サーバを用いない
- ・ ネットワーク遅延を考慮して同期再生を行う

本機構で送信したメディアは、図1に示すように定期的にストリームの送信者(Sender)と受信者(Receiver)間の転送遅延情報収集のため制御データを活用し、その情報をもとに転送遅延を考慮したグループ内メディア同期機構を提供する。これにより全受信者ではほぼ同じ時刻に再生される。

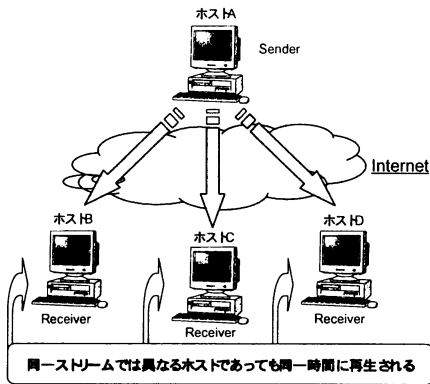


図1. 動作モデル

3.2. 同期再生アルゴリズム

提案する機構において全てのReceiverで再生を同期するためのホストの動作アルゴリズムを図1, 図2を用いて示す。

図1において、ホストAをSenderとし、他のホスト(ホストB, C, D)はReceiverとする。

- 1) Senderは各ホストの往復転送遅延時間を測定する
- 2) 往復転送遅延/2より各ホストの片方向の転送遅延を求める
- 3) 転送遅延の最も長いホストに合わせてホストごとのoffsetを計算する
- 4) 各Receiverにoffsetを送信する
- 5) 各ReceiverはSenderから送信されたoffsetを加算してメディアを再生する

まず、Senderと各Receiver(ホストB, C, D)の往復転送遅延を測定し、往復転送遅延を2で割ったものを各ホストの転送遅延とする。ここでホストA-ホストB間の転送遅延が Δ_{tb} とする。同様にホストA-ホストC間が Δ_{tc} 、ホストA-ホストD間が Δ_{td} とする。次に、図2のように転送遅延が $\Delta_{td} > \Delta_{tc} > \Delta_{tb}$ とした場合、最長遅延である Δ_{td} を基準にそれぞれのホストのoffsetを計算する。ホストBでは、offsetは $\Delta_{td} - \Delta_{tb}$ 、ホストCでは、offsetは $\Delta_{td} - \Delta_{tc}$ 、ホストDでは、offsetは $\Delta_{td} - \Delta_{td} = 0$ となる。それぞれのoffsetをホストAで算出した後、Sender(ホストA)はそれぞれのホストにoffset値を通知する。各Receiverでは通

知されたoffset値をoffsetテーブルに追加する。ホストはメディアパケットを受信した際にoffsetテーブルを参照して該当するSenderのoffsetを加算して転送遅延の差分を吸収する。offset値の計算は定期的に行い、更新される。

図1, 図2の例ではSenderが1つだが、Senderの数が複数になった場合は、Receiver側のoffsetテーブルのエントリに順次追加する。

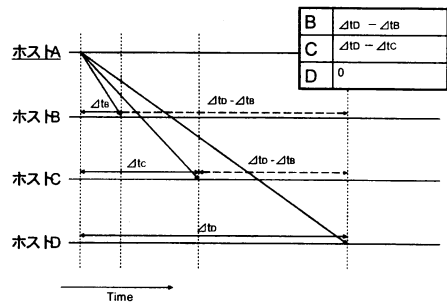


図2. offsetの計算

4. 同期再生機構の設計

4.1. 全体構成

提案する機構の機能構成図を図3に示す。まず、Senderの機能構成を説明する。Senderでは転送遅延の情報管理するために転送遅延情報管理部として転送遅延計測部、offset計算部、offset通知部の3機能をもつ。転送遅延計測部では、定期的に全てのReceiverとの転送遅延を計測する。この転送遅延計測部では、5秒に1回の間隔で全てのReceiverに向けて計測を定期的に行う。offset計算部では、転送遅延情報をもとにoffsetを算出し、Receiverとoffsetの対応関係を示した通知用offsetテーブルに記録する。offset通知部では、通知用offsetテーブルよりそれぞれのReceiverに対して該当するoffsetを通知する。

次に、Receiverの機能構成を説明する。Receiverでは転送遅延情報管理部に転送遅延計測部、offset受信部の2機能をもつ。Receiverの転送遅延計測部は転送遅延を計測するためSenderから送られてきた情報をもとにReceiverで処理を加え応答を返す。offset受信部では、Senderから通知されたoffsetをSenderとoffsetの対応を示したoffsetテーブルに記録する。

マルチメディア通信では、一般的にUDP/IP上でRTP[7]がよく用いられる。そこで、SenderとReceiver間の通信に用いる通信部にはRTP(Real-time Transport

Protocol)と RTCP(RTP Control Protocol)を用いて実装を行うものとした。RTPは音声や映像をストリーミング再生するために再生時間に関する情報などを付加し伝送するプロトコルで、RTCPはRTPでデータを送受信するためのセッション情報などの制御情報を伝送するプロトコルである。RTPをベースとすることで既存のマルチメディアアプリケーションにも適用することが可能となる。

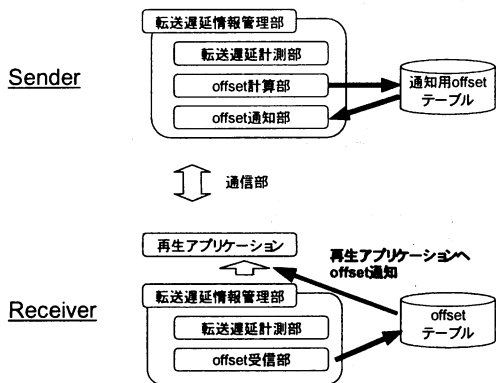


図 3. 全体構成図

4.2. 転送遅延情報の収集

転送遅延を計測するには ICMP Echo Request / Echo Reply を用いた方法が使用されることが多い。ICMP Echo Request / Echo Reply では、IP 層で転送遅延を測定するため、上位層での処理負荷は反映されない。システムの処理負荷がメディア再生の遅延の処理に影響を及ぼすこともあり[8]、本提案機構での転送遅延の計測には ICMP を用いず、アプリケーション層の処理負荷も考慮して計測している。

また、マルチメディアアプリケーションでは通信に RTP や RTCP を用いて転送されることが多い。そのため、本機構では転送遅延は RFC1889 に示されている方式を採用する。図 4 は転送遅延の計測手順を示したものである。

まず、Sender では送信時のタイムスタンプを LSR(Last Sender Report timestamp)として、RTCP SR(RTCP Sender Report)に刻む。そして、Receiver では、Sender からの RTCP SR を受信して RTCP RR(RTCP Receiver Report)を送信するまでの時間を DLSR(Delay since Last Sender Report)とする。DLSR は受信した LSR とともに Sender に RTCP RR を用いて送信する。Sender では RTCP RR より受信した時刻 T_A から LSR と DLSR を引くことによって Receiver での処理時間を含むことなく、往復の転送遅延を得ることができる。

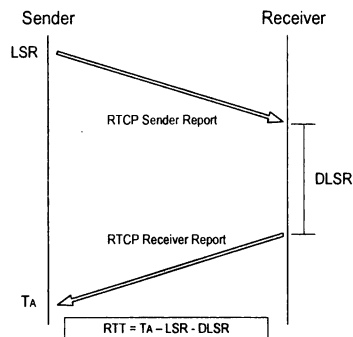


図 4. 転送遅延の計測フロー

4.3. 再生アプリケーションとのインターフェース

通常、マルチメディアアプリケーションなどの RTP を用いるアプリケーションはメディアパケットを RTP のシーケンス番号、タイムスタンプを元にして並び替え、再生制御を行う。そして、シーケンス番号、タイムスタンプ情報を元にパケット損失やジッタなどを判断し、パケット損失が生じている場合はパケット廃棄対策処理としてパケット損失回復処理、ジッタに対してはジッタ吸収処理などをアプリケーション層で提供することもできる。本提案機構は、ジッタを吸収するためのジッタバッファや、再生バッファなどの機構の部分に offset を加算し制御を行う。図 5 に動作シーケンスを示す。4.2 節で述べたように、ホスト間でどの程度の転送遅延の offset があるか計測する機構はトランスポート層で提供している。トランスポート層は基本的にアプリケーション層にどの程度の offset があるかということしか通知せず、後はアプリケーション層にその offset の扱い、振る舞いは任せる。提案機構は、RTP の機能に offset を計測する機能を持たせて汎用性をもたせている。しかし、その offset の扱いはアプリケーション層に任せるので実装に依存する点もある。しかし、この転送遅延を考慮したメディア同期機構は様々な用途に適用できると考えている。

4.4. 適用条件

現時点での本提案機構の適用条件を以下に挙げる。

1) 複数ストリームの対応

本提案機構は Sender が 1 つという前提条件を元に設計を行っている。Sender を中心にして、転送遅延の計測や offset の計算などを行っているため、Sender からの送信ストリームに関しては同期再生を行えるが、Sender が複数の場合では Sender 間の再生のタイミングに関して同期は行えない。

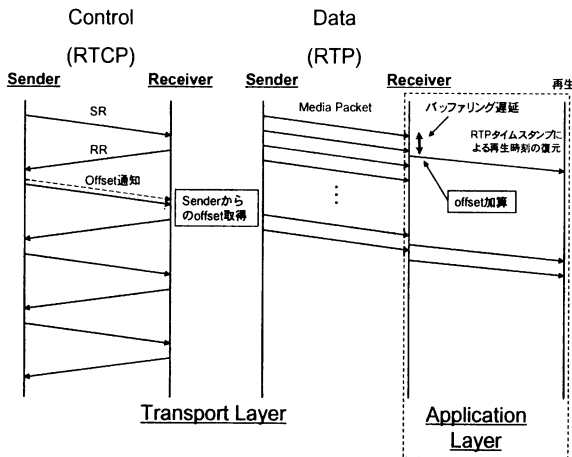


図 5. 動作シーケンス

2) Receiver の数

Sender に対して多数の Receiver がすべて転送遅延計測応答を送信すると、Sender に対して送達確認が集中するという問題が発生する。本提案機構では応答が集中しないよう、各 Receiver がそれぞれ乱数を用いて送出時間を選択し応答時間間隔を分散させる。しかし、あまりにも多くの Receiver を対象とした場合、十分に長い送出遅延時間幅が必要となる。そのため、現在想定している利用場面はテレビ会議や遠隔地間での音楽セッションで、Receiver が十台程度のグループを想定している。

3) グループのメンバ管理

Sender はグループ内の Receiver の参加者情報を知るものとする。Receiver の参加者の参加や離脱に関する情報の制御・管理には IGMP (IPv6 の場合 MLD: Multicast Listener Discovery) でメンバ管理機構を有するものと想定している。

4) グループの状態変化と offset テーブル

まず、Receiver が離脱した場合について述べる。最長遅延である Receiver が離脱した場合、Sender は現在計算している offset の基準値が変わってしまう。その際は、最長遅延をもつ Receiver が離脱した時点で 2 番目に遅延が長い Receiver を基準として再計算を行う。再計算を行い各ホストへ通知が完了するまでは、離脱前の offset が適用される。最長遅延でない Receiver が離脱した場合は、再計算を行う必要はなく該当の Receiver を offset テーブルから削除すればよい。Receiver の離脱に関しては 180 秒経過したのち該当の Receiver を offset テーブルから削除する。

次に、新たに Receiver が参加した場合について述べる。新たな Receiver が参加した場合、Sender は直

ちに offset の再計算後に各 Receiver に通知する。新たに参加した Receiver に offset の通知が届くまでは、その Receiver の同期再生は保証されない。

また、通信開始時に全 Receiver 間の遅延情報が収集できていない場合、全ての Receiver には offset は 0 として通知する。その期間、同期再生を行うことはできない。

5) 転送遅延情報の信頼性

転送遅延の計測や offset の通知は同時に多拠点に送信を行うためマルチキャストを用いる。IP マルチキャストでは、IP と同様にベストエフォート型のプロトコルであるためパケット損失が起こる可能性がある。Sender からの offset 通知は 5 秒おきに送信されるため、offset 通知がネットワーク上で失われて、Sender からの offset 通知が Receiver に届かない場合は再送処理などパケットの信頼性回復は行わず、次の通知を待つ。その間 Receiver では offset の更新は行われないので、offset 通知が不達の Receiver は同期再生が保証されない。

また、Sender からの転送遅延計測メッセージに対していずれかの Receiver からの応答が返ってこなかった場合、その転送遅延計測フェーズでは前回の Receiver の転送遅延を使用して offset 計算を行う。その際、不達の Receiver に関して Sender は Timeout 状態とし、連続して Timeout の期間が 60 秒間を超すと Stale 状態となる。Stale 状態では offset を計算する際に、その Receiver を除いて計算する。該当の Receiver から転送遅延応答が返ってきた場合は Stale 状態から戻り、また offset 計算にその Receiver を考慮する。

6) 同期の精度

本機構は転送遅延に offset を加算し多拠点間で同期する機構のため、より遅延が増加する傾向にある。低遅延が要求されるアプリケーションでは、本機構を用いることにより実用が難しい場合もある。しかし、要求する遅延時間に対して再生アプリケーション自体の処理遅延が十分に小さい場合はこのようなアプローチも十分有用であると考えている。また、4.2 節で述べたように転送遅延は ICMP echo/reply と比べてアプリケーションに近い部分で測定を行う。そのため、OS 自体の割り込み精度や同時に起動しているアプリケーションによって精度に影響を受ける可能性がある。このような問題に対して十分に検討することも必要である。

4.5. 適用例

本節では、本提案機構の適用例を挙げる。

合唱や合奏などのネットワークを介したセッションでは、それぞれの拠点間の音声のずれが非常に問題

となる。伴奏などといった演奏の基準となる音声は同時に受信者に届くことが望ましい。伴奏音の再生されるタイミングがずれると伴奏に合わせて歌う合唱自体ずれてしまうので、お互いの合唱音までもずれが生じることとなる。本機構を用いることで同時に伴奏を各拠点に送信し合唱を行うことも可能となる。そのため、遠隔セッションで本機構を用いることは有用であると考えられる。

また、MobileIPなどを用いた移動体通信などではハンドオーバーによりネットワークの切り替わりが生じる。このような状況では、転送遅延などの変動も大きくなる。テレビ会議など多拠点間通信を行う場合など、本提案機構のように遅延にoffsetを加え、転送遅延を考慮して再生のタイミングを調節するといった機構は有用であると考えている。

さらに、図6のようにアプリケーションゲートウェイとして遅延の変動の多い区間に設置し、再生同期を行う機能を補助するという利用方法を考えている。このゲートウェイを置くことで全てのエンドシステムを変更することなく特定の区間に本提案機構を有するゲートウェイを設置するだけで同期再生を保証することができる。

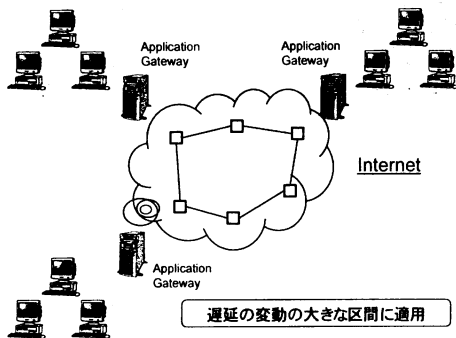


図6. 適用例(アプリケーションゲートウェイ)

5. まとめ

本稿では、ホスト間での遅延制御のフレームワークを示し、ネットワーク遅延を考慮したグループ内メディア同期機構の提案を行った。現時点では適用条件のいくつかはさらに検討を必要とする部分があるので、これらを熟慮した上で、提案機構やアプリケーションとの組み合わせを実装していく。

謝辞

本研究の一部は広島市立大学特定研究費(平成15年度3207)、通信・放送機構JGNプロジェクト(P3410005、G13013)の支援を受けて実施されている。ここに記し

て感謝の意を示す。

文 献

- [1] " Access Gridを用いた分散カラオケセッション," <http://www.sc-conference.org/sc2003/global.html>
- [2] 近堂徹, 大塚玉記, 西村浩二, 相原玲二, " MPEG2 over IP 伝送システム mpeg2ts の開発と性能評価," DICOMO シンポジウム論文集, pp.157-160, 2002.
- [3] J. Chakareski and P. A. Chou, "Application layer error correction coding for rate-distortion optimized streaming to wireless clients," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Orlando, FL, May 2002.
- [4] 岸田崇志, 前田香織, 河野英太郎, 近堂徹, 相原玲二, "多様な遠隔コラボレーションを実現する音声伝送システム," 情報処理学会論文誌, vol.45, No.2, Feb.2004.(印刷中)
- [5] I. Kouvelas, V. Hardman, and A. Watson, "Lip synchronisation for use over the Internet: Analysis and implementation" In Proceedings IEEE Globecom'96, London, UK, November 1996.
- [6] M. Goto, R. Neyama, and Y. Muraoka, "RMCP: Remote Music Control Protocol - Design and Applications -," Proc. Of the 1997 International Computer Music Conference, pp.446-449, 1997.
- [7] H. Schulzrinne, et al. "RTP:A Transport Protocol for Real-Time Applications," RFC1889, 1996.
- [8] I. Kouvelas and V. Hardman, "Overcoming workstation scheduling problems in a real-time audio tool," Proc. Of Usenix Annual Technical Conference, pp.235-242, 1997.