

双方向コミュニケーションサービスにおけるサービス適応型同期制御方式

大芝崇 中島一彰 田淵仁浩
NEC インターネットシステム研究所

電子会議や遠隔教育サービスなどの双方向コミュニケーションサービスにおいて円滑なインタラクション環境をエンドユーザに提供するためには、エンドユーザ間における共有資料の表示タイミングのずれなどの同期誤差を、一定範囲以下に抑える必要がある。我々は、複数のネットワーク拠点をまたがる形で、複数ユーザが様々な双方向コミュニケーションサービスに参加する企業内ネットワークを想定環境としている。このような環境では、サービスの利用場面・用途や、拠点間のネットワークの状況に応じて、求められる同期精度が異なることが考えられる。この場合、想定外のトラフィックが発生し、拠点間ネットワークの QoS 設定などではカバーし切れない同期誤差が発生し得るという問題がある。そこで本稿では、適応的にエンドユーザ間の同期制御方式を切替えることにより、多様なサービス利用形態や用途に対応する、サービス適応型同期制御方式を提案する。本方式が備える、同期制御ポリシーによる同期制御方式のカスタマイズ機能を示し、想定環境での評価実験により本方式の妥当性を確認する。

Service-side Adaptive Synchronization Control for Real-time Communication Services

Takashi Oshiba, Kazuaki Nakajima and Masahiro Tabuchi
NEC Corporation, Internet Systems Research Laboratories

We propose service-side adaptive synchronization control technique for real-time communication services such as Web conferencing systems and e-learning systems. When multiple users participate in a real-time communication service from multiple network segments, required precision and condition of synchronization in inter-network segments might be various. These variations come from the purposes of services usage and location of users and servers. In these cases, if there is large network delay or jitter between network segments, an unacceptable synchronization gap that is difficult to manage on network QoS setting might occur. In our technique, synchronization methods are dynamically switched, depending on purpose of services usage and network conditions in order to decrease a synchronization gap.

1. はじめに

近年のブロードバンドネットワークの普及に伴い、ユーザ間で映像音声通話をしながら電子資料や Web ページなどを共有する、電子会議や遠隔教育サービスなどの双方向コミュニケ

ーションサービスが注目を集めており、企業内ネットワークへの導入が進んでいる。また、IP-VPN や広域イーサネットなどの新しい WAN (Wide Area Network) サービスの普及に伴い、以前は狭帯域な専用線により主に実現さ

れていた WAN 回線が広帯域化され始めている[1]。その結果、WAN 回線によって結ばれた企業内の拠点間でも、双方向コミュニケーションサービスの利用が進んでいる。

このような企業内ネットワークでは、各拠点内に双方向コミュニケーションサービスを提供するサーバが複数存在し、サービスに参加するユーザ端末が複数拠点をまたがる形で分散している。我々は、このような企業内ネットワークを想定環境としている。また、静止画像による電子資料や HTML コンテンツによる Web ページなどを共有する、Web ベースの双方向コミュニケーションサービス[2][3]を前提としている。

この想定環境では、拠点間リンクごとに、ネットワーク遅延の大きさなどのネットワーク状況が異なることが考えられる。また、サービスの利用場面や用途に応じて、求められる同期精度が異なることが考えられる。

本稿では、適応的にエンドユーザ間の同期制御方式を切替えることにより、多様なネットワーク環境や、多様なサービス利用形態・用途に対応する、サービス適応型同期制御方式を提案する。

2．双方向コミュニケーションサービスの課題

2.1 双方向コミュニケーションサービスにおける使用メディアと同期制御の分類

双方向コミュニケーションサービスにおいて使用されるメディアやコンテンツの形態は、映像や音声のような Stream 型と、静止画像や電子資料のような Block 型と、テキストや制御コマンドのような Transaction 型の 3 つに分類される[4]。これらのメディアやコンテンツをリアルタイムに送受信することにより、エンドユーザ間でコミュニケーションが行われる。映像と音声を受信するユーザ端末上での映像と

音声の再生タイミングのずれや、ユーザ端末間における共有資料の表示タイミングのずれなどの同期誤差が大きくなると、円滑なコミュニケーションを行うことが困難になってしまう。そのため、同期誤差を一定範囲以下に抑えることが重要[5][6]であり、同期制御技術に関する活発な研究活動が行われている。

一般に同期制御技術は、同期対象の種類に応じて、メディア内同期と、メディア間同期と、端末間同期（システム間同期とも呼ばれる）の 3 つに分類される[7]。メディア内同期では、例えば、映像という単一メディア内において送信端末上のビデオフレームの時間間隔を、受信端末上でも維持するような同期制御が行われる。メディア間同期の代表例には、映像と音声という複数メディアについて、送信端末上での映像と音声のフレームのタイムスタンプの対応関係を受信端末上で再現することにより、唇の動きと発声とを同期させる、リップシンクがある。端末間同期では、例えば、ある端末の操作結果として、複数のユーザ端末間で、電子資料の表示タイミングを揃えるような同期制御が行われる。

このように、双方向コミュニケーションサービスでは、3 種類のメディア / コンテンツに対する 3 種類の同期制御が行われる。このうち、Stream 型メディア / コンテンツに対するメディア内同期やメディア間同期に関する研究活動が数多く行われている（例えば[8][9]など）。これに対し、本稿では特に、Block 型と Transaction 型のメディア / コンテンツに対する端末間同期を、研究の対象としている。

2.2 QoS 制御に関する取組み

端末間同期における同期誤差を抑えるための従来技術として、ネットワークの QoS (Quality of Service) 制御[10]が考えられる。

ここで、近年 HTTP を用いてデータ交換を

行う Web ベースのネットワークアプリケーション[11][12][13][14]が数多く出現しており、想定環境のトラヒックには、通常の Web アクセスも混在している。

このため、本稿で前提としている Web ベースの双方向コミュニケーションサービス[2][3][15][16]のトラヒックと、他のトラヒックとのバランスを取りながら、常に最適な QoS 設定を行い続けていくには、大きな管理・運用コストが必要になっている[17]。

2.3 従来システムにおける同期制御

従来の双方向コミュニケーションシステム[15][16][18]において、端末間同期についての同期制御機能は、一定以上の利用可能帯域や、一定以下のネットワーク遅延や揺らぎなどを前提として、システムごとに実装される。つまりシステムの稼働時には、スライドめくり操作やアノテーション用の矢印ポインタの移動操作などのコミュニケーション用の操作に対する同期制御方式は、それぞれ常に同一のものが使用される。このように、コミュニケーション操作と同期制御方式との関係が、1 対 1 の密結合の関係になる（図 1。なお、図中の「楽観方式」「ACK 方式」については 4.1 節で説明する）。

	機能A	機能B	機能C
コミュニケーション操作	スライドめくり	矢印ポインタ	資料編集
同期制御方式	楽観方式	楽観方式	ACK方式

操作と同期制御方式とが密結合の関係

図 1：従来システムの同期制御方式の例

2.4 端末間同期に向けた課題と要件

ネットワークの QoS 制御技術では、管理・運用コストの肥大化が原因となり、企業内の全てのネットワークに対して、必ずしも常に最適

な QoS 設定が行われるとは限らない。さらに、制御の対象となるのはあくまでもネットワーク上を流れるパケットの単位であり、より上位の概念に当たる、例えばコミュニケーション操作の単位での品質を直接制御することは困難である。また、従来の双方向コミュニケーションシステムでは、各コミュニケーション操作に対して常に同一の同期制御方式がそれぞれ使用される。

このため、従来技術では、例えば同一拠点の LAN 内では同期誤差が一定範囲内に収まっているにもかかわらず、複数拠点間の WAN 接続時のようにネットワーク遅延などが異なる環境では、同期誤差が許容範囲内に収まらなくなるという問題が発生し得る。

また、例えば、「遠隔教育サービスにおけるスライドめくり操作について、試験問題のスライドを一斉に切替えて行くような利用場面では、試験問題ごとに全生徒に与えられる解答時間を揃えるために、各生徒端末間でスライドが切替わるタイミングの同期誤差を一定範囲以下に抑えたい。この場合、スライドめくり操作をしてから各生徒端末上でスライドが切替わるまでの応答時間は多少大きくなって構わない。一方で、講義内容に沿って教材のスライドを切替えて行くような利用場面では、各生徒端末間でスライドが切替わるタイミングの同期誤差は多少大きくなって構わないから、スライドが切替わるまでの応答時間をなるべく短くしたい」などの、利用場面に応じてコミュニケーション操作の端末間同期の同期精度を、システムの稼働中に動的に変更するような要求に応えることが困難である。

このような考察の結果、双方向コミュニケーションサービスにおける端末間同期では、次に示す要件(1)(2)を満たすことが重要であると考えられる。

- (1) 様々なネットワーク環境や参加ユーザ数の大小などの、多様なシステム環境下において、ユーザ端末間における共有資料の表示タイミングのずれなどの、共有情報の同期誤差を一定範囲以下に抑える。
- (2) 多様なサービスの利用場面や用途に応じて、コミュニケーション操作の単位で、共有情報の同期精度を制御できる。

3．サービス適応型同期制御方式の提案

本稿では、多様なシステム環境下において、多様なサービスの利用場面や用途に応じて、コミュニケーション操作の同期制御方式を、アプリケーションサービス側で適応的に切替えることにより、要件(1)(2)を同時に満たす、サービス適応型同期制御方式[19]を提案する。

3．1 本方式の実行モデル

本方式の実行モデルは、図 2 のようになり、複数種類の同期制御方式が存在することを前提としている。

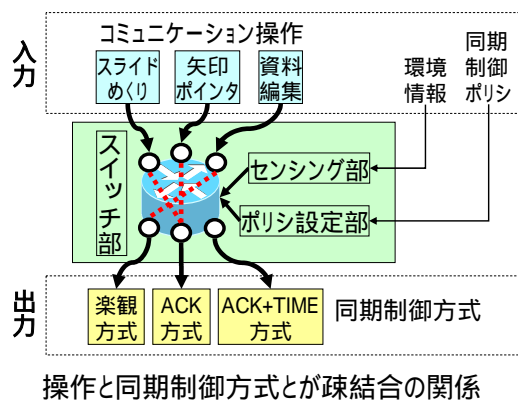


図 2：提案方式の実行モデル

本モデルでは、コミュニケーション操作の種類と、環境情報、同期制御ポリシーを入力として受け、その結果として、同期制御方式の種類が出力される。このように、本モデルでは、従来システムとは異なり、コミュニケーション操作と同期制御方式とが疎結合の関係になっている。

ここで、図 2 の環境情報とは、具体的には、双方向コミュニケーションサービスを提供するサーバと各ユーザ端末間のネットワークリンクの往復遅延時間と遅延の揺らぎ、参加ユーザの総数、各ユーザ端末に送信される Block 型 / Transaction 型の共有コンテンツのデータサイズのことである。

また、同期制御ポリシーとは、環境情報の内容に基づいて、コミュニケーション操作と同期制御方式との対応付けを行うための条件式のことである。おおまかな構文を擬似コードにより表現すると、次のように記述される。

```
if ( 環境情報に関する式 )
    setSyncCtrl( コミュニケーション操作の名前,
                  同期制御方式の名前 );
else if ( 環境情報に関する式 )
    setSyncCtrl( コミュニケーション操作の名前,
                  同期制御方式の名前 );
else if ( 環境情報に関する式 )
    ~ 中略 ~
else
    setSyncCtrl( コミュニケーション操作の名前,
                  同期制御方式の名前 );
```

ここで、「環境情報に関する式」として、例えば「往復遅延時間の全ユーザ端末での平均値が 35msec 以上で、かつ、参加ユーザの総数が 10 人以下」のような内容が記述できる。また、「setSyncCtrl」により、引数として指定したコミュニケーション操作に対して、使用される同期制御方式が決定される。

3．2 本モデルによる適応的な同期制御方式の選択

本モデルでは、図 2 のセンシング部、ポリシー設定部、スイッチ部という機能ブロックにより、次のような動作が行われる。

- まず、センシング部は、環境情報を定期的に監視する。
- 次に、ポリシー設定部は、同期制御ポリシーと、共有空間との対応付けを管理する。ここで、共有空間とは、電子会議における仮想的な会議室や、遠隔教育サービスにおける仮想

的な教室を意味する。

- 最後に、スイッチ部は、センシング部の外部要因情報を読み込み、ポリシー設定部から共有空間に対応する同期制御ポリシーを読み込み、同期制御ポリシーに記述された条件式に従って、コミュニケーション操作に対して、どの同期制御方式を使用するかを、サービスの実行時に動的に決定・変更する。

このような動作を行うことにより、本モデルでは、同期制御ポリシーの“環境情報に関する式”により、多様なシステム環境を表現可能である。また、共有空間に対応付ける同期制御ポリシーを複数用意しておくことにより、多様なサービスの利用場面や用途に対応可能である。また、同期制御ポリシーの“setSyncCtrl”の記述により、コミュニケーション操作の単位で、使用する同期制御方式を切替えることができる。したがって、本モデルは要件(1)(2)に対応していると言える。

4．評価実験

4．1 個々の同期制御方式の動作

我々は、本方式をミドルウェアとして実装し、我々が開発した双方向コミュニケーション基盤[2][3]に組込んだ。本ミドルウェアで利用できる、楽観方式、ACK 方式、ACK+TIME 方式と呼ぶ同期制御方式の動作について、スライドめくり操作を例として説明する。いずれの方式にも、

あるユーザ端末においてスライドめくりの操作が開始される

その要求がサーバに到着する

各ユーザ端末が、スライド画像を受信する

受信したスライド画像を画面に表示する

という共通の処理ステップが存在する（ただし、これらの処理ステップには[2][3]に依存する部分があるため、必ずしもこの処理ステップが全ての双方向コミュニケーションシステムに共通

のものとは限らない）。

まず、楽観方式では、～ のステップがそのまま実行される。すなわち、の段階までは同期が取れているが、と に関しては、ユーザ端末ごとにバラバラに実行される。

次に、ACK 方式では、の後に、各ユーザ端末はスライド画像の受信が完了したことを応答として本ミドルウェアに対して送信する。ミドルウェア上では各ユーザ端末からの応答を集計しており、集計が完了すると初めて、全ユーザ端末に対して を実行するように指示を行う。

最後に、ACK+TIME 方式では、の前に、あらかじめ NTP (Network Time Protocol) [20]などを用いて全ユーザ端末の時刻を同期させておく。そして、の後に、各ユーザ端末からの応答を集計する点は ACK 方式と同じであるが、集計完了後、全ユーザ端末に対して を実行するタイミングを絶対時刻で指定する。

ACK, ACK+TIME 方式は 2 相コミットプロトコル[21]に似た処理を行い、楽観方式よりも厳格な同期制御を行うため、高精度の同期制御が期待できるが、一方で楽観方式に比べて操作の結果が全ユーザ端末上に反映されるまでの応答時間が長くなるというトレードオフがある。

4．2 遠隔教育サービスへの適用例

本方式の妥当性を確認するための、評価実験について述べる。

評価実験のために、本ミドルウェアを利用して動作するアプリケーションとして、遠隔教育システムを試作した。そして、試験問題のスライドを一斉に切替えるという利用場면을想定し、ケース 1 としてユーザ端末が同一拠点内に収容されている環境と、ケース 2 として 2 拠点に分散している環境の、2 つのケースについて、次に述べるような評価実験を行った。

4．3 評価環境の構成

評価環境の構成は、次のようになっている。

ケース 1、2 の両方とも、Pentium4 1.6GHz ~ 3.0GHz、Pentium III 1.0GHz 前後の CPU を持つサーバとユーザ端末 6 台を使用した。ケース 1 では、これらを同一 LAN 内で接続した。ケース 2 では、ユーザ端末のうち 3 台は帯域制御装置[22]を挟んで LAN にブリッジ接続しており、帯域制御装置により帯域幅を 3Mbps に制限し 40msec の往復遅延を発生させることによって、擬似的にユーザ端末が 2 拠点に分散しているような環境を用意した(図 3)。ケース 2 の帯域制御装置の上記設定パラメータは、我々が使用している企業内ネットワークにおいて、川崎市と新潟市にある 2 拠点間で測定した実測値に基づいている。

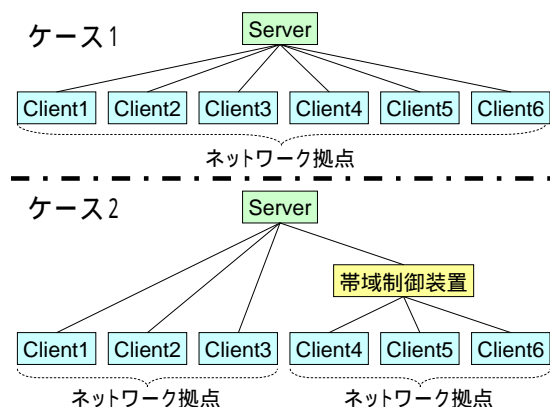


図 3: ケース 1, 2 のネットワーク構成

スライド画像として、100KB と 500KB の 2 種類を用意した。これは、広く普及しているプレゼンテーションツールにおいて、テキストのみによるスライドを画像に変換すると約 100KB になり、写真を含むスライドの場合には約 500KB になったことによる。

4.4 実験の結果

まず、ケース 1 において、2 種類のスライド画像について、従来方式と同等の動作をさせる目的で「常に楽観方式を使用する」ように同期制御ポリシーを記述し、4.1 節のステップ からステップ までの経過時間を各ユーザ端末につ

いて測定した。この時の全ユーザ端末での経過時間の平均値と、各ユーザ端末の経過時間の最大値と最小値との差を図 4-A、図 5-A に示す。ケース 2 では、図 4-B、図 5-B となった。

次に「ネットワーク遅延が 20msec を超えない場合には楽観方式、超える場合には ACK 方式を使用する」ように同期制御ポリシーを記述した場合には、ケース 1 では図 4-A、図 5-A とほぼ同一だったので省略するが、ケース 2 では図 4-C、図 5-C となった。

最後に「ネットワーク遅延が 20msec を超えない場合には楽観方式、超える場合には ACK+TIME 方式を使用する」ように同期制御ポリシーを記述した場合には、ケース 1 では図 4-A、図 5-A とほぼ同一だったので省略するが、ケース 2 では図 4-D、図 5-D となった。

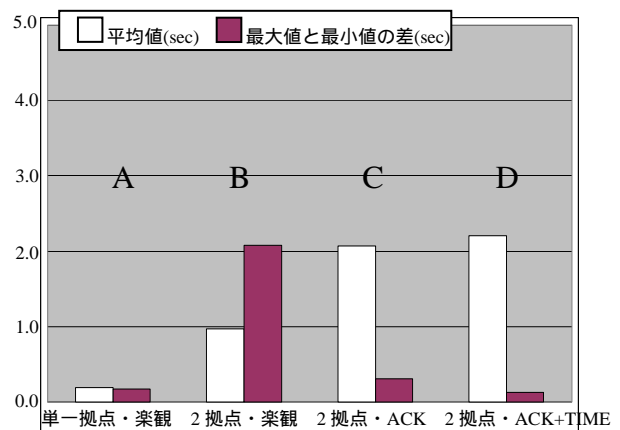


図 4: 100KB のスライド画像での測定結果

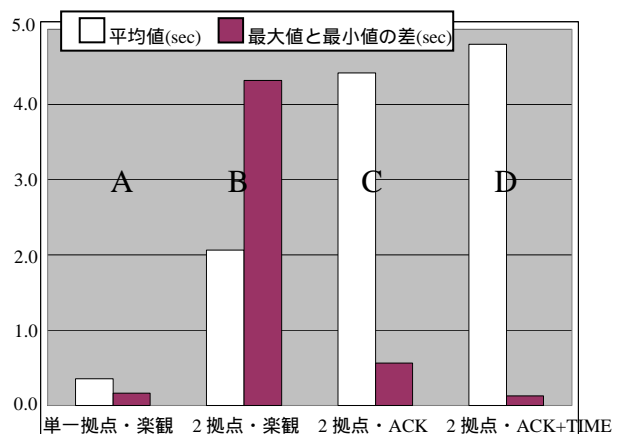


図 5: 500KB のスライド画像での測定結果

4.5 考察

この結果、本方式では、センシング部からのネットワーク状況の監視結果に基づき、スイッチ部がポリシー設定部に記述された同期制御ポリシーに従って正しく同期制御方式を選択していることが分かる。

また、従来方式は、ケース 2 の 2 拠点の場合に、経過時間の最大値と最小値の差が、平均値の約 2 倍にまで増大していることから、片方の拠点のユーザ端末では短い経過時間しか掛からないものの、もう片方の拠点のユーザ端末では長い経過時間が掛かるという、二極化の状態になっていることが分かる。これは、拠点が異なるユーザ端末間で大きな同期誤差が発生しているということなので、各エンドユーザに与えられる解答時間にバラつきが大きくなってしまっている。

一方で、ケース 2 において ACK 方式や ACK+TIME 方式を使用する本方式では、従来方式よりもスライドが切替われるまでに時間が長くなるものの、各ユーザ端末間の同期誤差は小さく抑えられている。特に、ACK+TIME 方式では、単一拠点と 2 拠点で同期誤差がほとんど変わらないという実験結果が得られた。

5 関連研究

SOBA フレームワーク[23]では、双方向コミュニケーションにおいて、各端末固有のローカルな状態と全端末で共有するグローバルな状態とを、明確に分けて端末間同期を行う、分散同期実行モデルを提案している。[23]では、グローバルな状態の一貫性を保つことについて論じているのに対して、本稿は、各端末間での同期誤差について論じている点で異なる。

やわらかいビデオ会議システム[24]では、1 対 1 のビデオ会議において、ユーザからの映像についての品質要求に基づき、エージェント技術を用いて、適応的にシステム構成を変更す

る方式を提案している。[24]では、Stream 型メディアを前提としている点と、端末間同期は対象としていない点において、本稿と異なる。

6 おわりに

本稿では、多様なシステム環境下において、多様なサービスの利用場面や用途に応じて、コミュニケーション操作の同期制御方式を適応的に切替えることを特長とするサービス適応型同期制御方式について提案した。また、評価実験の結果、提案方式の妥当性を確認した。

今後の課題は、大規模環境でのフィージビリティ評価である。また、本方式では、同期制御ポリシーをエンドユーザ側で選択または記述する必要があるため、エンドユーザの視点での管理・運用作業がどの程度負担になるかの評価と、同期制御ポリシーの管理・運用ガイドラインの整備とを行っていく。

参考文献

- [1] “特集「旧型サービス」を抜き去った IP-VPN”，*日経コミュニケーション*，2003/08/25 号，日経 BP 社，pp.85-111，2003.
- [2] 中島一彰，ほか，リアルタイム Web 共有方式による双方向コミュニケーション基盤，*情報処理学会 第 50 回グループウェアとネットワークサービス研究会*，pp.57-64，2004.
- [3] Tabuchi, M. et al., Communication Door: Real-time Communication Middleware, *NEC Journal of Advanced Technology*, vol.1, no.3, pp.176-183, 2004.
- [4] 間瀬憲一，*マルチメディアネットワークとコミュニケーション品質*，(社)電子情報通信学会編，コロナ社，1998.
- [5] Gutwin, C. et al., Using Cursor Prediction to Smooth Telepointer Jitter, *Proceedings of the 2003 International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, pp.294-301, 2003.
- [6] Steinmetz, R., Human Perception of Jitter and Media Synchronization, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.14, no.1, pp.61-72, 1996.
- [7] 甲藤二郎，インターネットで個人放送局を開

- くには(1), 映像情報メディア学会誌, vol.55, no.4, pp.521-526, 2001.
- [8] Jeffay, K. et al., Transport and Display Mechanisms for Multimedia Conferencing Across Packet-Switched Networks, Computer Networks and ISDN Systems, vol.26, no.10, pp.1281-1304, 1994.
- [9] Owezarski, P. et al., New Formal Architecture for Enforcing Multimedia Synchronisation in Videoconferencing Applications, *Telecommunication System Journal*, vol.11, no.1-2, pp.161-185, 1999.
- [10] 阪田史郎, インターネットにおける QoS 制御, 電子情報通信学会誌, vol.85, no.10, pp.749-755, 2002.
- [11] Microsoft 社. Office SharePoint Portal Server
(<http://www.microsoft.com/japan/office/sharepoint/prodinfo/default.msp>)
- [12] サイボウズ社. サイボウズグループウェア
(<http://group.cybozu.co.jp/>)
- [13] 宮内信仁, 多様な環境で利用できるインターネット電話プロトコル HTTP-Based Conference Application Protocol, 情報処理学会論文誌, vol.44, no.3, pp.553-560, 2003.
- [14] 市村哲, ほか, QuickBoard: 任意のアプリケーション画面をリアルタイム配信する Web システム, 情報処理学会論文誌, vol.45, no.1, pp.244-254, 2004.
- [15] WebEx 社. (<http://www.webex.com/>)
- [16] Centra 社. (<http://www.centra.com/>)
- [17] “特集 2 予測困難な WAN 回線 帯域はこう設計せよ 気まぐれな情報系アプリとの付き合い方”, 日経コミュニケーション, 2004/04/12 号, 日経 BP 社, pp.56-66, 2004.
- [18] Microsoft 社. NetMeeting
(<http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/>)
- [19] 大芝崇, ほか, 双方向コミュニケーションサービスにおけるサービス適応型同期制御ミドルウェア, 情報処理学会 第 66 回全国大会, 分冊 3, pp.353-354, 2004.
- [20] Mills, D. L., RFC 1305, Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis, IETF, 1992.
- [21] Lampson, B. W. et al., Crash Recovery in a Distributed Data Storage System, *Technical Report*, Xerox Palo Alto Research Center, pp.1-15, 1976.
- [22] Rizzo, L., Dummynet: a Simple Approach to the Evaluation of Network Protocols, *ACM Computer Communication Review*, vol.27, no.1, pp.31-41, 1997.
- [23] Garrigue, J. et al., 共有アプリケーションのための同期実行モデル, 日本ソフトウェア科学会 第 20 回大会論文集, 2003.
- [24] 菅沼拓夫, ほか, マルチエージェントに基づくやわらかいビデオ会議システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, vol.38, no.6, pp.1214-1224, 1997.