

## 分散型マルチメディアシステムにおける 情報間同期機構の実現

田島 孝一<sup>†</sup> 寺西 裕一<sup>†</sup> 藤川 和利<sup>‡</sup> 下條 真司<sup>‡</sup> 宮原 秀夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup>大阪大学 基礎工学部 情報工学科

<sup>‡</sup>大阪大学 大型計算機センター

### 概要

筆者らは分散環境上で複数のプロセスがメッセージ交換しながらマルチメディア情報をプレゼンテーションするシステム“Harmony”を構築してきた。本稿では計算機の負荷の変動や、メッセージの通信時間等を考慮ながらプレゼンテーションをスケジューリングし、またその進捗状況に応じて動的にスケジュールを修正することでマルチメディア情報間の表示再生の同期を実現する方法について述べる。

### 1 はじめに

ワークステーションや LAN 技術の発達にもない、ワークステーションを利用した分散環境が充実しつつある。これらの技術の応用として、ネットワーク上に分散するさまざまなメディア情報を組み合わせて利用するマルチメディアシステムに大きな期待がよせられている。このようなシステムには CAI (Computer Aided Instruction) システムや DTP (Desk Top Presentation) システム、遠隔会議システムなどがあり、分散環境の利点を活かした応用として注目されている。

マルチメディアシステムの一つで、ハイパーテキストシステムをマルチメディア拡張したものにハイパーメディアシステムがある。ハイパーメディアシステムではリンクで関連づけられた多種多様のマルチメディア情報を参照すること

ができ、CAI などの分野で大きな効果をあげることが期待される。これらのマルチメディアアプリケーションではネットワーク上に分散配置された映像や音声などの時系列情報を用いたプレゼンテーションを効果的におこなうために、情報を実時間で表示(または再生)すること、関連する情報は同期して表示させることが必要である。

筆者らは、LAN に接続された UNIX ワークステーションからなる分散環境で、マルチメディアプレゼンテーションシステム Harmony[3][4] の構築をおこなってきた。Harmony では、メディアの種類ごとに情報の表示をおこなうプロセスが存在する。各プロセスは LAN 上に分散しており、情報の表示開始や終了などに対応したメッセージをやりとりしながらプレゼンテーションを進行する。従来の Harmony では、メッセージ

---

Implementation of Synchronization Mechanisms for  
Information in Distributed Multimedia System

by Koichi TAJIMA<sup>†</sup>, Yuuichi TERANISHI<sup>†</sup>, Kazutoshi FUJIKAWA<sup>†</sup>,  
Shinji SHIMOJO<sup>‡</sup> and Hideo MIYAHARA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Information and Computer Sciences, Osaka University

<sup>‡</sup>Computation Center, Osaka University

が LAN 上を伝搬する際の遅延やワークステーションの負荷の変動を考慮していないためメディア情報間の同期は不完全である。

本稿では、分散環境におけるマルチメディア情報の同期を乱す要因となるネットワークの伝搬遅延やワークステーションの負荷を考慮し、プレゼンテーションにおけるマルチメディア情報の表示を同期させる方法について述べる。

## 2 Harmony の概要

Harmony が基本とするマルチメディアドキュメントのモデル、およびシステムのアーキテクチャとその実現について簡単に述べる。

### 2.1 ハイパーオブジェクトモデル

Harmony ではオブジェクト指向とハイパーテキストモデルの二つの概念を融合した“ハイパーオブジェクトモデル(図 1 参照)”を提案し、このモデルにもとづいてマルチメディアドキュメントを表現している。オブジェクト指向の導入により複数のメディアを統一的に管理でき、ハイパーテキストモデルの導入によってオブジェクトの関連を容易に表現できる。ハイパーオブジェクトモデルは、ハイパーテキストモデルにおけるノードに対応するメディアオブジェクトとオブジェクト間の関連を表すリンクから構成される。

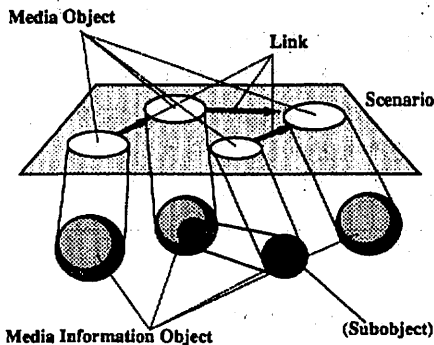


図 1: ハイパーオブジェクトモデル

メディアオブジェクトは、データベースに蓄積されたメディア情報を表現するメディアインフォメーションオブジェクトを参照し、外部から受けとったメッセージにしたがって情報を表示する。また、情報の表示開始・終了等の状態変化を知らせるために、状態変化に対応するイベントを発信する。Harmony ではオブジェクトの内部に存在する、例えば映像内部に現れる人物や物体、アニメーションの個々のキャラクタなどをサブオブジェクトと呼び、サブオブジェクトもメディアオブジェクトから参照される。これらのメディアオブジェクトに付与されたリンクの先を参照することで、マルチメディアドキュメントが表示される。ハイパーオブジェクトモデルではメディアオブジェクトの集合とそれらに付与されたリンクの集合から構成されるハイパーメディアドキュメントをシナリオと呼び、このシナリオにしたがってプレゼンテーションをおこなう。

### 2.2 システムアーキテクチャ

Harmony はハイパーオブジェクトモデルを実現するために、データベース、リンクマネージャ、ユーザインタフェースの 3 つの機能要素から構成されている(図 2 参照)。データベースはオブジェクトの記憶機構とオブジェクトに対する操作機構を管理し、リンクマネージャはオブジェクト間のリンクの付与や参照を管理する。ユーザインタフェースはオブジェクトやリンクを扱うための操作環境を利用者に提供する。Harmony では 3 つの要素をまとめて 1 つのプロセスとして実現している。

また、オブジェクトの生成や情報の表示等を実現するために、各メディアごとに対応するクラスプロセス(メディアプロセス)が存在する。各メディアプロセスはデータベースよりメッセージを受けとり、イベントをリンクマネージャに発信する。Harmony は、これら複数のプロセスが情報を授受しながら処理を進める分散型のアプリケーションである。

現在、Harmony は Ethernet で接続されたワークステーション Sun SPARCstation IPX が 2

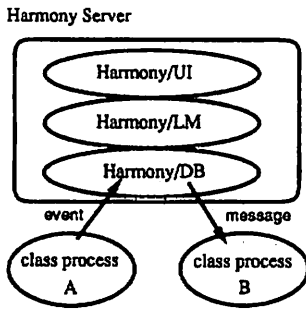


図 2: Harmony のプロセス構成

台と、動画を格納する光ディスク装置で構成される。ワークステーションのうち 1 台には、動画を画面上に表示するために Parallax 社の XVideo が搭載してある。

現在対応しているメディアは、動画、音声、アニメーション、図形とテキストの 5 種類である。動画を扱うクラスプロセスは XVideo を利用して、光ディスク装置上の動画情報に加え JPEG 形式で圧縮されたハードディスク上の動画情報をリアルタイムで表示する。また、音声を扱うクラスプロセスは SPARCstation が装備しているオーディオ機能を用いて、ハードディスク上に蓄積された音声情報を再生する。

### 3 マルチメディアシステムにおける同期の重要性と問題点

マルチメディアシステムでは多様なメディア情報が並行して表示される。動画、アニメーションや音声などの時系列メディア (以下、時系列メディアの情報を特に時系列情報と呼び、一般的なメディア情報と区別する) は、互いに組み合わせられることで一つの意味を表現することがあり、それらの同期がずれると意味をなさない恐れがある。ところが Harmony のプロトタイプシステムでは同期を実現していない。同期を実現しようとする、以下の 2 点を考慮する必要がある。

#### 開始点で生じるずれ

この原因として、各メディアプロセスが指示を受けてからメディア情報の表示を開始するまでに時間を要する場合があること、表示開始を指示するメッセージの伝送が遅れることが考えられる。例えば、プロセスが表示を開始するまでに時間を必要とするものは、プレゼンテーションに必要な情報をハードディスクから読み込んで処理する場合や、そのときデバイスアクセスが競合する場合、あるいは光ディスク装置などの外部デバイスが表示位置を検索して表示可能な状態になるのを待つ場合などである。メッセージの伝送遅延はネットワークのトラヒックの影響を受けた場合や、システムの負荷変動によってメッセージの処理が遅れた場合に大きくなる。

#### 表示中に生じるずれ

時系列情報の表示が途中からずれるという問題は、アニメーションとハードディスク上に格納されている JPEG 圧縮された動画情報を並列表示するときに生じる場合がある。これは、CPU や情報の配送に用いるネットワークの負荷変動が原因である。この状況では標準速度 (例えば動画では毎秒 30 枚の画像表示) でのプレゼンテーションは実現できない。

マルチメディアアプリケーションにおける複数のメディア情報間の同期を保証するために、これらの問題に対処する必要がある。

## 4 同期モデル

以上を踏まえ、プレゼンテーションに必要な同期の型をまとめる。

#### 開始点同期

複数のメディア情報の表示開始時刻の同期を指し、例えば動画と音声と同時に表示再生を開始することをいう。

## 連続同期

複数の時系列情報の表示が、表示中の任意の時刻に同期していることを指す。例えば2つの時系列メディアが互いに同じ長さの時系列情報の表示を同時に開始した場合では、任意の時刻に両者が対応する情報を表示しており、かつ同時に表示を終了することをいう。この場合、時系列メディアが実時間を基準として同期するか、それとも複数のメディアのいずれかを基準として同期するかによって、以下の2つに分類できる。

### 実時間連続同期

同期の基準が実時間であるような同期をいう。すなわち時系列メディアの情報、例えば標準での表示所要時間が20秒の動画情報、表示の開始から正確に20秒間で表示を終了することを意味する。

### 適応型連続同期

同期の基準が特定の時系列メディア情報であるような同期をいう。例えば、ビデオ映像とアニメーションを組み合わせて一つの意味を表現する状況を考えて、ビデオ映像をいわゆるスロー再生にした場合、アニメーションもビデオ映像に同期して表示速度を下げる必要がある。このように複数の時系列メディア情報間の同期が必ずしも実時間に同期していない場合を適応型連続同期と呼ぶ。

## 5 同期機構の実現

同期を実現するためには、メディアの特性とシステムの負荷変動について考慮しなければならないことはすでに述べた。以下ではこれらを踏まえて、開始点同期と連続同期の実現について詳しく述べる。

### 5.1 開始点同期の実現

開始点同期が乱れる要因は、メッセージの伝送遅延とメディア情報の表示に必要な準備時間である。そこで Harmony ではあらかじめプレ

ゼンテーションシナリオを解析しておき、各メディアプロセスが表示すべき情報とその情報の表示開始時刻を指示しておくことで開始点同期の実現をはかる。各メディアプロセスは解析の結果をもとに、メディア情報の表示開始時刻までに必要な準備を完了し、指定の時刻に情報の表示を開始するようスケジューリングする。

この方法ではあらかじめ表示開始時刻を指定しておくことから、メッセージの伝送の必要がないのでネットワークの伝搬遅延の影響を避けることができ、正確な開始点同期が期待できる。また、表示に必要な情報を各メディアがあらかじめ準備しておくことから必要なとき即座に表示を開始できる。

また、プレゼンテーションの開始時刻を決定する際にはネットワークの平均伝搬遅延とメディア情報ごとに必要な準備時間をあらかじめ見積もっておく必要がある。準備時間は、時系列情報を生成しデータベースに登録する際、あらかじめ計測しておくことで見積もることができる。

また、LAN におけるメッセージの伝搬遅延を見積もる方法として、NTP (Network Time Protocol) [5] の応用が考えられる。NTP は、ネットワーク上のホストマシンの時計を同期させるためのプロトコルである。NTP では、時計を合わせようとするホストがすでに時計が合っているとされる複数のホストとの間でメッセージをやりとりし、メッセージに記録された授受時刻をもとに、確率的に時計のずれと伝搬遅延を計算する。NTP と同様の手法を用いれば、プレゼンテーションシステムにおいてもスケジューリングの際のプロセス間通信を利用してメッセージの伝搬遅延を見積もることができる。

ただし、連続同期の影響やシナリオの分岐等によって、予定開始時刻の設定を動的に変更する必要がある。この問題に対する解決方法については後で詳しく述べる。

#### 5.1.1 プレゼンテーションの実行手順

開始点同期を実現するために、Harmony ではプレゼンテーションの際、以下の実行手順にしたがう。ただし、プレゼンテーションに関わるホ

ストマシンの時計にずれがないことを仮定する。とき決定する。

### (1) シナリオの解析

プレゼンテーションの開始前に、リンクマネージャが個々のメディア情報の表示開始時刻を計算する。表示開始時刻はプレゼンテーションの開始時刻から相対的に指定する。シナリオにはユーザインタラクションによる分岐も記述してあるが、分岐のあと表示されるメディア情報の開始時刻は分岐する時刻に依存し、プレゼンテーションの開始時刻からは決定できない。そこでシナリオを、特定の時刻が定まると内部の全メディア情報の表示開始時刻が定まる部分シナリオに分割し、それぞれをサブシナリオと呼ぶ(図3参照)。サブシナリオ中の各メディア情報の表示開始時刻は、サブシナリオのプレゼンテーションが開始する時刻を原点として相対的に指定する。

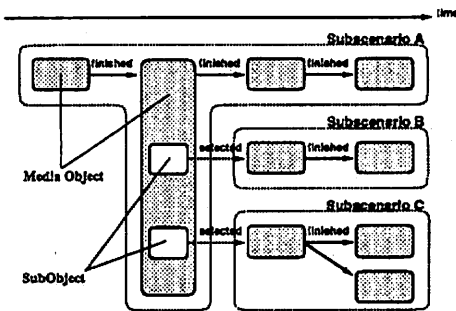


図 3: サブシナリオの例

図3の場合、プレゼンテーションの開始時刻が定まるとサブシナリオ A に属するメディア情報の表示開始時刻が決定する。サブシナリオ A は、4つの時系列情報を順番に表示するものであり、あるひとつのメディアオブジェクトの表示が終ると次の表示を開始する。サブシナリオ B と C は、サブシナリオ A に含まれるサブオブジェクトが利用者に選択されたとき実行される。プレゼンテーションの開始時点では、B と C に属するメディア情報の表示開始時刻は決定しない。これらの開始時刻は、サブオブジェクトの選択によりプレゼンテーションが分岐する

### (2) タイムテーブルの作成と伝達

リンクマネージャはシナリオの解析結果をもとにプレゼンテーションタイムテーブルを作成する。テーブルの各要素(レコード)は、以下の情報を保持する。

＜メディア情報識別子, メディアの種類, サブシナリオ識別子, 相対開始時刻＞

リンクマネージャは、このタイムテーブルを対応するメディアプロセスに配送する。メディアプロセスはタイムテーブルからスケジュールを立て、利用されるメディア情報と表示順序を各サブシナリオごとに決定する。

### (3) 実行開始時刻の決定

リンクマネージャはプレゼンテーションの進行に応じて、各時点で有効なサブシナリオとその絶対開始時刻をメディアプロセスに指示する。この指示を受け、各メディアプロセスは表示するメディア情報の開始時刻を決定する。プレゼンテーションに利用するサブシナリオは、利用者とのインタラクションによって決定する。

サブシナリオの実行開始時刻をユーザからの指定を受けた時刻に設定すると、先に述べたような同期の乱れが生じる。そこで、リンクマネージャはサブシナリオの開始時刻をメディアプロセスに指示する際、メッセージの伝搬遅延時間と表示するメディア情報の準備に必要な時間を見積もり、その分をあらかじめずらして実行開始時刻を決定する。

### (4) 情報の表示準備

各メディアプロセスはタイムテーブルをもとに、プレゼンテーションに利用するメディア情報の準備をおこなう。例えば、光ディスク装置から動画像を表示する場合、あらかじめ光ディスク装置の再生開始位置を頭出しする。プレゼンテーションの実行中もメディア情報の表示と並行して、次に利用するメディア情報の準備を

進め、これにより定刻にメディア情報の表示を開始する。

### 5.1.2 スケジュールの変更

利用者とのインタラクションや適応同期による表示終了時刻の変更によって、プレゼンテーションが当初の予定通りに進まない場合がある。メディアプロセスはこれらの状況においても開始点同期を実現するよう、動的にスケジュールを変更する。

Harmony では、利用者がサブオブジェクトを選択すると対応するサブシナリオにプレゼンテーションを分岐する。これは、サブオブジェクトの選択を示すイベントをメディアプロセスが発信し、イベントを受けとったリンクマネージャが各メディアプロセスに分岐を指示することで実現される。このときリンクマネージャは各メディアプロセスに実行すべきサブシナリオと、実行を開始する時刻を指示する。実行開始時刻はリンクマネージャが分岐を決定した時刻に、メッセージの伝搬遅延およびメディア情報の準備に必要な時間の見積もりを加えて決定する。この指示を受けとったメディアプロセスは現在進行中のサブシナリオを中断し、指定のサブシナリオの実行を準備する。また、メディアプロセスは必要に応じて、指示を受けた時点で準備していたメディア情報のうち不要なものを破棄する。

つまり、後述の適応型連続同期では、システム負荷の変動に応じて動的に時系列情報の表示速度を修正するため、適応型連続同期の結果プレゼンテーションの進行が予定より遅れることになる。このときリンクマネージャが予定時刻からのずれを各メディアプロセスに指示することで、後続のメディア情報の開始点同期を維持する。

なお、システムの負荷が増大した場合、メディア情報の表示開始までの時間が予定以上にかかるために、開始点同期が乱れることがある。

## 5.2 連続同期の実現

連続同期の実現のために、同期の対象とする複数の時系列情報をグループ化し、グループ単位で同期の調整をおこなう。この機構では、連続同期の基準が実時間か特定の時系列情報かによって異なる調整方法を用いる。このため、利用者があらかじめどちらの方式で連続同期を実現するか指定しておく必要がある。

### 5.2.1 実時間連続同期

実時間連続同期では、時系列情報が予定されていた時間内に表示を完了することが要件である。光ディスク装置のような外部装置を用いた場合では、ハードウェアにより一定の割合で動画画像情報を取り出すことができるため実時間連続同期の実現は容易である。一方、システムの負荷変動の影響を受けるメディアでの表示が遅れた場合、表示する情報を間引くことによって同期を実現する。動画画像メディアの場合、毎秒30枚の連続画像表示が標準だが、処理が遅れば必ずしも連続でない画像を、例えば1秒間に20枚表示する。

つまり実時間連続同期とは、メディアプロセスが時系列情報を表示再生する際、その時刻に表示すべき情報を表示し、一連の情報系列を順次表示するのではなくシステム負荷の増大に応じて一部の表示を省略することで時系列情報全体の表示をおこなう同期である。

### 5.2.2 適応型連続同期

適応型連続同期は、負荷変動に応じて同期グループ全体の表示速度を下げることで実現する。この同期は、表示を間引くことでプレゼンテーションの内容が損なわれることを避けたい場合に有効である。ここではグループ内の時系列情報間の同期が要件であり、実時間への同期は必ずしも必要ではない。そこで利用者があらかじめ指定した時系列情報を基準とし、その表示速度の変化に他の情報の表示を追従させることで同期を保つ。表示速度の変更はリンクマネージャが管理する。指定された情報以外の表示が遅れ

た場合や、指定された時系列情報でもリンクマネージャの指示が出るまでは、実時間同期の場合と同様、表示を間引くことで同期を保つ(図4、5参照)。

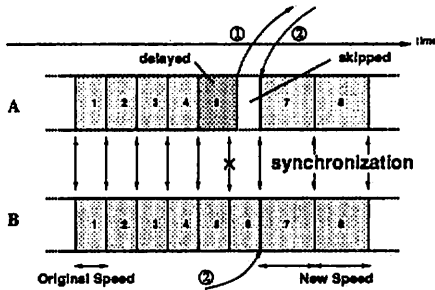


図 4: 時系列情報表示速度の変更

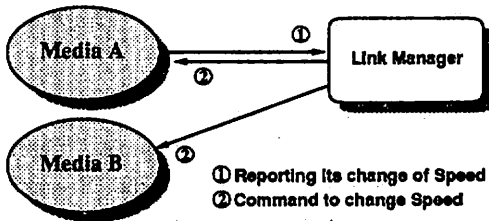


図 5: プロセス間のメッセージ交換

図 4、5 は A と B の 2 つの時系列情報を適応型連続同期した場合の例であり、ここでは A が基準に指定されている。この例では、A を構成する 5 番の情報を表示しているときにシステムの負荷が変動し、次の情報の表示を間引くことで同期を保っている。A を表示するメディアプロセスは表示の遅れを検出した時点で表示速度の変化を知らせるイベント (1) を発信し、これを受けたリンクマネージャが A、B を表示するそれぞれのメディアプロセスに速度変更を指示 (2) している。この指示により、7 番以降の情報は新しく設定された速度で表示される。

以下、基準に指定された時系列情報を表示する場合とそれ以外の場合でのメディアプロセスの動作について述べる。

### 基準以外の時系列情報の場合

システムの負荷が変動しても、メディアプロセスは能動的に時系列情報の表示速度を変更することは出来ない。したがって、目標速度が必ずしも標準速度と等しくないことと、状況に応じて目標速度が変化することを除いて、メディアプロセスの動作は実時間連続同期と同じである。

### 基準に指定された時系列情報の場合

時系列情報にはメディアの種類に応じた標準表示速度があらかじめ決まっている。適応型同期は処理の遅れの有無に関わらず、一連の情報系列を確実に表示するのが目的なので、標準速度を達成できない場合はその時点でのメディアプロセスの表示能力に見合った新しい目標速度を設定する。

基準に指定された時系列情報を表示するメディアプロセスは表示の間、定期的に平均表示速度を監視し、遅れを検出した時点でリンクマネージャにこれを報告する。このとき発信するイベントには、その時点での平均表示速度を目標速度に対する比率で記述する。これはすなわち、

$$(\text{比率}) = \frac{(\text{目標速度})}{(\text{平均速度})} \times 100(\%)$$

である。例えば、ある時点での動画の平均表示速度が毎秒 15 枚であれば、比率は 50 % である。

報告を受けたリンクマネージャは、同期グループ内のすべてのプロセスに新しい目標速度と、その速度を有効とすべき時刻を指示する。新しい目標速度は報告された比率から決まり、

$$(\text{目標速度}) = \frac{(\text{元の目標速度}) \times (\text{比率})}{100}$$

である。目標速度を有効とする時刻を指定するのは、メッセージの伝送遅延に対応するためである。開始点同期の説明ですでに述べたが、リンクマネージャはさらに、目標速度の変更によって後続のメディア情報の表示開始予定時刻がどれだけずれるかを各メディアプロセスに指示する。

ただし、遅れを報告したメディアプロセスはリンクマネージャから指示があるまでは実時間同期と同様の手法を用いて目標速度を維持する。また、目標速度が標準速度よりも遅く設定されている状況でこのメディアプロセスが目標速度を達成した場合、新しい目標速度を標準速度に設定するようリンクマネージャにメッセージを送る。

## 6 おわりに

本稿では時系列情報の表示における同期の問題点と実現法について述べてきた。開始点同期ではメッセージの伝搬遅延や処理の遅れの影響を受ける。また、システム自身がつくりだす負荷を分散しなければ、周囲の状態に関わらず同期が実現できなくなる。一方、連続同期では CPU やネットワークの負荷変動の影響があると指定の速度で表示を継続することが非常に困難である。つまり、分散環境における同期の乱れの主な原因は、ネットワークや CPU にかかる負荷の増大によって、情報の処理が遅れることにある。

本稿で提案した機構は、以上の問題に対処して時系列情報を同期して表示することができる。このときネットワークの平均伝搬遅延時間と、メディア情報ごとに準備時間の見積もりがあらかじめ必要だが、これらは容易に見積もることができる。

現状の UNIX では、プロセスの実行に時間的制約を指定することができないために処理時間が決定しない。Mach をリアルタイム拡張した OS [6][7] では、プロセスが実行される時間の上限を規定することができる。しかしリアルタイム OS においても、時系列情報の表示などの処理を常に一定の割合でおこなわせるには、プログラミングレベルで何らかの工夫が必要である。本研究では、プロセスの実行を一定におこなうための機構を実現し、UNIX のような OS でもプレゼンテーションに支障をきたさない程度に時系列情報の処理ができることを示している。

今後リアルタイム OS にこのような機構を導入することで、時系列情報の処理をより正確に

同期できると考えられる。

## 参考文献

- [1] 藤川 和利, 田島 孝一, 有吉 勇介, 下條 真司, 松浦 敏雄, “実時間性を考慮した分散型マルチメディアシステムの構築,” 日本 UNIX ユーザ会, 第 20 回 UNIX シンポジウム予稿集, pp.161-172 (1992-10).
- [2] 藤川 和利, “分散型マルチメディアシステムの構築に関する研究,” 平成 4 年度 大阪大学大学院 基礎工学研究科 物理系専攻 博士学位論文, (1993-02).
- [3] K. Fujikawa, S. Shimojo, T. Matsuura, S. Nishio, and H. Miyahara, “Multimedia Presentation System Harmony with Temporal and Active Media,” *Proceedings of the Summer 1991 USENIX Conference*, pp.75-94 (Jun. 1991).
- [4] S. Shimojo, T. Matsuura, K. Fujikawa, S. Nishio, and H. Miyahara, “Architectural Issues in Multimedia Presentation System Harmony,” *Proceedings of the IFIP TC8/WG8.1 Working Conference the Object Oriented Approach in Information Systems, North-Holland*, pp.381-402 (Oct. 1991).
- [5] David L. Mills, “Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis,” *Network Working Group RFC-1305*, (Mar. 1992)
- [6] H. Tokuda, T. Nakajima, and Prithvi Rao, “Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System,” *Proceedings of USENIX Mach Workshop*, (Oct. 1990)
- [7] J. Nakajima, M. Yazaki and H. Matsumoto, “Multimedia/Realtime Extensions for the Mach Operating System,” *Proceedings of the Summer 1991 USENIX Conference*, pp.183-198 (Jun. 1991).