

## マルチメディア遠隔提示システムの設計に関する一検討

大野 隆一, 相田 仁, 齊藤 忠夫

東京大学工学部

マルチメディア情報を用いて多地点間での会議, 教育など様々な活動を支援するシステムに対する期待が高まっている。本論文では, このようなマルチメディア遠隔提示システムを構築する際の設計手法について検討する。論文中では, まず, 各メディアごとのバッファ量が与えられた際の同期判定, 及び, 待ち時間の算出手法を示す。また, 本手法を用いて実際にシステム設計を行ない, 検討を加える。次に, 各ノード全体のバッファ量が与えられた際の同期判定, 及び, 待ち時間の算出手法を示す。さらに, 本手法を用いて実際にシステム設計を行ない, その結果について検討を加える。

## A Study for Construction of Multimedia Remote Presentation Systems

Ryuichi Ohno, Hitoshi Aida, and Tadao Saito

Faculty of Engineering, the University of Tokyo

In this paper, we study conditions to construct multimedia remote presentation systems, in which Retrieved Media Streams (RMS) such as media streams retrieved from video equipment and Live Media Streams (LMS) such as raw voices of some participants are presented at remotely located nodes. At first, a method to judge whether given buffer size of each RMS at each presentation node is enough to satisfy semantics of R&L synchronization is presented. A method to calculate required command response time when the semantics is satisfied is also presented. Then, a method to judge whether given buffer size at each presentation node is enough to satisfy semantics of R&L synchronization is presented. A method to calculate required command response time when the semantics is satisfied is also presented.

## 1 まえがき

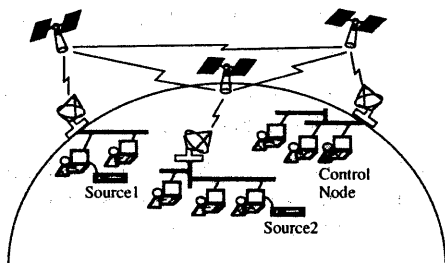


図 1: マルチメディア遠隔提示システム

近年, ネットワーク技術及びコンピュータ技術の発展に伴い, ネットワークを介してマルチメディア情報を送ることによって多地点間での会議, 教育など様々な活動を支援

するシステムの研究・開発が盛んに行なわれてきている。

我々はこのような多地点間の会議や教育を支援するシステムにおいてメディア間の同期を取る手法についての検討, 及び, システムの試作を行なっている [2, 3]。

本論文では, 予めネットワーク, 端末などの資源を確保することでそれらの資源の QOS が保証されるような環境におけるメディア間の同期を考慮したマルチメディア遠隔提示システムの設計手法について検討する。

## 2 システムの概要

本論文で想定するシステムは図 1 のように複数のノードが何かしらのネットワークでつながっており, 各ノードにはディスプレイ装置などのマルチメディア表示用の装置, 及び, メディア間のずれの吸収などに用いられるメモリが備わっているものとする。また, システム中の幾つかのノードにはメディア情報の入ったディスク,

テープなどの情報発生源となる装置が備わっている。そして、システム中の一つのノードが操作者となり、再生などの指示を出すことで各ノードでの蓄積型情報源から引き出されたメディア情報 (RMS) の提示位置が変化する。また、各ノードにはビデオカメラ、マイクロフォンなどの装置も備わっており、参加者の声などの生のメディア情報 (LMS) もすべてのノードにマルチキャストされ、提示されるものとする。システムの詳細については [2, 3] などを参照されたい。

### 3 システム条件

想定するシステムとしては図2のような一つの操作者ノード、複数の情報発生源ノード、及び、情報提示ノードからなるものを考える。

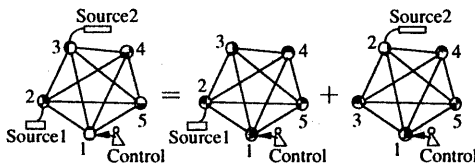


図 2: 想定するシステム

ここで、操作者ノードを 1, 情報発生源ノードを  $i$  ( $2 \leq i < m$ ), 情報提示ノードを  $j$  ( $j \geq m$ ) と表記する。また、以下の議論を進めていく上で使用する記号を表 1 に示す。

$N$	全ノードの数
$T_k$	各情報源でのメディア発生間隔
$T_{ij}$	$i$ から $j$ までのノード間遅延 ( $1 \leq i, j \leq N$ )
$T_{set}$	情報源を各命令に対してセットアップするのに必要な時間 (ハードディスクのシークにかかる時間、ビデオテープ装置の機械的な動作にかかる時間など)
$T_c$	メディア情報の圧縮伸長時間 (LMS)
$T_{dci}$	メディア情報の伸長時間 (RMS) ( $2 \leq i < m$ )
$D_{ij}$	$i$ の再生点に対する $j$ の再生点の遅れ ( $1 \leq i, j \leq N$ )
$T_d$	遅延変動吸収のための必要なバッファ量

表 1: システム中で使用されている記号

表 1 において、 $T_{ij}$ ,  $T_{set}$  などの時間の上限及び下限はあらかじめわかっているものとする。

次に、各ノードでの状態と操作命令を表 2 に示す。

この表において、◎または○で示してある部分はその状態に対して対応する命令が実行可能であることを示し、×に対応する命令は許されないとする。また、◎で示してある部分は後で述べる R&L 同期のセマンティクスを満たすものとする。

状態 命令	一時停止	再生	逆再生	早送り	巻き戻し
一時停止	×	◎	○	○	○
再生	◎	×	×	×	×
逆再生	○	×	×	×	×
早送り	○	○	○	×	○
巻き戻し	○	○	○	○	×
順コマ	◎	×	×	×	×
逆コマ	◎	×	×	×	×

表 2: 各状態において実行可能な命令

LMS と RMS の情報提示の際のタイミングに基づく R&L 同期のセマンティクスを以下に示す。このセマンティクスにおいて、RMS 間の同期はすべて厳密に取るものとする。

**sync\_with\_one** RMS と操作者からの LMS との同期。すべてのノードにおいて、操作者ノードにおいて LMS が取り込まれたのと同じタイミングで、LMS が RMS と同期して提示されること。

以下に示す式が満たされることが条件となる。

$$D_{i1} + T_{i1} + T_c \leq 0 \quad (2 \leq i \leq N)$$

**sync\_with\_all** RMS と全ての参加者からの LMS との同期。すべてのノードでの再生点が各時刻において等しいこと。

式 (3) が満たされることが条件となる。

$$D_{ij} = 0 \quad (1 \leq i, j \leq N)$$

**sync\_with\_multi** RMS と操作者を含む複数の参加者 (発信者ノード) からの LMS との同期。

**sync\_with\_none** RMS と LMS との同期は考えず、RMS 間の同期のみ保証する。

また、R&L 同期における各ユーザへの情報提示を以下のように規定する。

- 全てのノードにおいて少なくとも操作者ノードと同じだけの情報が提示される。
- 再生命令に対しては各ノードで R&L 同期のための再生点調整を行なった後、LMS との同期が取れた状態で情報提示が始められる。
- 一時停止、コマ送り命令に対して各ノードでは命令到着後、即座に反応する。コマ送り中には RMS と LMS との同期は保たれる必要はない。命令実行後、一定時間が経過した後、LMS との同期が回復する。

R&L同期のセマンティクスは再生点調整、同期回復などに必要な待ち時間  $W_r$ 、伸長が必要なメディアの情報提示の遅れを吸収するために必要な待ち時間  $W_d$  に加え、各ノードで等しい、任意の時間待たせた場合に満たされる。この、各ノードで等しい待ち時間を  $W_s$  と表記する。

以下の議論を進めていく上での仮定、R&L同期における各ユーザへの情報提示、 $W_r$ 、 $W_d$ の算出法などの詳細については誌面の制約上省略する。詳しくは[2]を参照されたい。

#### 4 メディアごとのバッファの大きさが与えられた際のR&L同期判定と必要な待ち時間の算出法

端末として専用端末が用いられる場合などには、予め各端末に各メディアごとのバッファ（フレームバッファなど）が設けられていることを想定することができる。

本節では、各ノードで各メディアごとのバッファ量が予め与えられている場合にR&L同期が満たされるかの判別、及び、満たされる場合に必要な待ち時間の導出を行なうための計算式を導き出す。

各ノードでは各情報源ごとにバッファを持っているので、図2のように、システムは情報発生源ノードごとに分割して考えることができる。

そこで、以下、図2の分割後のような1つずつの操作者ノードと情報発生源ノード及び複数の情報提示ノードからなるシステムについて考えていく。

ここで、図2のように分割後のシステムで操作者ノードが1、情報発生源ノードが2、情報提示ノードが $i$  ( $3 \leq i \leq N$ )となるように番号を振り直す。また、 $T_{dci}, W_{di}$  ( $2 \leq i < m$ )は $i$ を省き、 $T_{dc}, W_d$ と表記する。さらに、各メディアバッファ中で再生点よりも後、つまり再生方向にある部分（以下、futureバッファと呼ぶ。）の大きさを $F_i$  ( $1 \leq i \leq N$ )、再生点よりも前、つまり逆再生方向にある部分（以下、pastバッファと呼ぶ。）の大きさを $P_i$  ( $1 \leq i \leq N$ )と表記する。

R&L同期判定、及び、必要な待ち時間の算出の手順を以下に示す。

1. 各情報源ごとに分割した各々の構成（図2）において各命令ごとにR&L同期判定を行なう。R&L同期のsemanticsが満たされる場合にはすべてのノードで等しい $W_s$ を算出する。
2. この算出した $W_s$ を全ての分割したシステムから持ち寄り、各命令ごとに比較し、各命令ごとの最大値をその命令に関する待ち時間とする。
3. 各情報源では最大値に達しなかった命令について、最大値との差に相当する時間の分だけ情報源からの

メディア情報の送を開始を遅らせる。

以下、各情報源ごとに分割した各々の構成において各命令についてのR&L同期判定、及び、 $W_s$ の算出を行なうための式を示す。ここで、各ノードのバッファの大きさを $FP_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )とおく。

##### 4.1 一時停止状態

###### ・順コマ送り命令

一コマあたり $T_k$ 時間進むとすると、一コマだけなら

$$T_k < F_1$$

が満たされればよい。

連続 $M$ 回、 $T_b$  ( $T_b > T_k$ )時間ごとにコマ送りボタンを操作者が押す場合、以下の式が満たされる必要がある。

$$F_i \geq \text{MAX}(((T_{12} + T_{set} + T_{21} - W_d)/T_b + 1)T_k, ((T_{set} - W_d)/T_b + 1)T_k, ((T_{12} + T_{set} + T_{23} - T_{13} - W_d)/T_b + 1)T_k, \dots, ((T_{12} + T_{set} + T_{2N} - T_{1N} - W_d)/T_b + 1)T_k) \quad (1 \leq i \leq N)$$

この条件が満たされなければR&L同期のセマンティクスを満たすことはできない。

また、この条件が満たされれば

$$W_s = 0$$

となる。

###### ・逆コマ送り

逆コマ送りの場合も順コマ送りの場合と同様に同期条件を求めることができる。

###### ・再生命令

コマ送り命令、逆コマ送り命令で必要なfutureバッファ、pastバッファの大きさをそれぞれ $FB_i, PB_i$  ( $1 \leq i \leq N$ )とする。

情報源からは以下に示す式で求まる $L$ 先のデータから各ノードに情報が送られる。

$$L = \text{MIN}(FP_1 - PB_1, FP_2 - PB_2, \dots, FP_N - PB_N)$$

この場合、 $W_s$ は以下の式により求まる。

$$W_s = \text{MAX}(0, T_{12} + T_{set} + T_{21} - W_{r1} - W_d + T_k - L, T_{set} - W_{r2} - W_d + T_k - L, T_{12} + T_{set} + T_{23} - T_{13} - W_{r3} - W_d + T_k - L, \dots, T_{12} + T_{set} + T_{2N} - T_{1N} - W_{rN} - W_d + T_k - L)$$

また、情報源からのデータが表示開始より先に到着する場合、先に到着する分のバッファが確保できなければR&L同期のsemanticsを満たすことはできない。つまり、以下の式の結果が正の値ならば、その大きさのバッファが $L$ 以外に確保できる必要がある。

$$W_{r1} + W_s + W_d - T_{12} - T_{set} - T_{21} \quad (\text{ノード1})$$

$$W_{r2} + W_s + W_d - T_{set} \quad (\text{ノード2})$$

$$W_{ri} + W_s + W_d - T_{12} - T_{set} - T_{2i} + T_{1i} \quad (\text{ノード3} \sim N)$$

## 4.2 再生状態

### ・一時停止命令

まず再生中の各ノードへの情報源からのメディア情報の到着のずれ及びネットワークの遅延変動を吸収するために最低限必要な future バッファの大きさ  $FN_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) を求める。

ここで、以下の式を満たすノードが一つでも存在すれば R&L 同期の semantics を満たすことはできない。

$$FP_i - FN_i < 0 \quad (1 \leq i \leq N)$$

次に、R&L 同期の semantics を満たす場合の  $W_n$  を求める。

$$D_{i1} + T_{i1} + T_{dc} + T_k < FP_i - FN_i \quad (1 \leq i \leq N)$$

ならば、

$$TW_i = 0$$

それ以外ならば

$$TW_1 = 0 \quad (\text{ノード1})$$

$$TW_2 = T_{set} - W_{r2} - W_d \quad (\text{ノード2})$$

$$TW_i = T_{i2} + T_{set} + T_{2i} - T_{1i} - W_{ri} - W_d \quad (\text{ノード3} \sim N)$$

として (ただし  $TW_i < 0$  ならば  $TW_i = 0$ )、

$$W_n = \text{MAX}(TW_1, TW_2, \dots, TW_N)$$

となる。

## 5 システム構成に関する考察

本節では R&L 同期判定、及び、必要な待ち時間の算出を行なうための計算式を使って幾つかの具体的な数値例を示し、算出結果について考察を加える。

### 5.1 算出条件

R&L 同期のセマンティクスを満たすために最低限必要なバッファ量を図2の構成のネットワークについて求める。

ここで情報源としては動画情報の入ったハードディスク ( $T_{set} = [0 \text{ ミリ秒}, 30 \text{ ミリ秒}]$ ) を想定する。ただし、 $[r_{min}, r_{max}]$  は最小値  $r_{min}$  から最大値  $r_{max}$  までの範囲内の値を取るものとする。

また、ネットワークとしては、遅延の大きな衛星通信回線を含むネットワークモデルを想定した。各遅延は可変であるとし、遅延をノード間の遅延として図2の5角形でモデル化している。遅延時間の一例として短い方の辺の遅延 ( $T_{12}, T_{23}$  など) を [270 ミリ秒, 300 ミリ秒]、大きい方の辺の遅延 ( $T_{13}, T_{14}$  など) を [432 ミリ秒, 480 ミリ秒] とした。

伸長・圧縮に伴う遅延は  $T_c = 0$  ミリ秒とし、 $T_{dc}$  は伸長が必要な場合 33 ミリ秒、必要でない場合 0 ミリ秒とした。

また、 $T_k = 33$  ミリ秒、 $T_b = 100$  ミリ秒、 $T_d = 33$  ミリ秒とした。

各ノードで再生命令を受け取った際に再生点調整を行なうのに必要な待ち時間、及び、一時停止、コマ送り命令実行後 LMS との同期回復に必要な待ち時間を `sync_with_one`、`sync_with_all` の場合について表3に示す。

	node1	node2	node3	node4	node5
<code>sync_with_one</code>	0ms	15ms	24ms	24ms	15ms
<code>sync_with_all</code>	480ms	195ms	24ms	24ms	195ms

表3: 各ノードで必要な待ち時間

### 5.2 算出結果と考察

算出結果を以下に示す。

まず、各メディアバッファの大きさが全てのノードで等しい場合のバッファの大きさと  $W_n$  の関係を示す。

(ここでは各メディアバッファが等しい場合についての結果のみ示すが、それ以外の場合にも4節で述べた算出式を用いて同様に算出できる。)

次に、求めたグラフを用いて実際に各メディアバッファの大きさが与えられた時の同期判定及び  $W_n$  の算出を行なう。

#### 5.2.1 バッファの大きさと $W_n$ の関係

ここで示すグラフは横軸がバッファの大きさ、縦軸が必要な  $W_n$  となっている。

また、必要な  $W_n$  は  $T_{set}$ 、 $T_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq N$ ) などがその取り得る値の範囲内でどのような値を取ったとしても必要十分な大きさとする。

情報源がハードディスクで `source1`、 $T_{dc} = 33$  ミリ秒の場合に `sync_with_one` のセマンティクスを満たすために各ノードで最低限必要な  $W_n$  を図3に示す。

図3からわかるように `sync_with_one` の場合、`stop` → `play` が同期判定及び  $W_n$  の算出を行なう際に最も厳しい条件となる。

#### 5.2.2 R&L 同期判定と必要な $W_n$ の算出

前節で求めたグラフを利用して実際に R&L 同期判定と必要な  $W_n$  の算出を試みる (前節では `source1` の場合のグラフのみ示したが、`source2` に対しても同様に  $W_n$  を算出できる。)

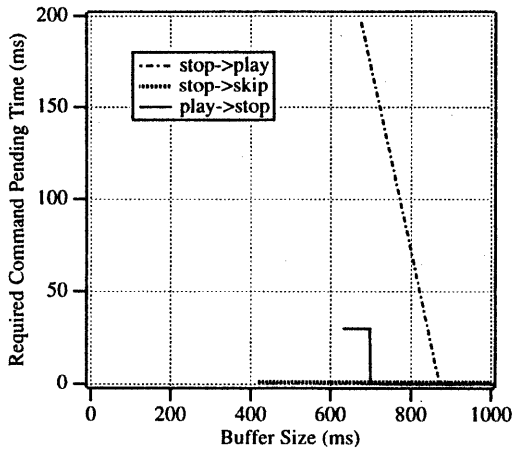


図 3: 必要な  $W_s$

- 各ノードの source1 に対するメディアバッファの大きさが  $678ms$  よりも少なければ、sync\_with\_one のセマンティクスを満たすことはできない。
- 各ノードの source1, source2 に対するメディアバッファの大きさがそれぞれ  $800ms$ ,  $1200ms$  の場合、sync\_with\_one のセマンティクスを満たすことができる。

停止状態から再生を行なう際に必要な  $W_s$  は source1 に対して  $74ms$ 、source2 に対して  $141ms$  であり、システム全体の stop → play 命令に対する  $W_s$  は  $141ms$  となる。また、この場合 source1 からのメディア送出を  $67ms$  遅らせる。他の命令に対する  $W_s$  は  $0ms$  である。

## 6 メディア全体のバッファの大きさが与えられた際の R&L 同期判定と必要な待ち時間の算出法

ワークステーションの主記憶のように、全てのメディアが全体として一つのバッファを共有する場合も想定できる。

このように、各ノードのメディアバッファの合計が与えられた場合には以下のようにグラフを利用することで各メディアへのバッファの割り当てを決めてから  $W_s$  を算出することができる。ただし、ここで各メディア  $i$  ( $1 \leq i \leq N_m$ ) ごとに、[単位時間分のバッファ] 当たりに必要な [メモリ量としてのバッファ] の大きさを  $K_i$  とする。

1. 各メディア  $i$  について、 $W_s$  が与えられた際に各ノード  $j$  ( $1 \leq j \leq N$ ) に必要なバッファ量を求め

る式 [2] から  $W_s$  とバッファ量の関係を示すグラフを求める。

$$buff = f_{ij}(W_s)$$

2. 各ノードの  $W_s$  とバッファ量の関係を表すグラフを求める。

$$Buff = g_j(W_s) = \sum_{i=0}^{N_m} K_i \times f_{ij}(W_s)$$

3. 求めたグラフと各ノードのバッファ量の合計  $AB_j$  により各ノードでの R&L 同期判定、及び、必要な  $W_s$  の算出を行なう。この  $W_s$  に対して求まる各メディアについてのバッファの大きさを各メディアに対するバッファの割り当てとする。
4. 4節と同様の方法により各メディアごとに割り当てられたバッファから各命令ごとの  $W_s$  を改めて算出する。

## 7 システム構成に関する考察

本節ではメディア全体のバッファの大きさが与えられた際の R&L 同期充足判定と必要な待ち時間の算出を行なうための計算式を使って幾つかの具体的な数値例を示し、算出結果について考察を加える。

### 7.1 算出条件

算出条件は 5.1 節の場合と同じ条件とする。ただし、source1, source2 に対する  $K_i$  はどちらも  $1Mbytes/秒$  とする。

### 7.2 算出結果

算出結果を以下に示す。

まず、 $W_s$  と各ノードのバッファの大きさの関係を示す。

次に、各ノードのバッファ全体の大きさが与えられた際の R&L 同期判定及びシステム設計を行なう。

#### 7.2.1 $W_s$ と各ノードのバッファの大きさの関係

本節では  $W_s$  と各ノードのバッファの大きさの関係を示す。ただし、ここで示すグラフは全て横軸が  $W_s$ 、縦軸が各ノードで必要なバッファの大きさとなっている。ここで、必要なバッファの大きさは  $T_{sel}$ ,  $T_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq N$ ) などがその取り得る値の範囲内でどのような値を取ったとしても必要十分な大きさとする。また、バッファの大きさはバイト単位で表す。

図 4 は情報源がハードディスクで  $T_{dr} = 33$  ミリ秒の場合に sync\_with\_one のセマンティクスを満たすために

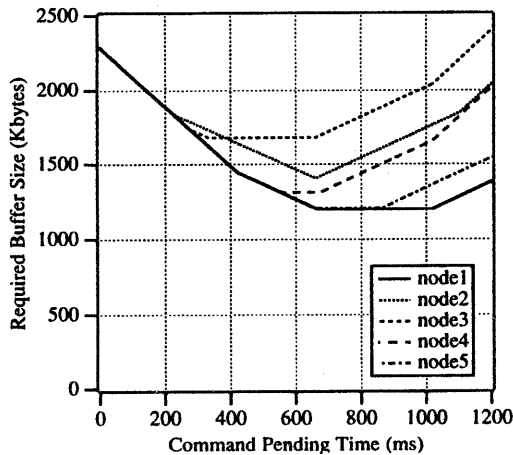


図 4: 必要なバッファ量

各ノードで最低限必要なバッファの大きさを示している。

図4で示したグラフは以下のような傾向を示す。

- $W_s$  をある程度増やすことにより必要なバッファの大きさを削減できる。しかし、 $W_s$  をある程度以上増やすとかえって必要なバッファ量が増加する。
- $W_r$  も含めて考えると、操作者ノード (node1) に近いノードほど必要なバッファ量が小さく、情報源ノード (node2, node3) に近いノードほど必要なバッファ量は大きい。

## 7.2.2 R&L 同期判定とシステム設計

前節で求めたグラフを利用して各ノードのバッファ全体の大きさが与えられた際の同期判定とシステム設計を行なう。

sync\_with\_one の場合の同期判定とシステム設計を以下に示す。

- ノード1では1201.2 Kbytes, ノード2では1398.4 Kbytes, ノード3では1674.0 Kbytes, ノード4では1306.8 Kbytes, ノード5では1201.2 Kbytesの大きさのメモリが最低限必要となる。各ノードにそれ未満の大きさのメモリしか余っていないならば、sync\_with\_one のセマンティクスを満たすことはできない。
- 各ノードに1800Kbytes ずつの free のメモリがある場合に各ノードで各メディアに必要なバッファの大きさを表4に示す。

また、この際の各命令に対する  $W_s$ , 及び、各情報源からの送出待ち時間を表5に示す。

	node1	node2	node3	node4	node5
Media1 (from Source1)	643.2 Kbytes	678.0 Kbytes	643.2 Kbytes	643.2 Kbytes	643.2 Kbytes
Media2 (from Source2)	1122.0 Kbytes	1122.0 Kbytes	1122.0 Kbytes	1122.0 Kbytes	1122.0 Kbytes

表 4: 各メディアバッファの大きさ

命令	stop ->play	stop ->skip	play ->stop
$W_s$			
$W_s$ of Media1 (送出待ち時間)	231ms (0ms)	0ms (0ms)	30ms (0ms)
$W_s$ of Media2 (送出待ち時間)	219ms (12ms)	0ms (0ms)	0ms (30ms)
$W_s$	231ms	0ms	30ms

表 5:  $W_s$

R&L 同期判定とシステム設計を行なった結果から以下のようなことがわかる。

- 各ノードにおいて最低限必要なバッファの大きさ以上のメモリが余っていないならば、R&L 同期を満たすことはできない。
- 最低1つのノードが与えられたメモリを使い切るが、それ以外のノードでは与えられたメモリ全ては必要ない。

## 8 むすび

本稿では、マルチメディア遠隔提示システムを構築する際の設計手法について検討した。論文では、まず、各メディアごとのバッファ量が与えられた際の同期判定、及び、待ち時間の算出手法を示した。また、本手法の適用例についても示した。次に、各ノード全体のバッファ量が与えられた際の同期判定、及び、待ち時間の算出手法を示した。さらに、本手法の適用例についても示した。

## 参考文献

- [1] Little T.D.C.: "Multimedia Synchronization Protocols for Broadband Integrated Services", IEEE J. Sel. Areas Commun., 9, 9, pp.1368-1382(1991).
- [2] 大野, 相田, 齊藤: "マルチメディア遠隔提示システムの同期条件の検討", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 66-22, 1994.
- [3] 大野, 相田, 齊藤: "分散マルチメディアシステム DMSIC における同期機構の実現と評価", 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 69-8, 1995.