

分散仮想環境における端末間同期方式

都丸 清[†] 石橋 豊[†] 田坂 修二[†]

[†] 名古屋工業大学 工学部 電気情報工学科

〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

Tel: 052-732-2111 ext. 5906

E-mail: [†]{tom, ishibasi, tasaka}@inl.elcom.nitech.ac.jp

あらまし 本報告では、3次元仮想空間に音声とビデオを出力する分散仮想環境において、端末間でメディアの出力タイミングを揃える端末間同期方式を提案する。提案方式では、音声とビデオを含むメディアオブジェクトの局所的な重要度の外に、総体的な重要度の概念を導入する。これらの重要度は、メディアオブジェクトと利用者との位置関係から決められ、利用者からの注目の度合いを表す。局所的な重要度は、各利用者からみた重要度のことであり、メディア内及びメディア間同期制御において用いられる。また、総体的な重要度は、仮想空間内の全利用者からみた重要度のことである。提案方式では、この総体的な重要度に応じて、各端末が揃えるべき出力タイミングを変更するため、筆者らが以前に提案した同期マエストロ方式を拡張する。そして、実験により、提案方式の有効性を示す。

キーワード 分散仮想環境, 3次元仮想空間, 端末間同期, メディア同期, 実験

An Inter-Destination Synchronization Scheme in Distributed Virtual Environments

Kiyoshi TOMARU[†], Yutaka ISHIBASHI[†], and Shuji TASAKA[†]

[†] Department of Electrical and Computer Engineering,

Nagoya Institute of Technology,

Nagoya 466-8555, Japan

Tel: +81-52-732-2111 ext. 5906

E-mail: [†]{tom, ishibasi, tasaka}@inl.elcom.nitech.ac.jp

Abstract This report proposes an inter-destination (or group) synchronization scheme, which adjusts the output timing among destinations, in distributed virtual environments where voice and video streams are output in a 3-D virtual space. We introduce the concept of the global importance as well as the local importance of media objects, each of which includes a voice stream and a video one. The two types of importance are determined by the positional relation between media objects and users, and they represent how strongly each object attracts the users' attention. The local importance is the importance which is judged from the viewpoint of each user. It is used under intra-stream and inter-stream synchronization control. The global importance means the importance which is judged from the point of view of all the users in the virtual space. We enhance the synchronization maestro scheme, which the authors previously proposed, so as to adjust the output timing of media streams among the destinations according to the global importance. In addition, we illustrate the effectiveness of the proposed scheme by experiment.

Key words Distributed virtual environment, 3-D virtual space, Inter-destination synchronization, Media synchronization, Experiment

1. ま え が き

近年, CG(Computer Graphics) を用いて構築された 3 次元仮想空間内で, 音声とビデオを含むアバタ(化身)を用いて協調作業や会話を行う分散仮想環境の研究が活発に行われている[1]–[4]。しかし, インターネットのようにサービス品質(QoS)が保障されないネットワークを用いて, これらのメディアを転送すると, ネットワーク遅延の揺らぎによってメディアの時間関係が乱され, それらの出力品質が大きく劣化する可能性がある。また, 複数の利用者間でメディアの出力タイミングが異なると, 会話における発言の公平性が損なわれるという問題も生じる。

これらの問題を解決するために, 単一メディアのメディアユニット(MUと略す。例えば, ビデオフレーム)間の時間関係を維持するメディア内同期制御[5], 複数メディア間の時間関係を保持するメディア間同期制御[5], 及びメディアの出力タイミングを端末間で揃える端末間同期制御[6]–[8]が必要となる。しかし, 分散仮想環境において, これら三つの制御を同時に扱った研究は全く行われていない。

筆者らは, 文献[9], [10]において, 分散仮想環境にVTR(Virtual-Time Rendering)メディア同期アルゴリズム[11]を適用し, 音声とビデオを含むメディアオブジェクト(以下, オブジェクトと略す)の重要度(利用者とのオブジェクトとの距離や角度によって決まる)に応じてメディア同期精度を変更する方式を提案している。また, 文献[10], [12]では, 端末の処理負荷, ネットワーク負荷, 及びオブジェクトの重要度に応じて, トラフィック制御及び端末の処理負荷制御も行っている。これらの制御に重要度を用いるのは, 重要度の低いオブジェクトのメディア出力品質を僅かに犠牲にすることにより, 重要度の高いオブジェクトのメディア出力品質をできるだけ高く維持するためである。そして, 仮想空間内に複数のオブジェクトを出力する実験により, それらの制御の有効性を示している。しかし, これらの文献は, 端末間同期の問題を扱っていない。

端末間同期のために, 筆者らは以前に, 同期マエストロ方式[7]や分散制御方式[8]などを提案し, 実験により, それらの有効性を示している。本報告では, 分散仮想環境における端末間同期方式として, これらのうち, 同期マエストロ方式を採用する(注1)。同期マエストロ方式では, 各端末はメディアの出力タイミングに関する情報を同期マエストロに報告する。同期マエストロは, 報告された情報を基に基準とすべき出力タイミングを決定し, これを各端末にマルチキャストする。各端末は, メディアの出力タイミングを基準とすべきものに徐々に近づけることによって, 端末間同期を実現する。

分散仮想環境における端末間同期のために同期マエストロ方式をそのまま適用すると, 重要度の低いオブジェクトのメディアの出力タイミングに合わせて重要度の高いオブジェクトのメディアを出力することが起こり得る。この場合, 重要度の低いオブジェクトのメディアのネットワーク遅延が大きいと, 重要度の高いオブジェクトのメディアのリアルタイム性が損なわれる可能性がある。

そこで, 本報告では, 分散仮想環境において, 同期マエストロ方式を拡張し, オブジェクトの重要度を考慮した端末間同期方式を提案する。提案方式では, 各端末においてメディア同期精度の変更のために用いる重要度[9], [10](局所的な重要度と呼ぶ)の他に, 総体的な重要度の概念を導入する。総体的な重要度とは, 仮想空間内の全利用者からみたオブ

ジェクトの重要度のことである。そして, 提案方式では, オブジェクトの総体的な重要度に応じて, 基準とすべき出力タイミングを決定する。また, 本報告では, 実験により, 提案方式の有効性を定量的に示す。

以下では, 2章で同期マエストロ方式について述べ, 3章で同期マエストロ方式を拡張する。そして, 4章で実験システムを示し, 5章で実験結果の考察を行う。

2. 同期マエストロ方式

文献[7]の同期マエストロ方式では, 一つの同期マエストロを設け, 端末間のメディアの出力タイミングを合わせる。以下に, 各端末と同期マエストロの振舞いを説明する。

各端末は, 最初のMUの出力時と目標出力時刻[11](MUが出力されるべき時刻)の変更に, それぞれ最初のMUの出力時刻と総スライド時間(目標出力時刻の変更時間の総和)を, 出力タイミングに関する情報として同期マエストロに報告する。

また, 各端末は, $N_a(N_a \geq 1)$ 回連続してMUが目標出力時刻よりも遅く到着する場合, 出力タイミングに関する情報として, 総スライド時間の推奨値(総スライド時間に $r_1(r_1 > 0)$ を加えた値。但し, 変更後の目標出力時刻が, MUの発生時刻に最大許容遅延 Δ_{al} を足した値を超えないように設定される)を同期マエストロに送信し, バッファリング時間を増やそうとする。ここで, 総スライド時間の推奨値とは, 目標出力時刻を変更するべきか否かを同期マエストロに問い合わせるために送られるものである。逆に, $N_b(N_b \geq 1)$ 回連続してMUが目標出力時刻よりも早く到着する場合, リアルタイム性を維持するために, 総スライド時間の推奨値(総スライド時間から $r_2(r_2 > 0)$ を引いた値。但し, 変更後の目標出力時刻が理想的な目標出力時刻(ネットワーク遅延に揺らぎがない場合にMUが出力されるべき時刻)以前にならないように設定される)を同期マエストロに送信し, MUのバッファリング時間を減らそうとする。

同期マエストロは, 各端末から送られてきた出力タイミングに関する情報(最初のMUの出力時刻や総スライド時間またはその推奨値)を受信すると, その情報と他の端末のそれとを比較し, 基準とすべき出力タイミングを決定する。そして, それを制御情報として全端末にマルチキャストする。また, 同期マエストロは, 周期的(例えば, 1秒毎)に基準とすべき出力タイミングに関する情報を送信する。

文献[7]では, 同期マエストロにおける基準とすべき出力タイミングの決定方法として, 各端末から送られてきた出力タイミングの中で最も遅れたものが選択される場合を示している。

端末では, 同期マエストロから基準とすべき出力タイミングに関する情報を受信した場合, その値が以前に受信した値と異なると, MUの出力タイミングを基準とすべきものに徐々に近づけていく。

3. 同期マエストロ方式の拡張

本章では, オブジェクトの重要度を考慮した同期マエストロ方式を提案する。そのため, オブジェクトの重要度として, 文献[9], [10], [12]においてメディア内及びメディア間同期制御に用いられている局所的な重要度以外に, 総体的な重要度を定義する。これは, 各利用者からみた局所的な重要度だけでは, 仮想空間においてどのオブジェクトが重要なのか判断できないためである。総体的な重要度の定義の前に, オブジェクトの局所的な重要度について説明する。

オブジェクトの局所的な重要度は, 文献[9], [10]と同様に, 利用者とオブジェクトとの位置関係から決定される(図1参照)。図2に示すように, 本報告では, 局所的な重要度は

(注1): 今後, 分散制御方式を用いた場合についても検討する予定である。

5段階に分類され、それに応じてメディア同期精度を変更する[10](但し、簡単のため、局所的な重要度の決定には、図1の ϕ を考慮しないものとする)。各利用者の端末では、局所的な重要度が最も高いオブジェクトの音声とビデオをマスタメディア[11]として選択し、その他のメディアをスレーブメディアとする。マスタメディアのバッファリング時間は、オブジェクトの局所的な重要度に応じて図2に示すように決定され、スレーブメディアのバッファリング時間は、マスタメディアのそれと等しい値に設定される。なお、オブジェクトの移動によって、局所的な重要度が変化すると、文献[13]のマスタ・スレーブ切替制御によって、マスタメディアを変更する。

以下では、まず、総体的な重要度を定義する。そして、その重要度に応じて、基準とすべき出力タイミングをどのように決定するかを述べる。

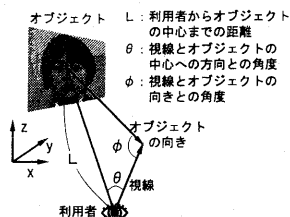


図1 利用者とオブジェクトの位置関係

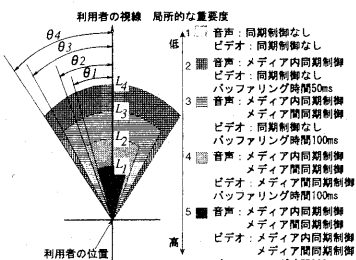


図2 オブジェクトの位置とメディア同期精度の関係

3.1 総体的な重要度

オブジェクトの総体的な重要度とは、仮想空間内の全利用者からみたそのオブジェクトの重要度のことである。本報告では、一つのオブジェクトに対する各利用者からみた局所的な重要度を足し合わせたものを、そのオブジェクトの総体的な重要度とする(注2)。これは、より多くの利用者から注目されている(すなわち、利用者からみた重要度が高い)オブジェクトが、その仮想空間内において重要であると考えられるからである。

仮想空間内に n 個のオブジェクト ($n > 1$) が存在すると仮定する。そして、オブジェクト j ($1 \leq j \leq n$) から見たオブジェクト i ($1 \leq i \leq n$) の局所的な重要度を $I_{\text{local}}^{(i,j)}$ (但し、 $I_{\text{local}}^{(i,i)} = 0$) とすると、オブジェクト i の総体的な重要度 $I_{\text{global}}^{(i)}$ は、 $I_{\text{global}}^{(i)} = \sum_{j=1}^n I_{\text{local}}^{(i,j)}$ となる。

3.2 基準とすべき出力タイミングの決定方法

本報告では、簡単のために、仮想空間内に存在するオブジェクトの総体的な重要度の平均 $I_{\text{mean}} (= \sum_{j=1}^n I_{\text{global}}^{(j)} / n)$ を

(注2): 総体的な重要度の決め方については、様々な方法が考えられる。他の方法については、今後の検討課題である。

越えるオブジェクトの出力タイミング(最初のMUの出力時刻及び総スライド時間または総スライド時間の推奨値)のうち、最も遅れたものを基準とすべき出力タイミングとする(注3)。すなわち、総体的な重要度がある程度高いオブジェクトのうち、最もネットワーク遅延が大きいオブジェクトのメディアの出力に合わせて他のオブジェクトのメディアを出力する。これにより、リアルタイム性を大きく損なわずに、総体的な重要度がある程度高いオブジェクトのメディアの出力品質を高く維持できると考えられる。

4. 実験

本章では、オブジェクトとしてアバタを考え、仮想空間内において、3人の利用者がアバタを介して移動しながら会話する実験を行った結果を述べる。仮想空間内における各利用者のオブジェクト(オブジェクト1~3)の初期位置を図3に示す。

4.1 実験システム

図4に示すように、実験システムは、3台の端末(端末1~3)と干渉トラフィック用パソコンPC1, 2を含む。端末の番号は、利用者のオブジェクトの番号に対応している(例えば、端末3の利用者のオブジェクトは、オブジェクト3である)。これらの端末とPCは、Ethernet(10BASE-T)経由で3台のルータに接続されている。このうち二つのルータ間には、固定遅延(本実験では100ms)を付加するためにデータリンクシミュレータ(ADTECH SX/12)が挿入されている。ルータ-データリンクシミュレータ間及びルータ間の接続には、V.35シリアルケーブル(帯域を2Mbpsに固定)が用いられている。端末1~3はOpenGLのハードウェアアクセラレーション機能を持つグラフィックボードを搭載したPC/AT互換機(端末1~3のCPUは、それぞれPentium III(動作周波数: 733MHz), Celeron(433MHz), Pentium II(450MHz)である)であり、OSにはWindowsNTが用いられている。

各端末は、音声とビデオ(表1参照)を取り込み、IPマルチキャスト[14](IGMPv2[15])により、それらのメディアを他端末にマルチキャストする。各オブジェクトの音声とビデオは、それぞれ異なるマルチキャストアドレスに送信される。本報告では、マルチキャストルーティングプロトコルとしてPIM-DM(Protocol Independent Multicast-Dense Mode)[16]を採用しており、トランスポートプロトコルとしてUDPを用いる。また、各端末は、その利用者のオブジェクトの位置情報(仮想空間内の座標と視線の向き)を100ms毎にマルチキャストする。端末1は、同期マエストロを兼ねている。各端末は、仮想空間を構築し、受信した音声とビデオを同期出力する。

また、干渉トラフィックとしてPC1からPC2へ固定長(1472バイト)のデータメッセージ(負荷データ)をUDPにより送信する。

端末間同期制御のためのパラメータは、 $N_a = N_b = 10, r_1 = 20\text{ms}, r_2 = 10\text{ms}, \Delta_{\text{al}} = 400\text{ms}$ に設定される。図2のパラメータ($L_1 \sim L_4, \theta_1 \sim \theta_4$)の値は、文献[12]で用いられた値と同じである。メディア内及びメディア間同期制御のためのパラメータと閾値には、文献[10]と同じ値を用いる。

4.2 実験方法

本報告では、仮想空間内において2人の利用者(図3のオブジェクト1と3)が会話をしている最中に、ネットワーク負荷の高い利用者(オブジェクト2)がオブジェクト3に近

(注3): 今後、これ以外の方法についても検討する予定である。

表1: メディアの仕様

項目	音声		ビデオ	
	オブジェクト 1, 2, 3		オブジェクト 1	オブジェクト 2
符号化方式	WAVE		MPEG1	
平均 MU レート (MU/s)			10.0	
平均ビットレート (kb/s)	64.0		170.0	190.0
総出力時間 (s)			150.0	

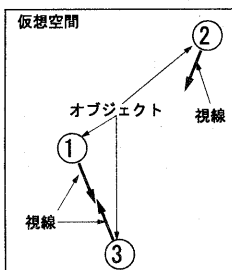


図3 オブジェクトの配置 (実験開始時)

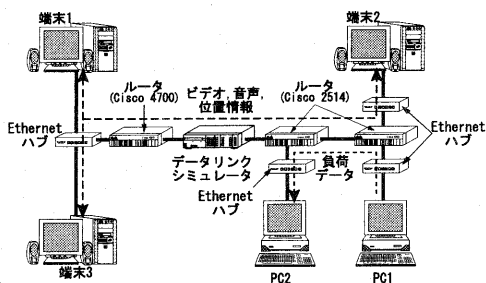


図4 実験システム

づき、会話に加わる場合を考える。オブジェクト3は、オブジェクト2が近づいてくると、オブジェクト2の方に視線を移動する。そして、オブジェクト2との会話の後に、再びオブジェクト1の方に視線を戻す。このようにすることによって、各オブジェクトの総体的な重要度を変更し、オブジェクトの重要度を考慮した端末間同期制御の有無が端末間同期品質やリアルタイム性等に及ぼす影響を調べる。なお、本報告では、簡単のため、平均負荷 (PC1 が単位時間あたりに送信する負荷データの平均ビット数) を約 1.6Mbps に固定する。

図5に、端末3における仮想空間の表示例を示す。オブジェクトの振舞は、次の通りである。最初、図3に示すように、オブジェクト3は、オブジェクト1の方を向いており、オブジェクト1, 2は、オブジェクト3の方を向いている (図5(a) 参照)^(注4)。図3において、オブジェクト1とオブジェクト3の間の距離は7.0であり、オブジェクト2とオブジェクト3の間の距離は20.5である。また、オブジェクト2は、オブジェクト3から見て、オブジェクト1の方向から右へ30°の角度の方向に位置している。実験中、オブジェクト1の位置と視線は固定されている。実験開始から30秒が経過すると、オブジェクト2がオブジェクト3に向かって毎秒0.45の速度で30秒間にわたり前進すると同時に、オブジェクト3が毎秒1°の速度で30秒間にわたって視線を右へ移動する (図5(b))。そして、オブジェクト3は、オブジェクト2

と向き合ったまま30秒間静止する (図5(c))。その後、オブジェクト3は、毎秒1°の速度で30秒間にわたり、視線を左へ移動させ、再びオブジェクト1と向き合うようになる (図5(d))。

実験開始からの経過時間に対する各オブジェクトの総体的な重要度を図6に示す。また、図6には、出力タイミングが基準とすべきものとして採用されているオブジェクトと、端末2, 3におけるマスタメディアも示されている。なお、端末1におけるマスタメディアは、実験中、常にオブジェクト3の音声となっている。

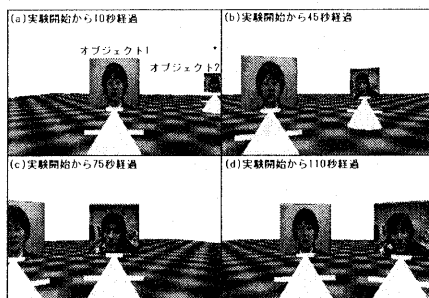


図5 端末3における仮想空間の表示例

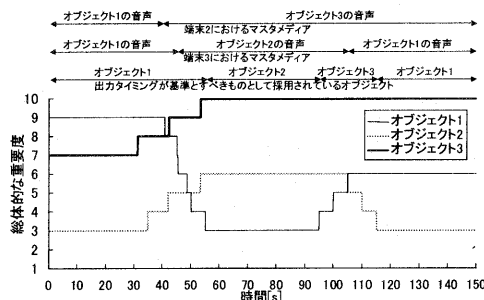


図6 総体的な重要度の変化

5. 実験結果と考察

本報告では、比較対象として、端末間同期制御あり (重要度の考慮あり)、端末間同期制御あり (重要度の考慮なし)、端末間同期制御なしの三つの場合を扱う。端末間同期制御あり (重要度の考慮なし) の場合には、基準とすべき出力タイミングとして、最も遅れたものが選択される。端末間同期制御なしの場合、各端末は個別にメディア内及びメディア間同期制御のみを行う。

図7に、実験開始からの経過時間に対する端末1と端末3のマスタメディアの端末間同期の平均二乗誤差を示す。端末間同期の平均二乗誤差は、二つの端末間におけるMUの出力時刻の差分の二乗の平均である^(注5)。図7には、1秒間

(注4): 図5では、オブジェクト3が表示されていない。これは、オブジェクト3が端末3の利用者のアパタであるため、端末3では表示されないとしているからである。

(注5): 端末間同期の平均二乗誤差の許容範囲は、これまでに明らかにされていない。今後、主観評価を行い、その許容範囲を明らかにする予定である。

隔で測定された端末間同期の平均二乗誤差が示されており、この誤差が 1ms^2 未満となる場合、図中には線が描かれていない(以降の図においても同様)。また、端末1と端末2のマスターメディアの端末間同期の平均二乗誤差を図8に示し、端末2と端末3のそれを図9に示す。さらに、実験開始からの経過時間に対する、端末3におけるオブジェクト1の音声の平均MU遅延と、端末2におけるオブジェクト3のそれを、それぞれ図10と図11に示す。平均MU遅延は、一つのMUの発生からそのMUの出力までの遅延の平均と定義される。

図7では、実験開始後45秒から105秒程度の期間において、全ての場合の端末間同期平均二乗誤差が大きくなっている。これは、この期間において、前述のように端末1のマスターメディアがオブジェクト3の音声であるのに対し、図6に示すように端末3のマスターメディアがオブジェクト2の音声となるため、データリンクシミュレータによる付加遅延と干渉トラヒックによる影響でオブジェクト2の音声MUの到着が遅れるからである。また、図7より、70秒から105秒程度の期間において、端末間同期制御を行う二つの場合の端末間同期平均二乗誤差が、端末間同期制御なしのそれと比べて小さくなっていることが分かる。これは、端末間同期制御の効果によるものである。

図8から、経過時間に依らず、端末間同期制御を行う二つの場合には、平均二乗誤差が 1ms^2 未満となっていることが分かる。しかし、端末間同期制御なしの場合の平均二乗誤差は 10^4ms^2 となっている。これについて調べたところ、端末間同期制御を行わない場合、端末1のマスターメディア(前述のように、オブジェクト3の音声)の局所的な重要度が5であったため、バッファリング時間は200msに設定されていた。一方、実験開始時における端末2のマスターメディア(オブジェクト1の音声)の局所的な重要度が3であり、バッファリング時間は100msに設定されていた。そして、図6に示すように、時刻約40秒においてマスターメディアがオブジェクト3の音声に切り替わっても、端末2で受信するメディアは、干渉トラヒックの影響を受けないので、バッファリング時間の変更は行われなかった。そのため、バッファリング時間の差が二乗され、平均二乗誤差が 10^4ms^2 となった。

図9においても、端末間同期制御を行わない場合の端末間同期の平均二乗誤差が、他の二つの場合のそれより大きくなっていることが確認できる。

図10より、端末間同期制御なしの場合の平均MU遅延は、ほとんど全ての期間(45秒付近を除く)において200ms程度となっていることが分かる。これは、端末間同期制御を行わない場合のマスターメディアの局所的な重要度が5になり、バッファリング時間が200msに設定されたからである(図2参照)。また、45秒付近において平均MU遅延が一時的に小さくなっている。これは、オブジェクト1の局所的な重要度が5から4に低下したことにより、バッファリング時間が減らされたためである(図2より、バッファリング時間は200msから100msに減少することが分かる)。一方、端末間同期制御あり(重要度の考慮なし)の場合、全ての期間において平均MU遅延が250~300ms程度になっていることが分かる。これは、ネットワーク遅延の大きいオブジェクト2の音声MUの出力に合わせてオブジェクト1の音声MUが出力されるためにバッファリング時間が増加されるからである。また、重要度を考慮した端末間同期制御を行う場合、実験開始後約55秒から115秒の期間において平均MU遅延が大きくなっていることが分かる。これは、この期間においてオブジェクト2の総体的な重要度が高くなり、オブジェクト2の音声MUの出力に合わせてオブジェクト1の音声MUが出力されるためである。しかし、図10では、実験開

始後100秒程度から約15秒間の期間では、端末間同期制御(重要度の考慮あり)の場合の平均MU遅延は、200ms程度まで徐々に減少し、その後もほぼ一定に維持されている。この理由は、次の通りである。図6から分かるように、時刻95秒程度で基準とすべき出力タイミングを持つオブジェクトがオブジェクト3に切り替わる。オブジェクト3の音声MUの端末1,2への到着には大きな遅れがなく、徐々にバッファリング時間が減じられるからである。

図11から、端末2におけるオブジェクト3の音声の平均MU遅延については、端末間同期制御を行わない場合の値が、経過時間に依らず、およそ100msになっていることが分かる。これは、端末間同期制御を行わないため、他の端末の影響を受けないからである(オブジェクト3の音声は、端末2で受信されるとき、データリンクシミュレータによる付加遅延の影響を受けるが、ルータ間の回線が全二重のため、干渉トラヒックの影響を受けないことに注意されたい)。また、端末間同期を行う二つの場合の音声の平均MU遅延は、図10の結果と同様の傾向を示している。

また、その他のメディアの各端末における平均MU遅延についても調べた。その結果、それらの平均MU遅延は、図10や図11と同様の傾向を示すが、三つの場合において大きな差がなかったかのいずれかであった。

さらに、各オブジェクトのメディアの平均MUレート、出力間隔の変動係数[10]、及びメディア間同期の平均二乗誤差[7]についても測定した。その結果、三つの場合において、ほとんど差がなかった。

以上より、オブジェクトの重要度を考慮した端末間同期制御を行う場合は、端末間同期制御を行わない場合に比べて、端末間同期の平均二乗誤差を小さく保つことができるといえる。また、この場合、重要度の低いオブジェクトのネットワーク遅延が大きくても、オブジェクトの重要度を考慮しない端末間同期制御を行う場合よりも、重要なオブジェクトのメディアの平均MU遅延を小さく維持することが可能である。

6. むすび

本報告では、分散仮想環境における端末間同期のために、同期マエストロ方式を拡張した。この拡張方式は、オブジェクトの重要度として、新たに総体的な重要度を考え、それに応じて基準とすべき出力タイミングを変更する。そして、実験により、重要度を考慮した端末間同期制御を行う場合、重要度を考慮しない端末間同期制御を行う場合、及び端末間同期制御を行わない場合の性能を比較した。その結果、重要度を考慮した端末間同期制御を行う場合には、他の場合と比べて、重要度の高いオブジェクトのメディアのリアルタイム性をできる限り維持しながら、端末間同期品質を高く保つことができることを明らかにした。

今後の予定として、同期マエストロ方式の代わりに、文献[8]の分散制御方式を適用した場合の実験を行うことが挙げられる。また、端末間同期の平均二乗誤差の許容範囲を調べるために、主観評価試験を行うことが必要である。さらに、VRMLを用いたオブジェクトと音声・ビデオとの同期方式も検討する予定である。

謝辞 本研究は、平成13年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)(課題番号13450156)によって行われた。

文 献

- [1] 正木茂樹, 田尻哲男, 一之瀬進, “サイバーコミュニケーションプラットフォーム: インタースペース,” NTT R&D, vol. 47, no. 4, pp. 453-458 (1998-04).
- [2] 有川正俊, 天野晃, 前田香織, 相原玲二, 下條真司, 開和生, 西村浩二, 寺内睦博, 中村泰明, 天野橋太郎, “高

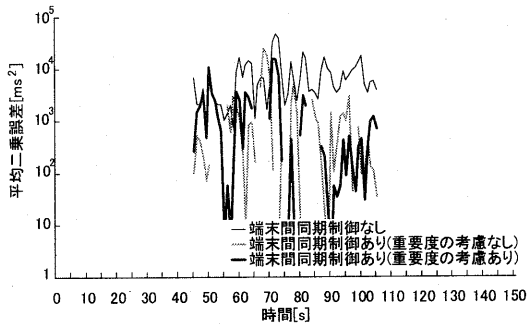


図7 端末1と端末3のマスターメディアの端末間同期の平均二乗誤差

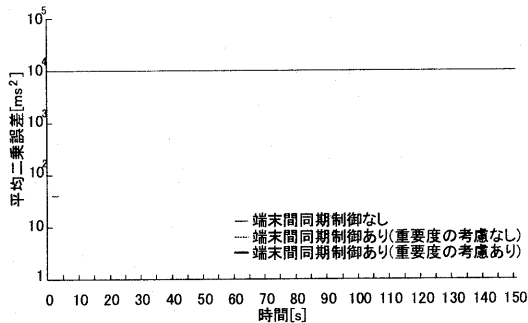


図8 端末1と端末2のマスターメディアの端末間同期の平均二乗誤差

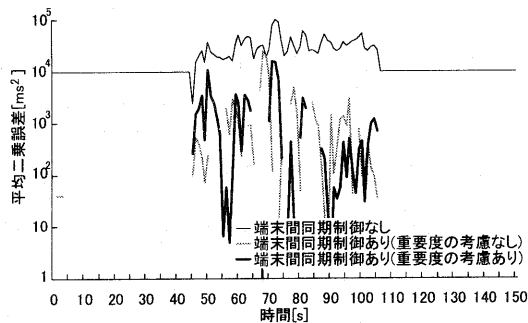


図9 端末2と端末3のマスターメディアの端末間同期の平均二乗誤差

速ネットワークを用いた3次元グラフィックス仮想空間の実験,” JAIN/OLU/ITRC 合同シンポジウム'97 論文集, pp. 97-104 (1997-02).

- [3] H. Nakanishi, C. Yoshida, T. Nishimura, and T. Ishida, “FreeWalk: A 3D virtual space for casual meetings,” *IEEE Multimedia*, vol. 6, no. 2, pp. 20-28, Apr./June 1999.
- [4] K. Fujikawa, T. Taira, S. Oh, D. Kado, S. Shimojo, and H. Miyahara, “A quality control mechanism for networked virtual reality system with video capability,” in *Proc. IEEE Multimedia Systems'98*, pp. 1535-1541, June/July 1998.
- [5] G. Blakowski and R. Steinmetz, “A media synchronization survey: Reference model, specification, and case studies,” *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 14, no. 1, pp. 5-35, Jan. 1996.
- [6] I. F. Akyildiz and W. Yen, “Multimedia group synchronization protocols for integrated services

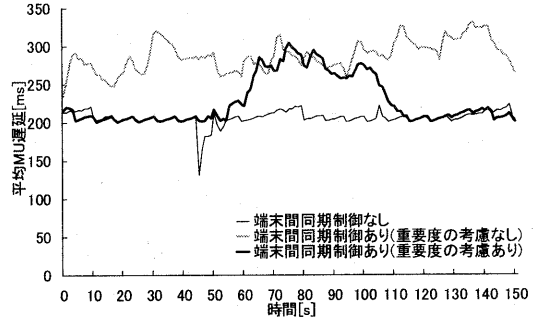


図10 端末3におけるオブジェクト1の音声の平均 MU 遅延

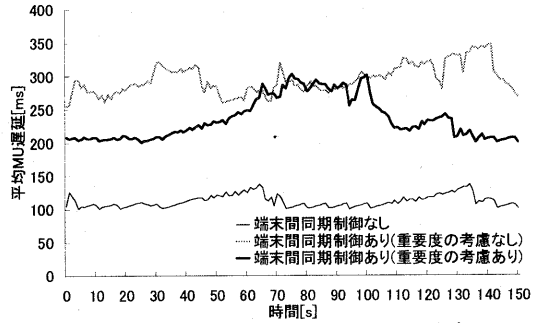


図11 端末2におけるオブジェクト3の音声の平均 MU 遅延

networks,” *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 14, no. 1, pp. 162-173, Jan. 1996.

- [7] Y. Ishibashi and S. Tasaka, “A group synchronization mechanism for live media in multicast communications,” in *Conf. Rec. IEEE GLOBE-COM'97*, pp. 746-752, Nov. 1997.
- [8] Y. Ishibashi and S. Tasaka, “A distributed control scheme for group synchronization in multicast communications,” in *Proc. ISCOM'99*, pp. 317-323, Nov. 1999.
- [9] 石橋豊, 田坂修二, 大山浩, “分散仮想環境におけるVTRメディア同期アルゴリズムの実装と評価,” 信学技報 CQ98-10 (1998-05).
- [10] 岩間智大, 石橋豊, 田坂修二, “分散仮想環境におけるビデオ・音声トラフィックの適応型QoS制御方式の性能評価,” 信学技報 IN99-61, CQ99-39 (1999-10).
- [11] Y. Ishibashi and S. Tasaka, “A synchronization mechanism for continuous media in multimedia communication,” in *Proc. IEEE INFOCOM'95*, pp. 1010-1019, Apr. 1995.
- [12] 都丸清, 石橋豊, 田坂修二, “分散仮想環境におけるライブビデオ・音声トラフィックの適応型QoS制御方式,” 信学技報 CQ2000-87, MVE2000-103 (2001-02).
- [13] 岩間智大, 石橋豊, 田坂修二, “分散仮想環境におけるマスタ・スレーブ切替制御を用いたメディア同期方式の性能評価実験,” 平12 信学総大 B-11-5.
- [14] S. Deering, “Host extensions for IP multicasting,” RFC1112, Aug. 1989.
- [15] W. Fenner, “Internet group management protocol, version2,” RFC 2236, Nov. 1997.
- [16] D. Estrin, D. Farinacci, V. Jacobson, C. Lin, L. Wei, P. Sharma, and A. Helmy, “Protocol independent multicast - dense mode (PIM-DM): Protocol specification,” Internet Draft, draft-ietf-idmr-PIM-DM-spec-02.txt, Jan. 1996.