

MPEG-7による遠隔コミュニケーションと 3次元コンテンツ作成・閲覧システム

岩元 一徳^{†1} 村田 健史^{†2} 木村 映善^{†3}
宮地 英生^{†4} 荻野 龍樹^{†5} 梅原 みゆき^{†6}

3次元データ解析において、複数の研究者が協調的に作業することは、新たな知識の創造を行うために有効である。本稿では、遠隔地にいる研究者が3次元可視化結果を閲覧して解析するプロセスを協調して行えるシステムを構築する。システムでは、3次元データを直接交換するのではなく、3次元オブジェクトの表示に必要なパラメータを共有することにより、可視化結果の同期を取る。提案するシステムを用いて、LANとWANにおいて実験を行い、パラメータ送信の頻度と表示結果の同期の精度について検討した。また、パラメータ制御という特徴を活かし、パラメータによる操作情報をMPEG-7形式のXMLファイルとして保存することで、動画と3次元可視化を統合したコンテンツとして作成するシステムについて提案する。

3-D volume communication system and its application to e-Learning by MPEG-7

Kazunori IWAMOTO,^{†1} Ken T. MURATA,^{†2} Eizen KIMURA,^{†3}
Hideo MIYACHI,^{†4} Tatsuki OGINO^{†5} and Miyuki UMEHARA^{†6}

In the 3-D data analysis, a cooperative analysis by multiple researchers is effective to acquire new knowledge. In the present study, we developed a 3-D volume communication system. We exchange not the 3-D data but the parameter to share the same preview of the 3-D object. By the experiment in a local area network and a wide area network, we consider the usefulness of our system. We proposed the system that makes 3-D contents by saving the parameter of operation as a MPEG-7 format.

1. はじめに

近年の計算機処理能力の向上により、多くの科学研究分野において3次元データ解析が行われている。例えば、計算機シミュレーションコードの多くは3次元化され、大規模シミュレーションではスーパーコンピュータを用いて、より現実に近い3次元モデルでの計算が行われている。その結果、3次元可視化により得られる情報が膨大となるため、ネットワークを介した複数の研究者間での協調作業、すなわちボリュームコミュニケーション[1]を行う必要がある。

3次元可視化を利用した協調的解析環境の例として、グリッドコンピューティング技術を利用することでデータ

の共有も含めた統合的なコラボレーション環境を構築するシステム[2]、専用機器を利用して可視化を行なうことによりコラボレーション環境を共有するシステム[3]などが開発されている。しかし、これらのシステムは広帯域のネットワークを必要としていたり、特別な専用機器を用いることなどを前提としている。また、送信側と受信側が固定されているために双方向性が確保されていない場合もある。したがって、個人端末からバーチャルリアリティまでといった様々な環境間での協調作業が困難である。そこで、3次元データをあらかじめ共有した状態で、描画に用いるOpenGLコマンドを送信することで通信データを抑える試み[4]も行なわれているが、2地点間での利用に制限されている。

本稿では、3次元可視化解析プロセスにおける可視化結果閲覧プロセスに着目し、解析を遠隔地間で協調的に行うシステムを提案する。通信データは可視化環境の遠隔操作に必要なパラメータのみに限定することで通信するデータサイズを最小限に抑え、低速ネットワーク環境での利用を可能にする。また、通信パラメータは可視化結果の閲覧操作を行なうための意味のあるデータであるため、このパラメータをジャーナルとして保存することによって動画像と3次元可視化結果を統合的にプレビューするコンテンツ作成システムを提案する。

†1 愛媛大学大学院理工学研究所
Graduate School of Science and Engineering, Ehime Univ.
†2 愛媛大学総合情報メディアセンター
Center for Information Technology, Ehime Univ.
†3 愛媛大学大学院医学系研究所
Medical School of Ehime Univ.
†4 (株) ケイ・ジー・ティ
KGT Inc.
†5 名古屋大学太陽地球環境研究所
Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya Univ.
†6 愛媛大学工学部情報工学科
Dep. of Computer Science, Faculty of Eng., Ehime Univ.

2. システム設計

2.1 システム概念

3次元オブジェクトの閲覧表示では、可視化処理後の3次元オブジェクトファイルを用意されたプレビューウのフレーム内で描画する。3次元オブジェクトに回転や拡大・縮小、平行移動といった幾何変換処理を加えることで、オブジェクトの状態を変化させてプレビューする。時間変化があるデータから作成した時系列3次元オブジェクトの場合は、異なる時間ステップのオブジェクトを表示する時間更新処理を行うことにより、時間ステップごとのオブジェクトの変化を比較する。これらの処理はプレビューウにおいては、幾何変換であれば幾何変換マトリックス、時間更新であれば時間パラメータによって状態を管理している。

そこで、本システムではこれらのマトリックスおよびパラメータを共有することにより、異なる端末間においてオブジェクトの表示状態を同期させる。すなわち、元となる3次元オブジェクトファイルはそれぞれの端末があらかじめ保持しておく。そしてプレビューウでの幾何変換や時間更新が行われた際、イベントに応じたパラメータを目的の端末に送信する。パラメータを受信した端末はパラメータを用いて送信側と同じイベントを発生させることで、送信側と同じ表示状態を再現する。

2.2 多点通信

1.で述べたように3次元可視化結果の解析は、多人数で協調的に行なうことが有効である。そこで本システムは、多地点での遠隔コミュニケーションを行なう。本稿では、通信に用いるプロトコルについて検討する。TCPを考えた場合、人数分だけメッシュ状にセッションを張る必要があるため、多人数での通信では効率が悪く不向きである。そこでシステムではUDPマルチキャストを用いる。UDPユニキャストでそれぞれに送信するという手法も考えられるが、帯域を余分に必要とする上にセッションの管理という面からもUDPマルチキャストが優れている。UDPマルチキャストではマルチキャストアドレスによってどの端末に送信するかを判別することができる。そこで、マルチキャストアドレスによるグループによってセッション管理を行う。

しかし、現在のネットワーク環境においては多くの機関においてファイアウォールが存在しており、またマルチキャスト packets を転送するためには経路上のネットワーク機器を設定するという問題が存在する。そこでVPN (Virtual Private Network) を用いて異なるネットワーク上の端末間で仮想的なLANを構築する。VPNを用いている端末間はLAN環境となるためにマルチキャスト通信が可能である。

本研究ではこのVPNにPacketiX[5]を用いる。PacketiXでは、ホスト単位でのVPNを実現するために、仮想NICと仮想HUBが提供される。すなわち、仮想

NICはWindowsデバイスドライバによって実現された仮想デバイスであるが、通常のNICと同様にネットワークの設定が可能である。ただし、この仮想NICを通るパケットは、カプセル化されて仮想HUB経由で目的の仮想NICへ送られる。そのため、仮想HUBに対して仮想NICを持つ複数のホストが接続すれば、その仮想HUB以下に仮想的なLANセグメントが構成されることになる。マルチキャスト通信を行なうための、PacketiXによるVPNを用いた本システムのネットワーク構成を図1に示す。仮想LANの構築は次のような手順で行なう。(1)各ホストの仮想NICを仮想HUBに接続する。(2)仮想HUBに接続したホスト同士で仮想LANが構成される。(3)仮想LANセグメントに属するホスト間でマルチキャスト通信が可能になる。

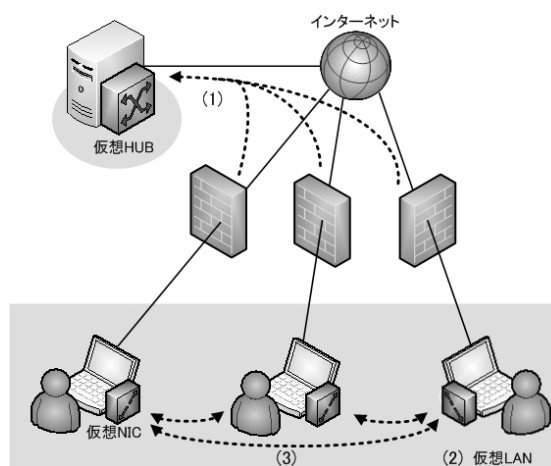


図1 VPNを用いた本システムのネットワーク構成

2.3 データ構造

システムでは表1に示すように3次元オブジェクトの操作情報に加えて、メッセージや通信設定に関する情報など、イベントに応じた様々なデータをやり取りする。

これらのデータはそれぞれ独自の形式で通信しても良いのだが、扱いを容易にして拡張性を持たせるために、本システムでは図2に示すデータ構造に従うことにする。図2において①がイベントコードを表しており、イベントごとに付けられたIDによって後に続くデータの意味を決定する。②は送信者の名前、もしくはIDなどの個人

表1 システムで扱うイベントと対応するパラメータ

イベント名	パラメータ
幾何変換	幾何変換マトリックス
時間更新	時間パラメータ
メッセージ	メッセージ文
ポインタ	ポインタの座標
制御権	制御者のID
その他	セッション管理情報や設定情報など

①	②	③
---	---	---

11	iwamoto	{1605.25,0,0}{-4.29113e-007,-1.05783e-008, ...
----	---------	--

(a) 幾何変換マトリックスの例

12	iwamoto	23
----	---------	----

(b) 時間パラメータの例

13	iwamoto	“3次元オブジェクトを回転させました。”
----	---------	----------------------

(c) メッセージ文の例

図 2 パラメータ通信に用いるデータ構造

を識別する情報である。多地点での遠隔通信においては、相手が直接見えないうえに、複数人が参加するため、誰がそのイベントを行なっているかを表示するために利用する。③はイベントごとの実データである。実データは 3.3 節で述べる 3 次元コンテンツへの利用をするために、全てテキスト形式で表される。

2.4 パラメータ通信

2.4.1 パラメータ

3 次元オブジェクトの操作を制御するパラメータは、幾何変換イベントに対応する幾何変換マトリックスと、時間更新イベントに対応する時間ステップである。これらは発生頻度やイベント処理についてそれぞれ性質が異なる。そこで、それぞれのパラメータについて最適な通信方法を検討した。幾何変換イベントは、回転や拡大・縮小、平行移動が行なわれた際に発生し、その都度幾何変換マトリックスのパラメータが変化する。例えば、連続して回転操作を行なう間は常に幾何変換マトリックスが変化していることになる。しかし、変化した幾何変換マトリックスを、全て送信して相手側に反映させようとする以下に挙げるような問題が生じる。

まず 1 つ目に挙げられる問題点が通信データ量の増大である。1 度に送られる幾何変換マトリックスのデータサイズは平均して 100byte 程度であるが、発生頻度や利用環境によって障害になることが考えられる。

2 つ目の問題が、受信側での端末にかかる負荷の増大である。受信側の端末では、パラメータを受信する度にイベントを発生させる。したがって送信側のイベント発生頻度が増加すると、受信側で発生させるイベントの数も増加するため、受信側端末の処理能力や描画性能が劣っていた場合に遅延が生じる。一般に遠隔コミュニケーションを行なう際において、オブジェクト操作の描画が滑らかであることよりもリアルタイム性が損なわれる方が致命的であると考えられる。そこで、例えば幾何変換イベントについては一定時間ごとにサンプリングを行ない、幾何変換マトリックスが変化していた場合のみパラメータの送信を行う。この際のサンプリング間隔については 3.4 節において議論する。

3 つ目の問題点として、幾何変換マトリックスをオブジェクトに反映させる際に、ローカルの端末から直接入力されたイベントか、パラメータを受信して起こったイベントであるかを確実に判断することが難しいという問題がある。この判断を誤ると、受信したパラメータによって幾何変換を行なったにも関わらず、自分が起こしたイベントだと誤った判断をして送信側に再度パラメータを送ってしまうというループバックが起こる可能性がある。この問題の対処法としては、プレビュー処理において、ローカルの端末における操作はプレビューに反映させず、パラメータを受信した場合のみイベントを発生させるという方法が考えられる。しかし、システムではプレビューとパラメータ通信のレイヤーを分離することで、拡張性を持たせているためにこの方法ではその利点が失われてしまう。そこで、本研究では 2.4.2 に示す制御権を用いる。

時間更新イベントは、時系列の可視化ファイルの場合に異なる時間ステップの状態を表示させる処理であり、時間パラメータが変化する。時間更新イベントは、時間ステップが指定された場合にのみ起こるため、発生頻度は幾何変換イベントに比べて少ない。また、時間パラメータは時間ステップ数を指定するだけのものであるために、データサイズは幾何変換マトリックスよりも小さい。よって時間更新イベントについては全てのパラメータを送信する。

2.4.2 制御権

多地点通信を行なう際には、誰がオブジェクトの操作を行なうかを明確にしておく必要がある。そこで、オブジェクト操作を行なえるかどうかを制御権によって管理する。すなわち、制御権を持っている端末が行なったオブジェクトに対する操作のみが他の端末に反映され、制御権を持っていない端末で幾何変換や時間更新のイベントが発生しても他の端末には送信されない。本システムではマルチキャストの性質を利用してその制御を行なう。

マルチキャスト通信では、マルチキャストパケットを受信したいホストは、図 3(a)に示すように、該当するマルチキャストグループにあらかじめ Join することで、そのグループ宛のパケットを受信できる。また、そのグループ宛のパケットを受信しない場合は、図 3(b)に示すように Leave を行なう。制御権の受け渡し処理にはこのマルチキャストの Join と Leave を利用する。したがってシステムでは(1)制御権を用いた通信用のマルチキャストアドレスと、(2)その他の通信で利用するマルチキャストアドレスという 2 種類のマルチキャストアドレスを使用する。(1)のマルチキャストアドレスは Join と Leave によって受信するかどうかを動的に変更するが、(2)のマルチキャストアドレスは Join を行い、常に受信可能な状態にしておく。

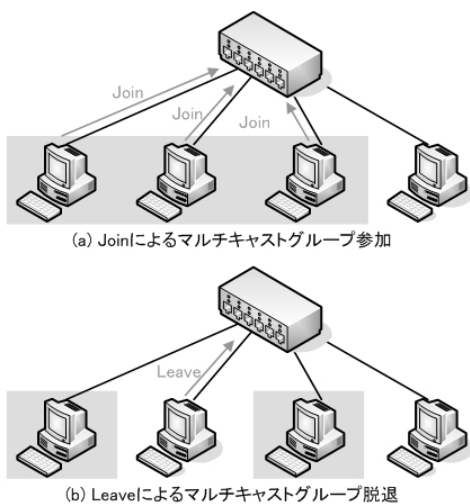


図3 マルチキャストグループの参加と脱退

制御権を用いたイベント送信の手順を図4に示す。図4において、端末Aが制御権を取得する手順が(a)、端末Aから端末Bに制御権が移る際の手順が(b)である。図4(a)において、まず端末Aが制御権を取得するというメッセージをグループ全体の端末に通知する。端末Aが制御権を取得するとまず制御権用のマルチキャストアドレスからLeaveする。これは自分が送信したパラメータを受信しないようにするためである。幾何変換マトリックスのサンプリングを行なうタイマーを開始し、幾何変換イベントもしくは時間更新イベントが発生した場合にそれぞれのパラメータを送信する。受信側はパラメータを用いて送信側と同じイベントを発生させる。

端末Bが制御権を新たに取得する場合は、図4(b)のように制御権を取得するためのメッセージをグループ全体の端末に通知する。制御権を取得した端末Bは前述した端末Aと同様の手順を行なう。それに対して、制御権を渡した側である端末Aはまず制御権用のマルチキャストアドレスにJoinすることで受信を開始する。また幾何変換イベントのサンプリングを行なうタイマーは停止する。その後は(a)の場合と同様にイベントに応じてパラメータを送信する。

このように、マルチキャストのJoinとLeaveを利用した制御権管理を行うことで、制御の受け渡しが容易に実現できる。また制御中の端末はパラメータを受信しなく

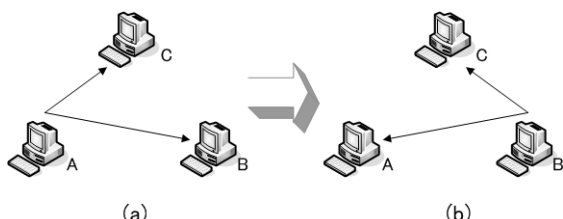


図4 制御権を利用したイベント送信の手順：
(a)端末Aが制御権を取得する場合、
(b)端末Aから端末Bに制御権が移った場合

なるので、2.4.1で述べたループバックの問題も解消される。

3. 実装

3.1 アプリケーション作成

本研究では、3次元オブジェクトのプレビューワとして、KGT社3D AVS Player[6]を用いる。3D AVS Playerは3次元オブジェクトをGFA (Geometry Flip Animation)形式で扱うことにより、回転や拡大といった幾何変換やアニメーション再生による時間変化が行なえる。

3次元可視化による遠隔コミュニケーションの開発環境として、Microsoft .NET 対応アプリケーションの動作環境である.NET Frameworkを使用した。開発言語はMicrosoft .NET 環境向けソフトウェアを開発するためのプログラミング言語であるC#を用い、3D AVS PlayerのActiveXコンポーネントを利用することで実装した。

3次元可視化ファイルの共有については、Webサーバからダウンロードするという方法を用いる。まず、あらかじめ利用者が3次元可視化ファイルをWebサーバにアップロードしておく。そして、アプリケーション上では3次元可視化ファイルのURLのみを通知することにより、それぞれのマシンがHTTP通信によってファイルを取得する。

3.2 実験

LANとWANにおいて本システムを用いて実験を行なった。実験では、送信側から送られたパケット数と受信側で受け取ったパケット数の比較を行なう。送信データと受信データを明確に区別するために、2台の端末の役割を送信側端末と受信側端末とにあらかじめ分けてデータを採取した。送信側端末では幾何変換、時間更新、メッセージ送信の順に操作を行った。実験に用いた端末のスペックは表2の通りである。

表2 実験に用いた端末のスペック

	送信側端末	受信側端末
OS	WindowsXP	WindowsXP
CPU	Pentium4 3.2GHz	Pentium4 3GHz
メモリ	1GB	768MB
NIC	100Mbps Ethernet	100Mbps Ethernet

LANにおける実験結果を図5に示す。図は10秒間ごとの送信パケット数、受信パケット数の合計個数を表している。LAN環境における実験では、RTT (Round Trip Time)は1msec以下でパケットロスも無かったため、送信側と受信側のパケット数が同数の結果となった。幾何変換イベント実行中は250msec毎にサンプリングを行っているため、10秒間の合計数は10個から30個程度となった。また時間更新やメッセージを行っている間は10個未満となった。この実験においては、利用者間で特に遅れを感じることなく利用することができた。

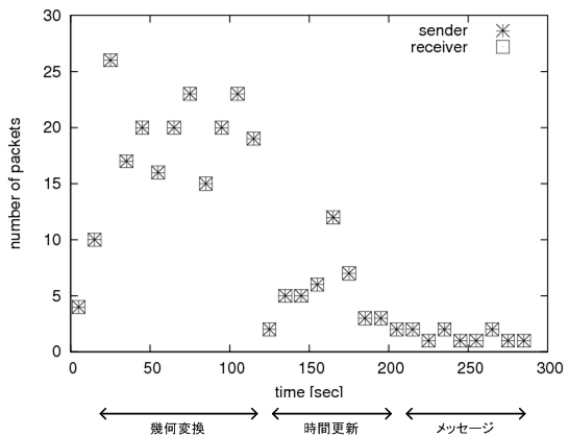


図5 LAN環境における送受信パケット数

WANにおける実験結果を図6に示す。WAN環境における実験では、VPNソフトウェアPacketIXを用い、VPNサーバを介して通信を行なう。実験中のRTTの平均値は69msecであり、パケットロス率は1パーセント未満だった。図6に示すようにパケットロスによる影響はほとんど見られなかった。時間更新処理の後半でネットワークの遅延が大きくなったために、送信側と受信側のパケット数が異なっているが、全体のパケット数は同一であった。実際操作しているときは、ネットワークの遅延による動作の遅れは感じられたが、実用上は問題なく利用できる程度であった。

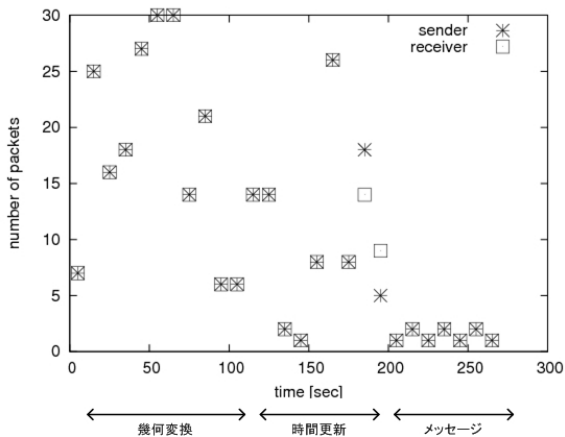


図6 WAN環境における送受信パケット数

3.3 考察

今回の実験ではパケットロスがほとんど発生しない状況ではあったが、遅延が大きくなった場合でもシステムに特に影響は見られなかった。通信データ量については、10秒間ごとのパケット数は最大で40個程度であった。1個あたりのパケットサイズは幾何変換マトリックスの場合で100byte程度であるため、スループットは1Kbpsあれば充分であり、近年のネットワーク環境であれば、特に問題無く利用することが可能であるといえる。

本システムでは多地点において、よりリアルタイムな

データ通信を行なうために、UDPを用いている。UDPの特徴としてパケットロスが発生するネットワーク環境において、データの信頼性が保証されていないという欠点がある。今回の実験ではパケットロスが起こらなかったが、実際にパケットロスの発生するネットワーク環境でシステムを用いた時には、パラメータが到達しない場合があった。しかし、本システムで用いているパラメータはそれぞれが独立した絶対値データである。よって、途中のパラメータがパケットロスによって消失したとしても、次のパラメータが到達すれば最終的に表示される状態に影響は出ない。したがってデータの信頼性があるTCPよりも、高速な通信が行えるUDPが適していると考えられる。

また、通信データである幾何変換マトリックスや時間パラメータは、3次元オブジェクトのプレビュー状態を再現できる意味のあるデータである。したがって、これらの情報を保存しておくことにより、後から同様のイベントを再現することが可能である。そこで、イベントのジャーナル情報をMPEG-7[7]ファイルとして保存することを考えている。MPEG-7とはISO/IEC JTC1において策定されたマルチメディア・コンテンツに対するメタデータの標準規格である。MPEG-7ではマルチメディアに対する画像や音声の特徴記述に加えて、コンテンツの構造に関する情報をXMLで記述する。そこで、3次元オブジェクトの操作情報をMPEG-7の構造情報として記述する。図7に幾何変換イベントについて記述した例を示す。図7はコンテンツ開始から10秒後にiwamotoというユーザがObjectMoveを行っていることを表している。他のイベントについても同様に記述される。また、使

```

<Mpeg7>
  <Description xsi:type="ContentEntityType">
    <MultimediaContent xsi:type="AudioVisualType">
      <AudioVisual>
        ...
        <TemporalDecomposition criteria="structure">
          <AudioVisualSegment>
            ...
            <MediaSourceDecomposition>
              <StillRegion>
                <TextAnnotation>
                  <StructuredAnnotation>
                    <Who>
                      <Name>iwamoto</Name>
                    </Who>
                    <WhatAction>
                      <Name>ObjectMove</Name>
                    </WhatAction>
                    <How>
                      <Name>{1605.25,0,0}</Name>
                    </How>
                  </StructuredAnnotation>
                </TextAnnotation>
              <MediaRelTimePoint>P0D0T0H0M10S0N30F</MediaRelTimePoint>
            </StillRegion>
          ...
        </MediaSourceDecomposition>
      </AudioVisualSegment>
    </TemporalDecomposition>
  </AudioVisual>
</MultimediaContent>
</Description>
</Mpeg7>

```

図7 MPEG-7によるジャーナル情報記述例

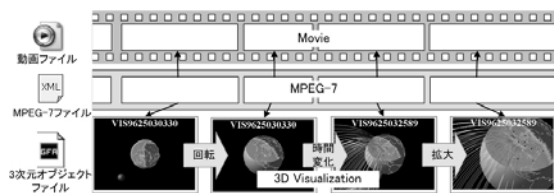


図8 MPEG-7を用いた動画/3次元可視化統合コンテンツ

用する動画ファイルや3次元オブジェクトファイルの情報もMPEG-7に記述される。これにより、動画像と3次元可視化をメタデータによって結合させた3次元コンテンツを作成する(図8)。作成された3次元コンテンツを閲覧する際はMPEG-7を参照することで、動画像ファイルとGFAファイルを読み込み、3次元オブジェクトの操作情報と、それに対する動画像を連携させて再生することが可能となる。

4. まとめ

本稿では、3次元可視化を用いた解析環境を遠隔地間で共有するシステムとして、パラメータ通信による遠隔操作システムについて提案した。3次元オブジェクトを制御するパラメータとしては幾何変換マトリックスと時間ステップが挙げられる。幾何変換マトリックスについては一定時間ごとにオブジェクトの状態をサンプリングし、時間ステップについては随時送信するようにすることで、ネットワークや端末への負荷を軽減できるようにシステムを設計した。ネットワーク環境の異なる状況での実験を行ったが、遅延やパケットロスの起こる環境であっても、システムが実用できることが確認できた。

今後は実際の3次元データ解析の際に本システムを利用していく。また、多地点で本システムを利用した場合についても検証を行う。同時に接続する端末が増加した場合は、端末のスペックやネットワーク環境がそれぞれ異なるために、3次元オブジェクトの同期が取れなくなる状況が予想される。そこで、このような場合でも、3次元オブジェクトの表示状態を同期できるようなシステムの設計を考えていく。

また、遠隔コミュニケーションで用いたパラメータをMPEG-7として保存して3次元コンテンツを作成するシステムを構築していく。これにより、会議を記録して後から閲覧しなおすことに加えて、e-learningコンテンツとして作成することで、より多くの利用者に3次元データを用いた解析の様子を閲覧してもらうことが可能になると考えられる。また、MPEG-7は本来、マルチメディア・コンテンツのメタデータを記述することで目的のコンテンツを検査するための規格である。したがって、3次元コンテンツを蓄積させておくことで、目的の3次元コンテンツをMPEG-7から検索して閲覧するシステムが構築できると考えている。

謝辞 3次元データ取得と解析に貴重なご意見とご協

力いただいた愛媛大学大学院理工学研究科の松岡大祐さんと山本和憲さんに感謝致します。3D AVS Playerに関する技術的なご協力を頂いたKGT社の松本陽司さんに感謝致します。実験にPacketiXを利用させて頂いたソフトイーサ社に感謝致します。事務面において研究を支援して頂いた矢野佳子さん、小池智子さんに感謝致します。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(萌芽)17654093の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 小山田耕二, 酒井晃二, “ボリュームコミュニケーション技術を使った協調可視化環境の構築”, 可視化情報学会誌, Vol. 24, No. 95, pp. 228-233, 2004(10月).
- 2) D.P. Schissel, A. Finkelstein, I.T. Foster, T.W. Fredian, M.J. Greenwald, C.D. Hansen, C.R. Johnson, K. Keahey, S.A. Klasky, K. Li, D.C. McCune, Q. Peng, R. Stevens, M.R. Thompson, “Data management, code deployment, and scientific visualization to enhance scientific discovery in fusion research through advanced computing,” Fusion Engineering and Design, vol.60, pp. 481-486, June 2002.
- 3) 坂本尚久, 安原幸生, 久木元伸如, 江原康生, 小山田耕二, “全方位型表示システム向け人物動作伝送システム,” 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J88-DII, No. 8, 2005.
- 4) 宮地英生, 谷前太基, 松尾武洋, 大島伸行, “3次元データ遠隔地共有システムの開発”, 可視化情報シンポジウム, Vol. 25, No. 1, pp. 241-242, 2005.
- 5) ソフトイーサ(株), PacketiX VPN 2.0, <http://www.softether.com/jp/vpn2/>
- 6) (株) ケイ・ジー・ティー, 3D AVS Player, <http://www.kgt.co.jp/feature/3davs/>
- 7) MPEG-7 Japan, <http://www.itscj.ipsj.or.jp/mpeg7/>