

3次元映像での共同研究環境：VizGrid

松倉 隆一^{*1}, 小山田 耕二^{*2}, 丹 康雄^{*3}

^{*1}富士通/富士通研究所, ^{*2}京都大学, ^{*3}北陸先端科学技術大学院大学
ryuichi@labs.fujitsu.com, koyamada@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp, ytan@jaist.ac.jp

近年, 研究分野のボーダレス化に伴い, 異分野連携による共同研究が増えている. 文部科学省の産学官連携プロジェクト VizGrid では, 3次元映像を遠隔地間で共有するソフトウェア基盤「ボリュームコミュニケーション」を実現し, この基盤上に高臨場感のコラボレーション環境を実現することを目指している. 3次元映像は, 人間にとって直感的に理解できる表現であり, 伝えたいことを誤解なく伝えられるメディアとして期待される. 本稿では, 3次元映像データの生成・通信・表示・検索機能を実現するボリュームコミュニケーションについて説明し, 開発したプロトタイプと今後の課題について述べる.

Virtualized Collaboration Environment with 3D images: VizGrid

Ryuichi Matsukura^{*1}, Koji Koyamada^{*2}, Yasuo Tan^{*3}

^{*1}Fujitsu Ltd./Fujitsu Laboratories Ltd., ^{*2}Kyoto University,
^{*3}Japan Advanced Institute of Science and Technology

Collaboration environments for joint research between researchers working in different fields have become more important, because the borders between fields have become increasingly fuzzy. VizGrid is a national joint-project between universities and a industry that was partly supported by the MEXT*. In this project, we are developing a high-quality, collaboration environment with 3D images for remotely located researchers. 3D images are familiar, can be understood intuitively and express ideas in a more natural way than words or 2D images. The VizGrid project is developing a communication technology, called "Volume Communication," for generating, transferring, displaying, and retrieving 3D images. This paper describes an overview of this project and our prototype.

*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

1. はじめに

近年, 研究分野のボーダレス化が進むにつれて, 異分野連携による共同研究が増えてきている. 最先端の研究では特別な研究施設や装置が必要となることが多く, こうした施設を共同利用するためにも遠隔の共同研究環境は重要になってきている. 異分野間の作業では, 普段使い慣れた言葉でも相手によっては受け取り方が微妙に異なり, 伝えたいことがストレートに伝わらないということが起こりうる. このような状況では, 対象を視覚的に把握しやすい方法で表現し, コミュニケーションを補助する手段が必要になる.

文部科学省の産学官連携プロジェクトである VizGrid¹⁾²⁾では, 医療や核融合などの共同研究環境において3次元映像を共有する遠隔コラボレーション環境の実現を目指している. ひとつの適用例としては, 医療画像データから3次元映像を生成し, 血管を抽出, 血流のシミュレーションを通じて病気の発生するメカニズムの解明や治療方法の検討などを, 医師, シミュレーション研究者との間で議論することが考えられる.

本稿では, 3次元映像による遠隔共同作業の効果と実現のためのソフトウェア基盤について説明する. また, 開発したプロトタイプとその評価

を行い、今後の課題を述べて、本論をまとめる。

2. 3次元映像通信

3次元世界にあるものを、2次元平面上にいか
に理解しやすく表現するかが検討されてきた。た
とえば、建築図面は建築関係者が理解しやすいよ
うに考えられている。しかし、この図面はその専
門家が知りたいことを把握しやすくした表現で
あり、専門外の人にはポイントがつかみにくいこ
とがある。そこで、VizGridでは、ありのままを
3次元映像として表現することにした。最終的な
ゴールは、計算機上の仮想的な世界に、対象とな
る3次元映像を専門家が囲みながら議論する共
同作業環境を実現することである。

3次元映像の特徴は、受け手視点での参照が可
能なことである。2次元の映像は、送信者の視点
での情報であり、受信者は変更することができな
い。最近では立体視ディスプレイが身近になりつ
つあり、3次元映像への期待がさらに高まっている。
コンピュータグラフィクス(CG)では3次
元映像は古くから扱われているが、一般にデータ
が大きく、膨大な計算資源が必要である。しかし、
最近のグリッドコンピューティング技術により
この問題は解消しつつあり、データ転送に必要な
広帯域ネットワークの整備とあいまって、3次元
映像によるコラボレーション環境は実現可能に
なりつつある。

もうひとつの特徴は、作業環境を3次元映像で
表現することで、お互いの位置関係を保存でき、
視線の一致、対象のどこを見ているかなどを正確
に把握できること。我々は意識しなくても視線に
よるコミュニケーションを行っている。たとえば、
自分の熱意感じてもらいたいときには相手の目
をじっと見つめるし、自信がないときには伏し目
がちに見る。また、発言が終わりそうになると、
次の発言者を視線で伝えることが知られている。
会話の流れをスムーズにするために機能である。
互いの視線一致を実現するには、ハーフミラーや

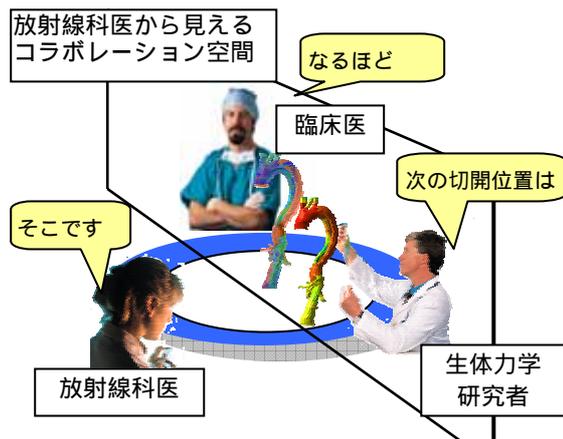


図1. 3次元映像による共同研究環境

特殊なスクリーンを利用したり³⁾、人の3次元映
像を生成し正面映像をCGで生成する⁴⁾方法が検
討されている。最近ではCG技術の高速化によっ
てこれらの課題を解決しようとする米国でのテ
レイマージョンプロジェクト⁵⁾がある。

3. ポリウムコミュニケーション

3次元映像データには複数の表現方法があるが、
VizGridでは汎用性の高いポリウムデータで
表現している。ポリウムデータはボクセルと呼
ばれる立方体格子を基本単位として、ボクセルに
色や明るさ、速度ベクトルなどの情報を付与する。
従来、遠隔地に可視化映像を送る場合には、送信
側で等値面生成やデータ変換により、画像やポリ
ゴンを送る対象とすることが多かった。しかし、
これらのデータ形式は、可視化するパラメータや
視点位置を変えることによってデータが変化す
る。つまり、同じデータを同時に複数の地点で表
示するにも、視点位置を変更できるのはそのうち
の1地点だけであり、残りの場所では同じ映像し
か見ることができない。共同作業では、各参加者
が同時に別の視点からも対象を確認できること
が望まれるため、我々はポリウムデータをネッ
トワーク転送の対象とすることにした。

ポリウムコミュニケーションは、3次元デー
タで表現されるポリウムデータを用いたコミ
ュニケーション環境を構築すること、および研究

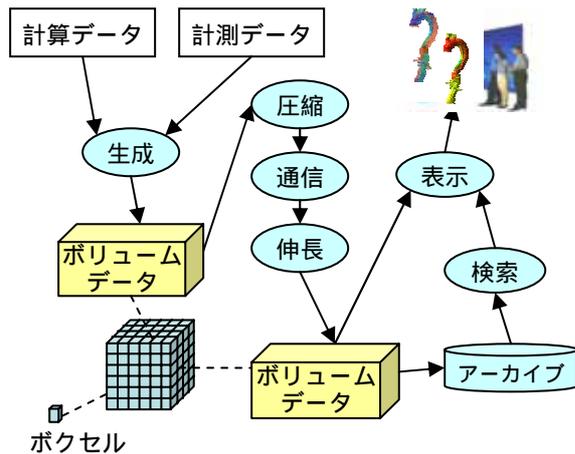


図2. ポリウムコミュニケーション

環境をポリウムとして捉えて、それらを全てカバーする環境構築を総称した概念である。ポリウムコミュニケーションの核となる技術はポリウムデータの生成、圧縮、通信、伸長、蓄積、検索、表示技術である(図2)。

4. 3次元映像通信のためのソフトウェア基盤

4.1. 生成

ポリウムコミュニケーションでは、全てのデータをポリウムデータであらわす。生成モジュールは、ポリウムデータに変換するモジュール。ポリウムデータを生成するには2つの方法がある。ひとつは計算機で計算された3次元データをポリウムに変換することである。これはCADで作成されるデータやシミュレーション結果が該当する。もうひとつは実世界にある対象を計測してデータ化したものである。たとえば、CT/MRIは人間の断層写真を数ミリ間隔で撮影するものであり、このデータから3次元映像を生成する。また、複数のカメラで同時に撮影した映像から3次元形状を復元、ポリウムデータを生成することもできる。3次元形状復元アルゴリズムについては、PCクラスタを利用した並列化が行われており、VizGridでは京都大学松山教授が開発された高速アルゴリズムを利用している⁶⁾。生成されたボクセルに対して、各カメラで撮影された対応部分の色情報を抽出・平均化処理を行い、

ボクセルの色を決定する⁷⁾。

4.2. 通信

3次元動画データを通信するには、付帯する情報を通信する必要がある。2次元通信においても、複数のメディアを同期させる、重ねて表示するなどの技術が必要になるが、3次元の場合には、それぞれのオブジェクトの位置、向きなどの正確な記述が必要である。VizGridでは、通信するストリーミングデータを同じプロトコルで通信し、これらを組み合わせ、これらの関係を記述することで複雑な通信環境を実現する。ストリーミングデータとしては、ポリウムデータだけでなく、ポインタや汎用シリアルデータなども含める予定である。

現在のところ3次元データをストリーミング通信するための標準的なプロトコルはない。VizGridではポリウムデータをリアルタイムに通信する方式を検討した。ポリウムデータを通信する難しさは、2次元画像に比較してデータサイズが大きいことにある。たとえば、サイズ 512^3 のポリウムデータを毎秒15フレームで通信すると、60Gbpsもの帯域が必要になる。この通信のためには圧縮処理などで高度な並列処理が必要となるが、実験によると圧縮ではPentium4/3GHzのPCで数分から数時間のオーダで処理がかかるため、当面はハードウェアによる実装が必要である。そこで、VizGridでは、データの特徴にあわせた圧縮方法によりリアルタイム性を優先し、並列で通信する方式で対応することとした。

分割したポリウムデータを通信する場合や、多地点からデータを受信する場合、ネットワーク上での遅延のばらつきによって同期ずれが発生する。通常、ビデオ会議などでは、端末内部で音声と映像を同期させる機能を持つが、VizGridではアプリケーションがPCクラスタを利用した分散処理によって実現されるため、受信側で同期させるとアーキテクチャが複雑になる。このため、

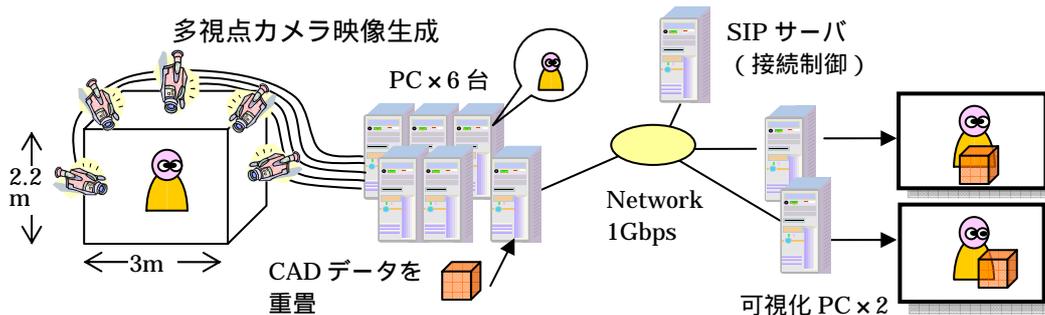


図3. プロトタイプシステム構成

ネットワーク上のノードで、複数のストリーミングデータが通過するときに、それぞれの packets を同期させるシステムを開発した⁸⁾。

4.3. 表示

表示に関しては、ボリュームレンダリング手法を基本として、動画像として再生するためのリアルタイム性と高度な協調環境を構築するための臨場感の実現に焦点をあてた可視化技術を開発している。

リアルタイム性実現のために、PC 向けグラフィックスハードに装着されているソリッドテクスチャ機構を利用した。この場合、ボリュームデータのサイズがソリッドテクスチャ機構のメモリサイズを超えると、ボリュームレンダリング処理を効率よく行うことが困難となる。VizGridでは、この問題を解決するために利用可能なシステム資源を考慮して、ソリッドテクスチャ機構のメモリに入りきらないデータ全体を小片に分割し、その小片ごとにボリュームレンダリング処理を行う手法の開発を行った。本手法では、小片ごとのボリュームレンダリング処理によって得られた部分可視化画像を適切な順序で重畳し、最終画像を生成することができる。

臨場感実現のために、ボリュームレンダリングにおけるサンプリング手法の改良を行った。ソリッドテクスチャ機構を利用したボリュームレンダリングは、並行する複数のスライス面でボリュームデータをサンプリングし、スライス毎に画像化を行い、これらを重ね合わせる。しかしながら、従来手法で利用されている平面サンプリング法

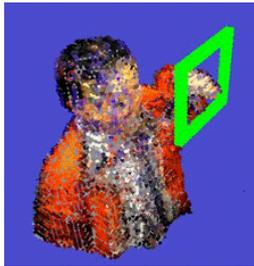
では、物体内部までを詳細に表現しようとする、視界の端で画質低下が著しいことが問題であった。今回は、球面サンプリング法を適用することによりこの問題を解決している。

5. 評価

5.1. プロトタイプ

システム構成を図3に示す。プロトタイプでは、5台のビデオカメラで撮影される人物像から毎秒2フレームの割合でボリュームデータを生成し、ギガビットイーサを使って人物像の3次元映像を通信する。ここでは片方向のみを実現しているが、逆向きに同じシステムを用意することで双方向通信が可能となる。また、同じ3次元映像から異なる視点の映像を表示可能なように、受信側は2台のPCで受信するようになっている。扱う映像サイズは 96^3 であり、1ボクセルは4バイト（RGBおよび透明度）で表現される。カメラは、横3m、高さ2.2m、奥行き2mのフレームに、前方2台、左右2台、真上1台の合計5台を固定する。このフレームの中心付近、縦横高さがそれぞれ1mの範囲にある物体の3次元形状を復元し、ボリュームデータ化する。1ボクセルの一边は1cmに設定している。

多視点カメラ映像からのボリューム生成は、6台構成のPCクラスタ（CPU: Intel Xeon 3.06GHz）で実現した。カメラはIEEE1394でPCに接続し、最大 640×480 の画像を入力できる。各PCはギガビットイーサで相互に接続され、6台のうち1台は制御用として動作し、カメラが



CAD で作成したデータ(4角形フレーム)に腕を差し込んでいくところ

図4 表示例

接続される5台でボリューム生成処理を並列処理する。

3次元映像データ通信は、送信側のPCクラスターから受信側の表示PCへの接続をSIPで制御し、データをRTPで通信している。プロトタイプでは3次元映像を無圧縮で通信し、1フレームあたり3.5Mバイト、約3000パケットに分割して通信している。今回は、送受信PCとも同じスイッチングハブに接続しているため、パケットロスも少なく、特にエラー訂正を行っていない。パケットロスがあった場合にはフレーム単位で廃棄するが、プロトタイプでの廃棄率は0.5%未満であった。

表示では、汎用性を重視し、一般的なボリュームレンダリングのアルゴリズムを使っている。可視化PCで表示される映像例を図4に示す。この図では、多視点カメラ映像から生成された3次元映像に、CADで作成したデータが重畳されている。全体空間のサイズは 96^3 であるが、人物のサイズは約 60^3 となるため、サイズ 20^3 程度のオブジェクトを重ねることができる。この映像は2つのボリュームデータを重畳して送信し、受信側でボリュームレンダリングにより2次元映像に変換したものである。四角の枠に腕を伸ばしている様子を表示しているが、このようにオブジェクトとのインタラクションを表現することも可能である。

4.4. 今後の課題

(1)解像度向上

現在の構成のままでも、PC台数を増やすことでデータサイズ 128^3 くらいまでは対応可能であ

るが、 256^3 から 512^3 にするにはデータ圧縮が必要となる。しかし、4.2で述べたように汎用的な3次元映像の圧縮にはハードウェアが必要なため、当面は利用するデータに応じた圧縮アルゴリズムを採用する必要がある。

たとえば、図4に示した人物画像は、カメラ映像として撮影された表面部分しか色データがなく、他のボクセルは透明になっている。この画像では、実際に色情報の入っているボクセルは1万程度のため、透明ボクセルを省くことで1/100近くまで圧縮可能である。復元形状サイズを大きくするには、プロトタイプのカメラ映像のサイズ 320×240 を、 640×480 に変更することで対応可能である。データサイズを大きくすることにより3次元形状復元における計算処理が増えるため、この高速化アルゴリズムを検討している。

一方、共有されるオブジェクトについては、各データの特徴に応じた圧縮方法が必要である。シミュレーション結果などの場合には、自然画像に比較して規則性や相関性が高いと考えられるため、汎用の圧縮技術を使わなくても、必要な圧縮率を得ることができると考えられる。以上の方法によって、通信に要する帯域を削減し、現状のハードウェア仕様に近いシステムでの実現を考えている。

(2)多地点接続

VizGridでは、対面に近い自然なコラボレーション環境を実現するために、議論の対象となるオブジェクトを囲むように人の映像を配置するコラボレーション空間を提案している。この空間全体をボリュームデータとして通信する方法も考えられるが、前述のとおりデータサイズが大きくなることから実現が難しい。そこで、コラボレーション空間を構成するボリュームデータを別々に通信し、受信側で想定する空間内に各オブジェクトを配置、表示する方法が考えられる。この方法であれば、通信を分散することが可能であり、PC単体の負荷を抑えることができる。ここでは、

オブジェクト毎に映像化し、最後に重畳することで実現することを考えている。一般に、透明なオブジェクトが多くなると処理時間が長くなるため、共有オブジェクトだけを透明オブジェクトとして計算処理量を少なくする。

全体のコラボレーション空間におけるオブジェクトの位置、向きなどを管理する仕組みを設ける。このオブジェクト情報に基づき、各サイトでは、独自の視点からの映像を生成する。この位置関係を反映した映像を生成することによって、参加者同士のアイコンタクトや、手・指によるポインティングでどこを指し示しているかなどを正確に表現することができ、インタラクションの臨場感を高めることができる。

オブジェクト間の時間的な同期が重要であるが、同期はネットワーク上に設置される同期ノードで実現する。オブジェクトによっては映像化の処理時間に差があり同期ずれの原因となるため、映像化のときにCPU資源を多く割り当てて同期させる必要も考えられる。インタラクションをしているオブジェクト間では、遅延があるとコラボレーションが不自然になる。同期させるべき送信リソースを優先的に処理するなど QoS を実現する必要がある。

6. まとめ

異分野間の共同研究を推進するための3次元コラボレーション環境とその実現方式について述べた。VizGridで提案するボリュームコミュニケーション基盤では、3次元データをボリュームデータで表現し、ボリュームデータ生成から通信、映像化およびアーカイブ、検索を備えることを提案している。実際の作業空間は、各3次元オブジェクトのデータを個別に通信し、受信側で映像化するときに1つの空間として表現する。この仮想空間では、対面環境と同じように、アイコンタクトなどのコミュニケーションにおいて重要な機能が実現される。

今後は、グリッド基盤への対応を考慮しながら、医療分野における適用システムとして医療画像とカメラ画像を重畳したシステムを開発する予定である。

謝辞

日頃より議論頂く、プロジェクトリーダーの松澤教授をはじめとするメンバーの方々に感謝いたします。なお、このプロジェクトは文部科学省「ITプログラム」の援助を受けている。

【参考文献】

- 1) VizGrid, <http://www.vizgrid.org/>
- 2) 軽部 松倉, 3次元映像での共同研究環境:VizGrid, FUJITSU, Vol.55, No.2, pp.116-120, Mar. 2004.
- 3) K. Okada, F. Maeda, Y. Ichikawa, Y. Matsushita, "Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design, Proc. CSCW '94, ACM, pp.385-393, 1994.
- 4) 伴野, 岸野, 高臨場感通信会議におけるヒューマンインタフェース技術, 人工知能学会誌, Vol.6, No.3 pp.359-369, May 1991.
- 5) J. Lanier, "Virtually There," Scientific American, April 2001.
- 6) 松山, 3次元ビデオ映像の生成・編集・表示, Vol.13, No.1, pp.16-19, 画像ラボ, Jan. 2002
- 7) N. Sakamoto, J. Nonaka, Y. Takai, K. Koyamada, T. Matsuyama, "View-Independent Texture Representation For Omnidirectional Display," Proceedings of the IASTED CGIM2003, pp. 135-140, 2003
- 8) T. Tsuchiya, T. Komine, Y. Tan, "A Network Node for Synchronizing Multiple Streaming Data Based on Timestamp Information," Proceedings of the International Symposium on Towards Peta-Bit Ultra-Networks(PBit), pp.96-102 A&I Ltd., ISBN4990033035, 2003.