

## ネットワーク型仮想現実環境における 3次元オブジェクト情報の通信方式

碓崎 賢一

九州工業大学 情報工学部

仮想現実の応用として、ネットワークを利用したシステムが注目されている。ネットワーク上に仮想環境を構築するためには、仮想環境内の建物などの3次元情報をクライアント・サーバー間で高速に伝送する技術が重要となる。本報告では、3次元情報の部品化と階層定義方式を用い、伝送データ量を減少させる方式を提案する。また、伝送する3次元情報をクライアントの描画系からの要求があったものに限定することにより、必要かつ十分な情報を選択的に伝送する方式を提案している。

### 3-D Object Geometric Data Transfer Method for Distributed Virtual Environment

Ken'ichi KAKIZAKI

Department of Computer Science and Electronics,  
Faculty of Computer Science and Systems Engineering,  
Kyushu Institute of Technology, Iizuka, 820 Japan

This paper proposes an efficient transfer method for 3-D object geometric data in a distributed virtual environment. In our method, 3-D objects are constructed from hierarchical elements. The transfers of geometric data between server and clients are performed each hierarchical element by element. The choice of which data will transfer is processed by the renderer on the clients. The server transfers only required data that are selected by the clients, and the transfers are carried out to the best of its ability instead of perfectly. The method realizes low occupation of network band width, and high transfer rate for important geometric data.

# 1 まえがき

ネットワーク上に構築される仮想環境が注目され、その研究と応用が積極的に進められている。このような分散仮想環境を実現するためには、仮想環境を視覚的に表現するために必要な膨大な量の3次元情報を帯域に制約の多い伝送路を利用して効率良く伝送する方式が不可欠になる。

我々は、仮想環境のシミュレーションを行なうサーバーと、その利用者インターフェースを提供する複数のクライアントから構成される分散仮想環境を想定し、それらの間の3次元情報の伝送方式の研究を進めている。伝送すべきデータとしては、仮想環境内の建物や家具などの静止物と、人間や動物などの動作物に分類し、その3次元情報の効率的な伝送方式の実現方式の研究を進めている。本報告では、静止物に着目した3次元情報の伝送方式を示す。

提案方式では、静止物の3次元情報を部品の組合せによる階層的な表現で定義する。同一部品に関しては、仮想環境中に多数利用されていても、その情報を一度伝送するだけで良いため、データの伝送量を低減することができる。建築物に代表される静止物は、部品の組合せによって構築されていることが多いため、この方式によりデータ伝送量を効果的に低減することができる。

また、3次元情報の階層的な定義を、距離や着目度による描画精度の制御や、データ伝送の必要性の判断に利用することができる。部品単位のデータ伝送の必要性の判断はクライアントの描画系が行ない、その結果をサーバーに要求する伝送制御方式を提案している。この方式では、多種多量の処理を行なう仮想環境サーバーの負荷を低減すると共に、仮想環境の描画を実際に行なうクライアントの必要性に合致したデータを選択的に伝送することができるという特徴がある。

## 2 分散仮想環境と情報伝送

### 2.1 クライアント・サーバー方式

我々は、コミュニケーションの場としての分散仮想環境を実現するために、Virtual Communityの研究[松並 95]と、仮想環境におけるコミュニケー

ション方式の研究[碓崎 95, 古野 95]を進めている。仮想環境をコミュニケーションの場として利用するためには、対話処理を実時間で行ない、仮想環境中の事象を同時に体験できるようにするために、複数の利用者が同じ環境を共有できる、集中型の処理システムが必要となる。このため、我々はクライアント・サーバー方式によって分散仮想環境を実現しようとしている。サーバーは仮想環境の実時間シミュレーションを行ない、クライアントはその利用者インターフェースを提供する。

### 2.2 3次元情報の伝送

クライアント・サーバー方式の分散仮想環境では、クライアント・サーバー間の効率的な3次元情報の伝送方式が重要となる。特に、コミュニケーションを活発にするために臨場感を演出しようとすると、限りのある伝送路の帯域を効果的に利用して、十分な密度の3次元情報を提供する方式が不可欠となる。

また、大規模な仮想環境を実現する場合には、その3次元情報すべてを最初に伝送しようとすると、利用されないデータも多く含まれるため、伝送路の帯域の浪費と、利用者待ち時間を強要することになる。したがって、仮想環境の3次元情報を高速に伝送できるだけでなく、必要十分な情報だけを選択的かつ逐次的に伝送する方式が必要となる。さらに、サーバーには複数のクライアントが接続されるため、必要十分な伝送情報を選択する処理が、サーバーに負荷をかけないことが望まれる。

### 2.3 多数の仮想環境サーバーの利用

分散仮想環境としては、仮想商店街、対戦型ゲームなど、すでいくつかの例が見られる。これらに共通するのは、体験できる仮想環境が1つあるいは各システムに組み込まれたいくつかに限定されており、不特定多数ではないという点である。したがって、各利用者の仮想環境表示用の端末は、表示すべき仮想世界の建築物などの形状データを、CD-ROMや他の媒体を利用して、あらかじめ配布されたものを利用することができる。このため、仮想環境の構築が比較的容易であるという特徴がある。

一方、我々が研究を進めている分散仮想環境の利用形態は、現在のWWWの様子、ネットワー

ク上に様々な仮想環境のサーバーが提供されており、利用者がそれらの仮想環境サーバーを渡り歩くことが可能なものである。このような利用形態では、仮想環境の提供者と利用者が多対多となるため、仮想環境に含まれる形状データなどの情報をCD-ROMなどの媒体で事前に配布できないという問題がある。したがって、このような利用形態では、利用者が各サーバーに接続した時点で、各サーバーによって提供される仮想環境内の形状データを利用者のもとに効率良く伝送する方式が非常に重要となる。本報告では、このような観点に立った形状データの伝送方式を提案する。

### 3 3次元情報の階層定義

#### 3.1 データ構造の概要

提案方式では、建物などの静物が規格化された共通の部品によって実現されていることに着目し、図1に示すように、部品化された階層的な形状データ定義法を利用することにより、次のような機能を実現している。

- 部品化による形状データの共通化と、それによるデータ伝送量の低減
- 表示装置の性能や視覚特性に合わせた描画精度の制御
- 部品単位による形状データの部分的、段階的な伝送
- 代替部品の利用による初期伝送量の低減

図1に示すように、階層化された部品の各ノードを部品ノードと呼び、部品ノードは、内外ノード、結合ノード、末端ノードからなる。末端ノード

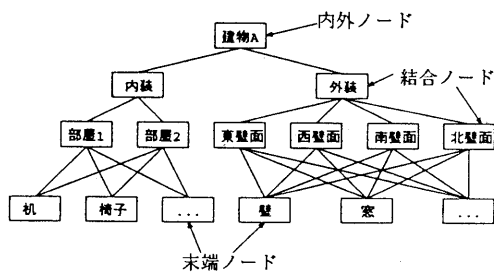


図1: 形状の階層定義

は、ポリゴンや図形プリミティブを組み合わせることで基礎的な形状部品を記述するのに利用される。結合ノードは、複数の部品ノードを結合して、より大きな部品を記述するのに利用される。内外ノードは、建物などの大きな静物の内部の形状情報と外部の形状情報を書き分けるのに利用される。

伝送されたデータは図2に示すように、部品番号によって参照できるように部品表に格納される。部品表の各エントリには、その部品の情報を格納している領域を指すポイントが格納されている。各部品が下位の部品を副部品として参照する場合も、この部品表の部品番号によって間接的に参照する方式をとる。対応する部品が伝送されていないエントリには、NULLが格納されているため、その値により部品の形状データが伝送されているか否かが容易に判別できる。

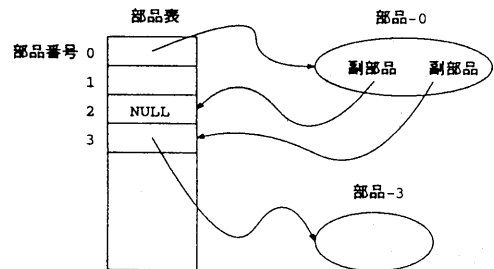


図2: 部品表の参照

#### 3.2 部品の階層の多目的利用

形状データを階層的に構成する方式は、表示速度や精度を制御するために用いられる [永塚 95, Bel95] ことが多い。本報告では紙面の制約で述べないが、我々の方式では階層化された各部品に、仮想環境のシミュレーションとユーザーインターフェースを支援するための情報を保持させている。このためサーバー内では、各階層の部品に、形状データだけではなく、その名称や特徴などの意味情報を持たせる。これにより、階層化された部品データを表示用に用いるだけではなく、仮想空間中の物体のデータベース [碓崎 95, 赤嶺 96] として利用できるように考慮している。各部品の形状データを伝送する際には、それ上記の付加情報を削除して行なう。

## 4 データの伝送制御

クライアント・サーバー間の形状データの伝送手順を示す。

### 4.1 要求伝送方式

伝送対象の選択と順序付けは、一般的には、伝送すべきデータを保持しているサーバーによって行なうのが自然である。しかしながら、この処理を行なおうとすると、階層的に定義された形状データがある基準に基づいて走査して、伝送対象を選択、順序付けする必要がある。利用者の視点は時々刻々と変化するため、この走査は、繰り返し行なう必要がある。また、複数のクライアントに対して個別に処理を行わなければならないため、サーバーにとって大きな負荷になると考えられる。

クライアントの処理に着目すると、クライアントは仮想環境の描画のために、階層的に定義された形状データを繰り返し走査している。このため、転送すべきデータの選定と順序付けのコストは、描画処理に若干上乘せするだけで実現することができる。したがって、転送すべき形状データをクライアントに選定させる方式を採ることにより、効率的な処理分担を実現することができる。

提案方式では、次章に示す形状データの選択方式に基づき、描画しようとした部品の形状データが伝送されていない場合に、その伝送をクライアントからサーバーに依頼する要求伝送方式を採る。

### 4.2 要求リストの作成

各形状データの最上位の階層をルートノードと呼ぶ。クライアントが描画のために形状データを走査するためには、少なくともルートノードの情報がクライアントに伝送されている必要がある。したがってサーバーは、クライアントの視点に基づき、5.1 節に示す方式により伝送すべきルートノードを決定し、その情報のみを自発的に伝送する。サーバーはルート以外の転送すべき形状データの選定と、その自発的な伝送を行わない。

クライアントの描画系は、次に示すように、深さ優先の再帰処理によって形状データをたどり描画を行なうと共に、伝送されていない部品の検出と、その要求度の算出を行なう。

1. 表示対象が末端ノードであればそれを表示して終了
2. 表示対象が末端ノード以外の場合には、5章に示す決定方式によって表示すべき副部品を決定
3. 副部品の部品番号を索引として、その定義内容を参照
4. 定義内容が伝送されていれば1へ
5. 定義内容が伝送されていない場合は、対象部品の概形表示を行なう
6. 要求度を付加してその副部品の部品番号を要求リストに追加して終了

伝送対象の選定に関しては、描画系に、上記の5,6の処理を追加するだけでよい。

### 4.3 サーバーへの要求通知

描画系の処理が終了すると、要求度が付加された部品番号の要求リストが出来上がっている。クライアントは要求リストの内容を、要求度によって整列させる。次に、伝送路の帯域と標準的な部品の大きさを考慮して、要求度が上位の一定数の形状データの伝送をサーバーに依頼する。

### 4.4 形状データの伝送

サーバーはクライアントからの要求に基づき、その時点での負荷状況や伝送路の状態により、一定時間内に送れるものを伝送し、送れなかった部品の要求を破棄する。ここでの一定時間としては、クライアントの1-2フレームの描画時間を想定している。また、クライアントでの要求リストの作成と伝送タイミングの関係で、クライアントに伝送した形状データの要求が再度あった場合には、その二重の伝送を防ぐために要求を破棄する。この処理を行なうためにサーバーは、前回の要求に対してクライアントに伝送した形状データの部品番号をハッシュ表に記録しておき、伝送を行なう前に検査を行なう。一方クライアントは、伝送されてきたデータを部品表に登録する。

サーバーに要求が破棄されて伝送されなかった部品は、クライアントの描画系によって、次の形状データの操作でも要求リストに登録される。一方、前回上位の要求度が付加されていた形状データの多くは、すでに伝送されているため要求リス

トに登録されない。このため、サーバーに要求が破棄された形状データも、相対的に要求度の順位が上昇しサーバーに再度要求が出されるため、要求と伝送の数回の繰り返しで自然と伝送されることになる。

この手順に示されるように、サーバーは要求があったすべての形状データを伝送する必要がないため、サーバーの負荷や伝送路の帯域の変化に柔軟に対応できるという特徴がある。また、クライアントは、伝送されなかった形状データがあっても、それによる悪影響を受けたり、何らかの対処をする必要がないという利点がある。

## 5 伝送部品の選択

階層的に定義された形状データ群から、クライアントにおける仮想環境の描画に必要な情報を選択する方式を示す。

### 5.1 視覚特性の利用

形状データの要求度の算定は、次のような点に着目し、人間の視覚特性に基づき行なう。

- 視角
- 遠近
- 視線との角度

対象物の距離による要求度の算定では、基本的には、視角の大きなものに高い要求度を与える。視角の大小は、対象物の大きさを距離で割って容易に求めることができる。また、視角がほぼ同じ場合には、遠くの物よりも、近くの物に注視していることが一般的であるため、近くのものに高い要求度を与える。なお、表示装置の解像度の制約により、視角がある大きさ以下の物体は、形状データを取得しても表示することはできないため、要求度を0とし伝送要求は出さないようにする。これにより、不必要な形状データを伝送することによる伝送路の帯域の浪費を抑制することができる。

対象物と視線との角度に着目すると、視線の中心方向の対象物の形状が重要であり、視線を外れるに従い重要度が低下するのが一般的である。したがって、視線との角度が大きくなるほど、詳細が見えなくても良いことになる。そこで、距離的

には同様な要求度を持つ形状データでも、視線から角度が大きくなるにつれて要求度を低下させる。

また、視線方向がほぼ一定方向を保っている場合には、その方向を注視していると考えられるため、視線方向の重み付けを強化して、視線方向の物体の形状データの取得が優先的に行なわれるようにすることが考えられる。

### 5.2 表示方向

建物は多くの場合、4方向の壁面で構成されており、ある点から見える壁面は、そのうちの高々2面である。したがって、その2面だけの情報を選択的に伝送できるようにすれば、形状データの伝送量を半分に抑えることができる。

結合ノードには、そのノードの形状データが表示される主方向を示す表示方向ベクトルが記録されている。表示方向ベクトルは、ポリゴンの表示面を決定するのに用いられる法線と同じ考えに基づくものである。そのベクトルの視点方向に対する成分が視点向きであれば、表示するためにそのノードの下部ノードの伝送要求を出し、逆向きであればそのノードを無視し伝送量を軽減させる。表示方向ベクトルが0の場合には、表示の方向性がないものとして、距離や方向などによる優先順位のみによって伝送要求を処理する。

### 5.3 代替モデル

街路樹などの複雑な形状を持った多様性がある物体が対象の場合、その物体とほぼ同等と考えられる他の物体の形状で代替することができれば、その物体の形状データに対応したデータ量の伝送を減少させることができる。ただし、その物体の本来の形状が表示できることは望ましいため、他に伝送すべきデータが少ない場合にその形状データを伝送し、本来の形状が表示できるようにする必要がある。このような処理により、代替モデルで近似できる物体に対しては、代替モデルによって表示品質を維持する。一方、それによって確保された伝送帯域を、他の要求度の高い物体の形状データの伝送に利用することにより、限定された帯域を効果的に利用することができる。

このような機能を実現するためには、表示すべき代替モデルの形状データが存在しないことを防

ぐために、代替モデルの形状データが優先的に伝送されるようにする必要がある。一方、代替モデルが定義されている物体の本来の形状定義の伝送が抑制されるようにする必要がある。このため、代替モデルが登録されている場合には、その代替モデルの形状データの要求度を求める際に、通常的方式による要求度を求めた上で、その値に係数を乗じて要求度を上げ最終的な要求度を求めるようにする。また、本来の形状データの要求度を求める際には、通常の方法に係数を除して要求度を下げる。これらの処理によって得られた形状データの要求度を用いて、各形状データの要求を行なうことにより、前述の効果を実現することができる。

## 6 評価

図3に示す建物の壁面の形状データを例とした評価を示す。この形状データを部品化して階層的に定義することにより、1.1K バイト程度で表現することが可能である。この容量は、ISDN を利用した場合には 0.05~0.1 秒で、10Base のイーサネットを利用した場合には 0.01 秒以下で伝送できる。また、単純にポリゴンデータで表した場合、45K バイト程度なので、40 倍程度効率の良い表現が可能となっている。

また、図3の要素となっている窓の形状データは、0.5K バイト程度を占めており、この形状データが他の建物の形状データとしてすでに伝送されていれば、ほぼ半分のデータ量で図3の壁面を表示

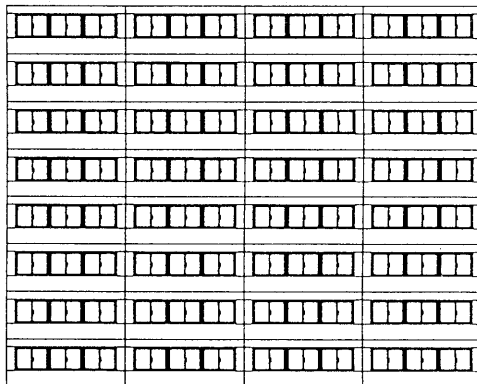


図3: 建物の八階分の壁面

可能であり、部品化の効果が明らかになった。

## 7 むすび

分散仮想環境の中核的な技術となる、静止物の形状データの効率的な伝送方式を示した。今後は、動作物の情報の伝送方式の研究を進めると共に、本論文に示した方式に基づきシステムを実現し、その伝送特性の評価などを行なおうと考えている。

## 謝辞

本研究を援助していただいている、電気通信普及財団のご厚意に感謝いたします。

## 参考文献

- [Bel95] Bell, G., Parisi, A. and Pesce, M.: "The Virtual Reality Modeling Language, Version 1.0 Specification", Silicon Graphics, Inc. (1995).
- [永塚 95] 永塚仁夫, 大野義夫: "リアルタイムアニメーションで均一なフレーム速度を達成する表示アルゴリズム", グラフィックスとCAD研究会資料 95-CG-74 (5), 情報処理学会 (1995).
- [古野 95] 古野文一, 松並勝, 碓崎賢一: "多人数チャットシステムにおける人物モデルのジェスチャー機能", グループウェア研究会資料 95-GW-13 (6), 情報処理学会 (1995).
- [松並 95] 松並勝, 碓崎賢一: "Virtual Communityの提案", グループウェア研究会資料 95-GW-13 (5), 情報処理学会 (1995).
- [赤嶺 96] 赤嶺義寿, 碓崎賢一: "仮想環境における自動プレゼンテーションシステム", マルチメディア通信と分散処理研究会資料 96-DPS (15), 情報処理学会 (1996).
- [碓崎 95] 碓崎賢一: "チャット入力による人物モデルのジェスチャー制御", 自然言語処理シンポジウム, 情報処理学会 (1995).