

静止画を用いた三次元空間のブラウジング手法について

小川 剛史 中村 聡史 坂根 裕 塚本 昌彦 西尾章治郎

大阪大学工学部情報システム工学教室

近年、コミュニケーション支援、遠隔作業支援などの研究分野だけでなく、ゲームなどのアミューズメント分野において幾何形状モデルが広く利用されている。一般的に幾何形状モデルは三次元情報を含んでいるために、仮想空間における物体に対して物体の移動や回転などの操作が容易に行える。しかし、コンテンツの製作が困難であることや、複雑な仮想空間の表示には多くの処理時間と計算機リソースを必要とすることが問題となっていた。本稿では、実写画像データに最小限の三次元情報を付加して、レンダリングを行わず静止画のみで三次元空間を構築する手法について述べる。この手法は現実空間をモデルとした写実的な仮想空間を構築する場合に有効で、非常に少ないコストで空間を構築できる。また、既存の幾何形状データを効果的に利用する方法についても述べる。

On Browsing Virtual Space Using Images

Takefumi OGAWA Satoshi NAKAMURA Yutaka SAKANE

Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO

Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

Recently various geometric models have often been used in the field of amusement such as video games, in addition to communication support and remote operation support fields. Generally, geometric models contain 3-dimensional information, and therefore it is easy for them to perform operations like moving or rotating objects in virtual space. However, these models are not powerful enough to completely model an object with complicated shape. Furthermore, rendering complicated virtual space requires large processing time and many computer resources. In this paper, using image data with their necessary minimum 3-dimensional information, we describe a method of building 3-dimensional virtual space without performing rendering. This method is very effective to construct the virtual space at low cost which realistically models the corresponding real space. Moreover, we also describe a method how to effectively reuse available stored geometric data.

1 はじめに

近年、コンピュータグラフィックス (Computer Graphics, CG) 技術とバーチャルリアリティ (Virtual Reality, VR) 技術の発達に伴い、仮想空間を利用したコミュニケーション支援や遠隔作業支援に関する研究が盛んに行われている。また、これらの技術は遊園地でのアトラクションやゲームの分野でも広く利用され、非常に身近な技術となってきている。これまでのシステムで実現している仮想空間の多くは、Geometric Based Rendering (GBR) と呼ばれる手法に基づいて構築されている。GBR では、Virtual Reality Modeling Language (VRML) や OpenGL, Inventor などのモデリング言語を用いて、空間や物体の幾何形状データを記述し、この幾何形状データに基づいて仮想空間を描画して

いる。例えば FreeWalk[6] や People Space[8]、インタースペース [11] では、人々の社会活動支援やコミュニケーション支援を目的として、架空の新たな空間を GBR によって構築している。また筆者らの構築した透明人間環境 [7] では、現実空間をモデルとした仮想空間を GBR によって構築し、その仮想空間とモデルとなった現実空間とを同一の空間であると見なすことで、両空間からのインタラクションを可能とし、コミュニケーションを実現している。

GBR に基づく仮想空間では、ユーザが自由に視点を変更できることや、物体を自由に移動できることが利点として挙げられる。これらは幾何形状データが物体の三次元情報を含んでいるため、システムがユーザの連続的な視点移動などに対し

て柔軟に対応できるためである。しかし GBR では、複雑な形状をした物体の表現や、現実に存在する物体の質感の再現が一般的に困難で、写実性の高いリアルな空間を構築するには適していない。特に現実空間をモデルとした仮想空間を構築する場合には、現実空間に存在する多数の物体をモデル化しなければならず、非常に多くのコストがかかる。仮に現実空間をモデルとした大規模で、物体数の非常に多い仮想空間が構築できたとしても、システムはユーザの視点移動に応じてリアルタイムでレンダリング処理を行わなければならない。レンダリング処理は多くの計算機リソースを必要とする処理で、このような処理をリアルタイムで行うことは現実的でないと考えられる。実際、レンダリングを高速に行うために、処理能力の高いハイエンドマシンや 3D グラフィックス専用ボードが利用されている。これは結果的に、ユーザの負担を増加させてしまうため、よい解決方法とは言えない。

本研究では、現実空間をモデルとするリアルな仮想空間を構築する場合、仮想空間のモデリングにかかるコストとその仮想空間を描画するのに必要な計算処理のコストを低減することが重要であると考える。以下に示す 2 点に注目する。

- モデリングのコストを抑え、写実性の高い仮想空間を容易に構築するために、デジタルカメラで撮影した実写画像などの静止画を利用する。
- 仮想空間を描画する際、描画処理にかかるコストを抑えるために、仮想空間の描画にはレンダリング処理を行わない。

実写画像を利用して仮想空間を構築する手法に、Image Based Rendering (IBR) と呼ばれる手法があり、この手法を利用したシステムが注目を浴びている。これらのシステムでは、ある現実空間をモデルとした空間を作成する場合、複数の実写画像を用意し、それらの画像から三次元モデルを構築している。したがってブラウザには、ユーザの視点に応じた実写画像が表示される。このように実写画像を利用してモデルを作成することで、仮

想空間の写実性が高まると共に、複雑な形状をした物体のモデリングや実空間のモデリングの作業が非常に容易になり、幾何形状データを作成するコストが軽減できる。しかし、IBR でもレンダリング処理が行われているために、計算機の処理コストは抑えられていない。

したがって、本稿では、実写画像を利用するがレンダリング処理を行わずに仮想空間を構築する Image Based Non-Rendering (IBNR) と呼ぶ手法を提案する。

以下、2 章において本研究のアプローチについて詳しく述べ、3 章においてプロトタイプの実装について述べる。次に 4 章で関連研究との比較を行い、5 章において本稿のまとめを行う。

2 アプローチ

レンダリングを行わずに仮想空間を表示するためには、これまでの GBR や IBR の手法を利用するのではなく、新しい手法を導入しなければならない。レンダリング処理は、幾何形状データから二次元画像を生成する際に行う処理であるから、幾何形状データではなく、二次元画像データをあらかじめ用意しておくことでレンダリング処理を行う必要がなくなる。そして、その用意した二次元画像の背景にユーザのアバタ（化身）を合成して表示し、背景を切り替えることで空間を表現する。この背景をシーンと呼ぶ。このシーンベースの空間表現方法は、既にバイオハザード（カプコン）やパラサイト・イブ（スクウェア）などのゲームにおいて利用されている。これらのゲーム中では背景に、実写画像ではなく絵が用いられているが、本稿ではシーンに実写画像を利用して、現実空間をモデルとした仮想空間を構築する。また、バイオハザードやパラサイト・イブでは、アバタに幾何形状データを用いているのに対し、ここではアバタに静止画もしくは幾何形状データを用いる。

以下では、まず 2.1 節において静止画をシーンに利用した仮想空間提示方法について述べ、2.2 節では発展として動画をシーンに利用する方法について述べる。2.3 節において、これまでに構築されている仮想空間からシーンベースの仮想空間を構

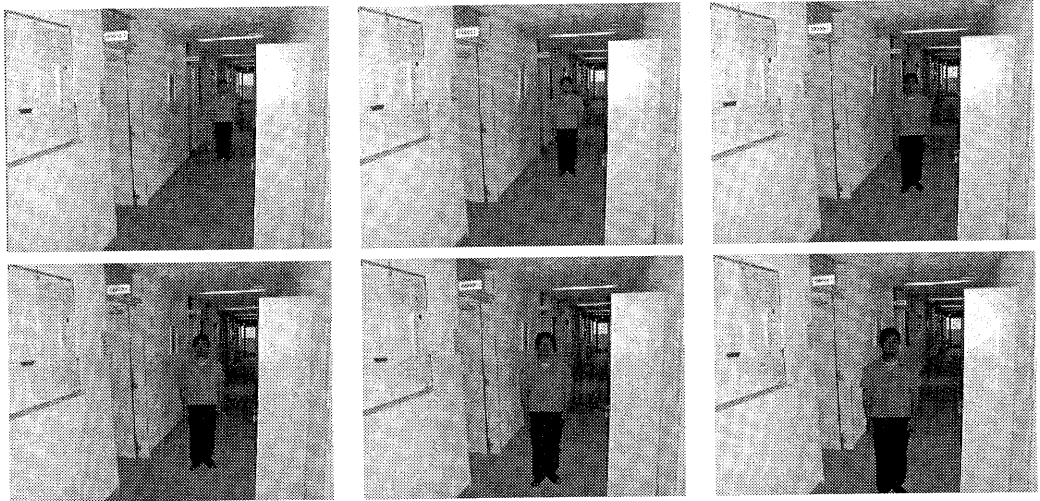


図 1: 静止画を用いたシーンの例

築する方法について述べる。

2.1 静止画を利用した背景

本節では、デジタルカメラやデジタルビデオカメラを用いて撮影した静止画をシーンとして利用する仮想空間の提示手法について述べる。

図 1 にシーンベースで仮想空間を構築した場合の表示例を示す。背景にはデジタルカメラなどで撮影した静止画を利用しており、その背景にユーザのアバタを合成して表示している。図 1 では、アバタにも静止画を用いている。シーンベース仮想空間では、ユーザの視点が固定されているために、GBR に基づく仮想空間のような自由に視点を変更して空間内をウォークスルーすることはできない。そのためにアバタを利用することとなる。アバタは静止画もしくは幾何形状データで表現し、背景の静止画に合成する。アバタを背景に違和感なく合成するには、正しい大きさ、位置に合成する幾何的な整合性や自然な陰影で合成する光学的な整合性を実現しなければならない。幾何的な整合性を実現するには実写画像内でどの領域が床であるのかといった床情報や画像内のどの物体が手前にあり、どの物体が奥にあるのかといった奥行き情報が必要である。これらの整合性を実現し、特に仮想物体を実写画像に合成する研究は文献 [5, 9]

において行われている。

アバタを利用したシステムと自分の視野を表示するようなシステムとを比較すると、自分の視野を表示するシステムではヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, HMD) と位置センサを利用して、ユーザの頭の向きに応じた視野を表示することで、非常に大きな没入感をユーザに与えることが可能であるが、アバタを利用したシステムではこのような没入感をユーザに与えることはできない。しかし、HMD を利用したような自分の視点を表示するシステムでは、自分の姿が見えないだけでなく、現実のように他の感覚器官からの情報 (椅子に座っているときの触覚による情報や人の気配などの情報) も得ることができないために、自分の状態が直観的に理解できない。この問題はアバタを利用した場合には生じない。例えば仮想空間内で椅子に座っているのか中腰なのかなど自分の状態はアバタの姿を見ることで直観的に理解できるし、他のユーザと握手などもスムーズに行え自然なコミュニケーションをとることが可能となる。

シーンにはアバタを合成するために最小限必要な床情報や奥行き情報などの三次元情報を付加する。この床情報に基づいてアバタのシーン中におけるウォークスルーを実現し、シーンの外に出よ

うとした場合に視点を切り替え、その先のシーンへと表示を変更する。このシーンの切り替え操作を繰り返すことで静止画のシーンだけで三次元空間を表現することができる。この手法では背景を描画するためのレンダリング処理を全く行わない。更に、シーンの切り替え処理はリアルタイムで行う必要がないため計算機の負荷を軽減できる。一方、GBRに基づく仮想空間では、物体の一部しかブラウザに表示されていないような場合でも、物体全体をレンダリングしなければならない。しかもこのレンダリング処理は、ユーザの視点の変化に伴ってリアルタイムで行わなければならない。したがって、仮想空間の規模の拡大や、仮想空間内の物体数の増加に伴ってレンダリング処理にかかる処理コストも非常に増大する。また、大規模な仮想空間や物体数の非常に多い仮想空間を構築するには多くのコストがかかってしまうが、実写画像を利用することでこれらのコストを削減できる。

2.2 動画を利用した背景

本節では、前節の発展として動画をシーンに利用する方法について述べる。

シーンベースで構築した仮想空間では、静止画を背景として利用しているため、背景に写っている電子機器などを直観的に理解できる。したがって、遠隔作業支援などを行う際にも、シーンベースの仮想空間は有効に利用できると考えられる。しかし、背景に静止画を用いた場合では、時間と共に変化する現実空間の様子をリアルタイムで再現することができないため、遠隔作業を行う際に支障が生じる。この問題は、現実空間にビデオカメラを設置し、そのビデオカメラで撮影した画像をシーンの背景に利用することで解決できる。

このシーンへの動画の利用は、遠隔地の人とのコミュニケーションを実現する場合にも有効である。ビデオ画像を利用すれば、現実空間に存在する人も背景としてシーンに表示できる。これまでの現実空間に対応した仮想空間を構築して、現実空間内の人と仮想空間内の人とのコミュニケーションを実現するためには、現実空間内の人をビデオカメラの画像などを用いてリアルタイムで検出し、

現実空間の人の姿を仮想空間に反映しなければならなかった。この方法を用いることで、人の検出処理を行わずに、現実空間内の人と仮想空間内の人とのコミュニケーションが比較的簡単に実現できる。

2.3 VRML データを利用した背景

本節では、VRMLで記述されたモデリングデータを再利用する方法について述べる。

VRMLで記述された仮想空間をシーンベースの仮想空間として表示するためには、VRMLのソースからシーンを作成するためのデータを生成しなければならない。そこで、VRMLソースをコンパイルしてシーンデータを生成する。コンパイルでは以下の4つの処理を行う。

- 仮想空間を構成するシーンの視点を決定する。
- 決定した視点から見た視野の二次元画像を生成する。
- 二次元画像に対して床情報、奥行き情報などの三次元情報を付加する。
- シーン間の接続情報を付加する。

シーンの視点決定は、手動もしくは自動で行い、その視点から見た背景画像を生成する。この画像に床情報や奥行き情報を付加することで、前節で述べた静止画を利用する場合と同様に、二次元画像のみで三次元空間を構築できる。

特にVRMLデータは、三次元情報を既にもっているため、シーンを生成する際に、背景画像のどの領域が床なのか、また画像のどの領域が手前にあり、どの領域が奥にあるのかといった床情報や奥行き情報を自動で付加することができる。静止画を利用する場合には、これらの床情報、奥行き情報を直接入力しなければならないが、VRMLのソースからシーンデータを生成する場合には床情報、奥行き情報を入力する必要がなく、幾何形状データがもっていた三次元情報を有効に利用できる。続いてSCEN間の接続情報を付加すること、ユーザがシーン間を移動することが可能となる。

このようにVRMLで記述されていた仮想空間をシーンベースの仮想空間に変換することで、仮

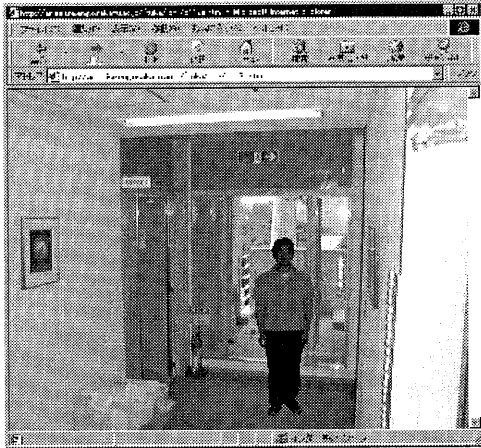


図 2: Dynamic HTML を用いたシステムの画面表示例

想空間を描画する際のレンダリング処理を全く行う必要がなくなり、表示にかかる計算処理を軽減できる。

また、VRML データからコンパイルしてシーンベースで表示する場合でも、これまでもっていた三次元情報を失いたくないときには、VRML で構築した空間の全てをシーンベースにコンパイルしてしまうのではなく、一部はこれまでの仮想空間としておいておく。そしてシーンを切り替えるのと同様に、VRML で構築した仮想空間に接続するようにすることも可能である。

以上の方法を用いることで、これまでに構築されている仮想空間をシーンベースの仮想空間として利用することが可能となり、既存の資源の再利用性が高いと考えられる。

3 プロトタイプシステムの構築について

当研究室をモデルとした仮想空間を構築するプロトタイプを実装している。本章では、そのプロトタイプ実装の詳細について述べる。

プロトタイプを実装するにあたり、システムを利用するユーザから以下のような 3 つの要求が考えられる。

- 高性能な計算機を利用しなくとも快適にシ

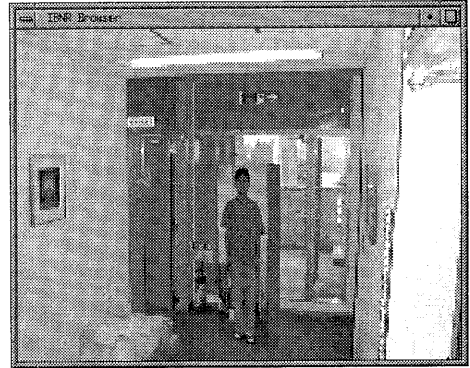


図 3: OpenGL を用いたシステムの画面表示例

テムを利用したい。

- ネットワークにはインターネットを利用したい。
- アバタはリアルな動きをして欲しい。

システムを快適に利用するには、システムの高速度が重要な要素となるため、幾何形状データを用いない実装方法を考える必要がある。しかし、幾何形状データを利用しなければ、アバタにリアルな動きを再現させるのは困難である。これらのことから、プロトタイプの実装には、アバタに静止画を利用した場合と幾何形状データを利用した場合の 2 つの方法が考えられる。また、ネットワークにインターネットを利用することで既存のインフラを用いることができるだけでなく、背景に写った電子機器との連携をとることで、遠隔地にある機器を直観的に操作することが可能となる。

現在、提案した手法を実現するプロトタイプを Dynamic HTML (HyperText Markup Language) および OpenGL を用いて実装している。

Dynamic HTML を用いたシステムの画面表示例を図 2 に示す。Dynamic HTML を利用すると、幾何形状データを全く扱わずに静止画のみで実装が可能であるため、レンダリング処理を全く必要としない。したがって、システムの高速度が期待できる。またアバタには、あらかじめ人の静止画を 8 方向から撮影しておき、その画像を拡大縮小させて背景に合成する。このようにアバタの

合成に関しても線形変換のみで済むため、処理コストを軽減し、結果的に処理速度の向上が図れる。しかし、アバタの画像をあらかじめ多く用意しておかなければ、アバタに滑らかな動きをさせることは不可能である。また、HTMLを利用しているため、Netscape や Internet Explorer など既存の HTML ブラウザを用いるだけでシステムを利用することが可能であり、特別にソフトウェアを用いる必要もなく、ユーザはこれまでの計算機環境のまま利用できる。Dynamic HTML の利用は、構築した仮想空間からホームページへリンクを張ったり、アニメーション GIF を利用したりすることが可能でシステムの拡張性が高くなる。このように、人々のコミュニケーション支援を目的としたシステム以外にも、ホームページ上で研究室などの紹介を行うシステムなど、さまざまな応用例が考えられる。

一方、OpenGL を用いたシステムでは、アバタのみを幾何形状データとして扱う。したがって、Dynamic HTML を利用したシステムと比較して、アバタに滑らかな動きを表現することが可能である。更に、幾何形状データを用いるときの問題として、レンダリング処理がボトルネックとなることが挙げられるが、この実装方法では、シーン内に存在するアバタの姿のみをレンダリングすればよく、仮想空間全体のレンダリングは行わない。そのため、これまでに構築されている GBR ベースのシステムよりも、処理速度の向上が図れると考えられる。そして、アバタに幾何形状データを用いて、リアルなアバタの動きを実現するシステムは、ユーザに与える没入感も大きく、今後更にゲームなどの分野で発展するものと考えられる。

4 関連研究

幾何形状データや実写画像データを利用した三次元空間構築に関する研究は盛んに行われている。以下では、それらの研究との比較を通じて、本手法の有効性に関する議論を行う。

まず、幾何形状データに基づく仮想空間を利用して、人々のコミュニケーションを支援するシステムとしては、FreeWalk や People Space が挙げ

られる。これらのシステムでは、幾何形状データを利用しているため、ユーザの視点に応じてリアルタイムでレンダリング処理を行わなければならない。そのため広大な仮想空間を構築した場合には、計算機に高い処理能力が要求される。これに対し本手法では、実写画像を背景として利用しているために、背景を描画する際にレンダリング処理を行う必要が一切ない。したがって、計算機に負荷をかけずに広大な仮想空間を構築することが可能である。また、FreeWalk や People Space では完全に架空の空間を構築しているのに対して、実写画像を利用する本手法は、現実空間をモデルとしたリアルな仮想空間を構築する場合に有効である。更に People Space では、自分のアバタの姿を表示しているため、仮想空間内での自分の行動を視覚的に認識できるのに対し、FreeWalk ではブラウザに自分の視界が直接表示されるために仮想空間における自分の状態を視覚的に認識することはできない。しかし、FreeWalk ではそれぞれのユーザの表示にビデオ画像を利用しているため、音声など直接にコミュニケーションに必要な情報以外にも、表情などの付加的情報を伝えることが可能である。これらの点では、本システムは People Space に近いと言える。仮想空間内の自分の姿をアバタとして表示しているため、自分の周りの状況などは認識することが容易であるが、アバタに実写の静止画を利用しているために、今のところリアルタイムで人の表情を伝えることはできない。しかし、本システムの最も重要とするところは、計算機に負担をかけずに仮想空間を構築することにあるので、今後の拡張としてアバタにビデオ画像を利用することも考えていく予定である。

他にも、現実空間をモデルとした仮想空間の構築を目的として、実写画像を利用しているシステムに MPI-Video[4] がある。MPI-Video では現実空間を複数のビデオカメラで撮影することで、仮想空間全体にテクスチャを貼り付けている。また、現実空間内の人をビデオ画像から検出して、仮想空間に立てた円柱に人の姿を貼り付け、時間と共に変化する現実空間の様子を再現している。しか

し、このシステムでも仮想空間自体を幾何形状データを用いて表現しているために、仮想空間を描画するにはレンダリング処理が必要であるし、現実空間に忠実な仮想空間を構築している場合には、現実空間の変化に応じて幾何形状データ自体を作り直さなければならない。これに対して本手法では、変化した現実空間のシーンの静止画を撮り直すだけで済み、システムのメンテナンスが容易である。更に背景としてビデオ画像を利用した場合には、自動的に現実空間の変化が仮想空間に反映されるため、システム側では何も行う必要がない。

複雑な仮想空間モデルを効率的に表示する手法として Level-of-Detail (LoD) があり、この LoD に関する研究も盛んに行われている [1, 2, 13]。一般に LoD では、あるモデルに対して、詳細度の異なるデータを複数用意し、物体が近くにある場合には詳細なモデルデータを、物体が遠くにある場合には粗いモデルデータを利用することで、レンダリングするポリゴンの数を低減し、処理の高速化を図っている。文献 [13] では、仮想空間内のそれぞれの物体に対し、どのモデルデータを利用するのかを決定手法について議論している。まず、非常に粗いモデルを用いて、ブラウザに物体がどのように表示されるのかを一度シミュレートする。たとえ視点から同じ距離にある物体でも、一方はすべて見え、もう一方は他の物体に隠れて一部しか見えない場合、後者には粗いモデルデータを用いて、処理速度の向上を図っている。したがって、システムの高速化にレンダリング処理がボトルネックとなることに注目している点では、本手法と同様であると言える。しかし、LoD では同じ物体に対して、詳細度の異なるデータを用意しなければならないが、特に現実空間をモデルとした仮想空間のように物体数の多い空間を構築する場合には、コンテンツ作成のコストが高くなるため、不向きであると考えられる。これに対し本手法では、実写画像を用いることで、レンダリング処理を無くし、同時にコンテンツ作成のコストも低減している。

一方、幾何形状データを利用せずに実写画像から三次元モデルを作成して空間を提供するシステ

ムに、QuickTime VR[10] や Surround Video[12] など IBR に基づくシステムが挙げられる。これらのシステムでは、複数の方向から撮影した実写画像を利用して、三次元空間を構築している。例えば QuickTime VR では、カメラを 360 度回転させて複数の画像を撮影し、それらの画像から撮影しなかった方向の画像を合成して表示している。また、ズーム写真も撮影しておくことで、ユーザが前に進んだ場合にはそのズーム写真を利用して、近づいても画像が粗くならないように工夫されている。しかも、幾何形状データを作成する場合と比較して、実写画像を利用する場合はデータ作成にかかるコストが少なくすむため、構築が容易に行える。しかし、この手法では、構築された空間がユーザを取り巻く球面のように構成されているため、さらにこの空間を拡大することは困難であると考えられる。また、ユーザの視点に応じた視野を合成するために画像処理を行わなければならないので、計算機に負荷がかかる。これに対して本システムでは、実写画像を利用することで写実的な空間を実現しているという点で共通であるが、仮想空間の拡大はシーンを増やすだけで済み、画像処理も行わないため容易に行える。更に、これまでに構築された仮想空間の VRML データを利用したり、VRML などの幾何形状データに基づいて構成された空間にリンクすることも可能で非常に汎用性が高いシステムであると考えられる。

これまでの IBR とは少し異なる手法を用いて三次元空間を実現しているシステムに Tour into the Picture[3] がある。このシステムでは、一枚の画像にユーザが簡単な三次元情報を付加することで、ユーザの主観に基づいた三次元空間を構築し、その中のウォークスルーを実現している。したがって、IBR を用いたシステムとは目的や手段は異なるものと言える。本システムでは、背景画像にカメラの視点情報や床情報、奥行き情報を二次元画像に付加することを考えると Tour into the Picture と同様であると言えるが、Tour into the Picture では一枚の実写画像しが利用していないために、空間的な広がりや不足しユーザが前進した場合に画像の拡大によって視野が粗くなってしまいう問題

が生じる。これに対して本システムでは、シーンを切り替えることにより空間的な広がり表現できている。

5 おわりに

本稿では、静止画のみで三次元空間を構築する手法を提案した。また、既存の VRML のソースをシーンベースで利用する方法についても述べた。

提案した手法を用いて、三次元空間を二次元画像(シーン)の集合として表現することにより、仮想空間を描画するためのレンダリング処理を無くすことが可能である。またアバタの利用は、ユーザに身の周りの状況を容易に認識させ、仮想空間内の他のユーザとのコミュニケーションが円滑になると考えられる。

現在構築中であるプロトタイプ完成や VRML データからシーンを生成して三次元空間を構築する VRML コンパイラの設計と実装が今後の課題として挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な御助言を頂いた春本要助手、原隆浩助手、現在システムの実装に協力して頂いている宮原伸二氏、中尾太郎氏をはじめ当研究室諸氏に謝意を表す。なお、本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」(プロジェクト番号: JSPS-RFTF97P00501) によっている。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Falby, J.S., Zyda, M.J., Pratt, D.R., and Mackey, R.L.: "NPSNET: Hierarchical Data Structures for Real-Time Three-Dimensional Visual Simulation," C&G, Vol.17, No.1, pp.65-69 (1993).
- [2] Funkhouser, T.A. and Sequin, C.H.: "Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualization of Complex Virtual Environments," In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1993, ACM SIGGRAPH, pp.247-254 (1993).
- [3] Horry, Y., Anjyo, K., and Arai, K.: "Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image," In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1997, ACM SIGGRAPH, pp.225-232 (1997).
- [4] Katkere, A., Moezzi, S., Kuramura, D.Y., Kelly P, and Jain, R.: "Towards Video-Based Immersive Environments," ACM Press, Vol.5, No.2, pp.69-85 (1997).
- [5] 宮田一乗: "画像と CG の融合 -コンピュータによる映像編集からデジタル合成まで-", 画像ラボ, 日本工業出版, Vol.9, No.1, pp.38-41 (1998).
- [6] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T., and Ishida, T.: "FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network," in Proc. of International Conference on Computer Supported Cooperative Work(CSCW-96), pp.308-314 (1996).
- [7] Ogawa, T., Sakane, Y., Yanagisawa, Y., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: "Design and Implementation of a Communication Support System based on Projection of Real Space on Virtual Space," in Proc. of 1997 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing(PACRIM'97), Vol.1, pp.247-250 (1997).
- [8] 落合和正: "商用化された仮想社会 People Space の現状/基礎技術/展望," 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol.1, No.1, ISSN 1343-0572, pp.13-18 (1997).
- [9] 佐藤いまり, 佐藤洋一, 池内克史: "全方位ステレオによる実光源環境の計測とそれに基づく仮想物体の実画像への重ね込み," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.5, pp.861-871 (1998).
- [10] Shenchang, E. C.: "QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation," In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1995, ACM SIGGRAPH, pp.29-38 (1997).
- [11] 菅原昌平, 清末悌之, 山名岳志, 加藤洋一, 田尻哲男: "多人数参加型環境を実現した三次元サイバースペース~インタースペースTMのアーキテクチャ," 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol.1, No.1, ISSN 1343-0572, pp.43-48 (1997).
- [12] "Surround Video API Reference," Black Diamond Consulting, Inc., (1996).
- [13] Wenwei, L. and Jintao, L.: "Distributed LoD Algorithm for Complex Virtual Environment," In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series 1995, VRST'96, pp.21-25 (1996).