

ネットワーク対応仮想現実感による分散協同作業支援

中村 暢達

日本電気(株) 情報メディア研究所

仮想現実感に関し、分散した計算機の作り出す仮想空間を共有し、協調作業を行うことを可能としたネットワーク仮想現実感システムについて述べる。上記のシステムを実現するために、分散した仮想現実感生成装置を接続する VR サーバ/クライアント方式を開発した。さらに、本システムにおいて、ユーザの顔のビデオ画像データを 3 次元コンピュータグラフィックスに融合して、取り扱う手法について述べる。本手法を用いることによって、視覚的な臨場感が向上し、協調作業の多様化、作業効率の向上が期待できる。

Collabolation on Networked Virtual Reality

Nobutatsu Nakamura

Information Technology Research Laboratories, NEC

Miyazaki 4-1-1, Miyamae-ku, Kawasaki, Kanagawa 216, JAPAN

e-mail nakam@JOKE.CL.nec.co.jp

This paper describes Networked Virtual Reality system which enables collabolation in shared computerized virtual work-space among users in long distance. To realize this system, VR-sever/client method which connects distributed virtual reality generators has been developed. Additionally, how to deal with 3D-CG which merged video data in this system is described. Using 3D-CG and video data improves the visual realistic sensation and achieve more various and efficient collabolation.

1 はじめに

近年、計算機の作り出す疑似的な3次元世界をリアルタイムで体験する仮想現実感(Virtual Reality, VR)の研究が盛んである^[1]。

VRは新しいマンマシンインタフェースとして、臨場感通信、デザイン、教育、娯楽、プレゼンテーションなど幅広い分野で応用が期待されている。その研究分野も幅広く、いかに自然にユーザの動きを計測するかといったセンサ技術、どのように仮想世界を構築し、ユーザの動きに対応して仮想世界を更新するかといった3次元モデリング技術、どのようにユーザにフィードバックして、現実であるかのような感覚を与えるかといった立体視、3次元音響、触覚フィードバックといった技術に関連する。実際のVRは、このような複数の技術が複合したものであり、その多くは従来から研究され続けているものである。言い換えれば、VRはさまざまな従来技術を取り込み、機能を拡張、発展してきているといえる。

我々は、VRにネットワーク機能を拡張することで、計算機の作り出す人工的な作業空間に、複数の操作者が離れた場所からネットワークを通じて参加し、リアルタイムで協調作業を行うことができるネットワーク対応仮想現実感システムの開発を行ってきた^[2]。本システムは、離れた人々があたかも同一の場所にいるかのような感覚で、コミュニケー

ションを行おうとする次世代コミュニケーションメディアを目的としている。従来の音声、画像を双方向に通信するのではなく、分散した計算機の作り出す仮想世界を共有し、ユーザはその仮想世界に入り込んで、コミュニケーションを行う(図1)。従来のメディアと異なり、仮想世界の中で歩き回ったり(好きな視点を選べる)、仮想物体(オブジェクト)を互いに持ったり、形状を変更したりすることが可能である。

VRでは、臨場感を実現するために、視覚、聴覚、触覚などのフィードバックを人工的に作り出して、ユーザに擬似体験を提供するが、特に視覚的なフィードバックが重要と考えられる。視覚的なメディアとしては、一般的には実写(カメラ)画像が用いられるが、VRでは3次元CG(コンピュータ・グラフィックス)を高頻度で更新する手法が用いられてきた。CGは実写画像に比べ、視点が自由に選べ、データの操作が容易であるなどインタラクティブ性に優れている。しかし、リアルな画像を実時間で生成するのは現状では困難である。そこで我々のシステムでは、画像のリアルさを向上させるために、CGに実写画像を取り込む手法を導入した。このようなCGと実写画像を組み合わせたメディアヒュージョンが臨場感のあるVRを実現するには有効である。

本稿では、まず我々が開発を行ってきたネットワークVRについて述べ、次に、実写画像を取り込んだメディアヒュージョンVRについて述べ、ネットワークVRをどのように拡張したかについて述べる。さらに、試作したシステムについて簡単に考察を行う。

2 ネットワークVR

まず、我々が開発を行ってきたネットワークVRシステムについて述べる。(図2参照)。本システムは、ネットワークの通信制御部のVRサーバと、ユーザ・インタフェース部のVRクライアントから構成される。図3に、LAN間接続したネットワークにおいてネットワークVRの実験を行った場合のシステム構成図を示す。

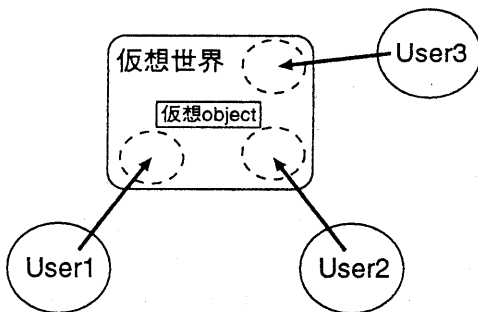


図1: VRを用いたコミュニケーション

個々のVRクライアントでは、ユーザの手の動きに対応して計算機内の3次元物体情報を更新し、グラフィックス表示を行う。各システムは、我々が開発したVRサーバ／クライアント方式で接続される。本方式は、スーパーサーバ／クライアント方式を応用した方式で、以下の特徴がある [3]。

1. 分散処理により、リアルタイムにインタラクティブ処理を行う。
2. 異なる処理速度のクライアントが接続されても、ネットワーク全体のスループットを低下させることはない。
3. 冗長な通信を防ぐために、VRサーバにおいて、データの種別によって通信の順序制御を行う。
4. 複数のユーザが同時に同一のデータを更新しないように、データのアクセスに関して排他制御を行う。

これらの特徴について詳細に述べる。

2.1 分散処理

ユーザが3次元物体の位置または形状などを変更しようとする、VRクライアントは、3次元物体情報のデータ更新要求を発行する。データ更新要求は、図4に示すように、データ更新コマンドの形で他のVRクライアントに通知される。データ更新コマンドとは、例えば、

OBJMOVE オブジェクトID マトリックス
OBJLINK オブジェクトID オブジェクトID

というように、コマンドの型とその引数からなるデータである。3次元形状情報の更新

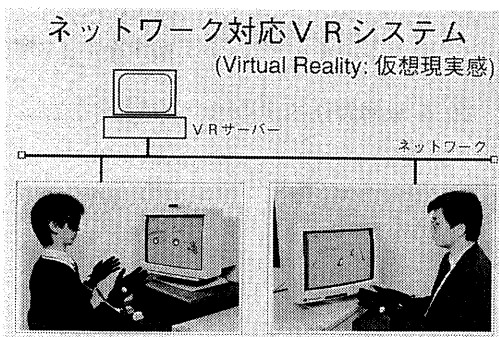


図2: ネットワークVR

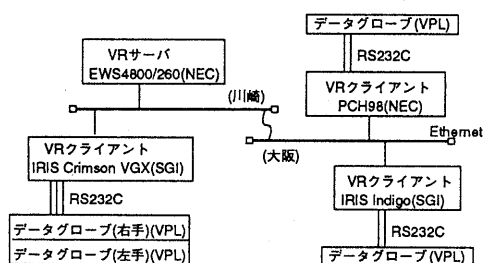


図3: ネットワークVR実験システム構成図

は、各VRクライアントでローカルに行われる。分散処理の特徴は、ユーザの3次元物体操作に対するフィードバックが、ネットワークを介さずにローカルデータを更新し、グラフィックス表示するので、ユーザ・インタラクティブ性が優れていることである。また、通信データ量が小さいデータ更新コマンドを通信するので、通信処理が高速であるメリットもある。

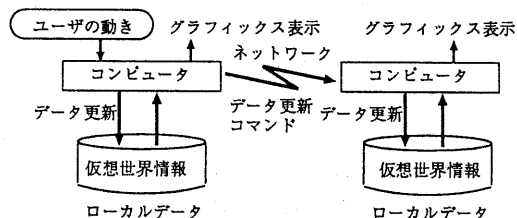


図4: 分散型仮想現実感システム

2.2 異機種接続

異なる種類の計算機間で通信を行う場合、処理が低速なマシンとの通信がブロックすることによって、ネットワークスループットが著しく低下する場合がある。VRサーバでは、この問題を回避するために各クライアントとの通信を独立したプロセスで行うようにしている。サーバは各クライアントから接続要求があると、各クライアントに対応した通信プロセスを起動し、通信プロセス間の通信には共有メモリを用いる (図5)。

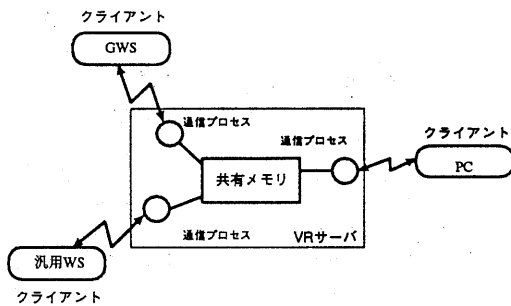


図 5: 異機種接続対応ネットワーク VR

2.3 順序制御

手の位置や指の曲げ具合のような情報は、常に最新のデータのみが参照されれば十分である。

一方、形状を変更する場合、物体の形状すべてを通信するのは、データ量が膨大になってしまうので、形状をどのように変更したかという情報を通信している。この場合、途中データが失われたり、順序が逆になったりすると、その情報は意味をなさなくなり、ローカルデータ間の整合性にも矛盾が生じる。このような情報はデータ欠損なく正しい順序で通信される必要がある。

本システムでは、VRサーバの共有メモリにおいて、常に最新のデータを保持する overwrite 型のバッファと、順次通信処理される FIFO 型のバッファを用意して、冗長な通信を排除している (図 6)。

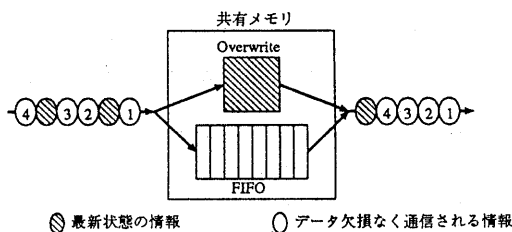


図 6: 2種類のバッファを用いた通信

2.4 排他制御

分散処理の場合、複数のユーザが同一の物体に対して、同時に位置または形状などを変更しようとする、各 VR クライアントのローカルデータ間の整合性に矛盾が生じる。そこで、VRサーバにおいて各物体に操作権を設定し、ユーザが物体を操作しようとする時、VRクライアントはVRサーバにその物体の操作権を要求する方式にした。VRサーバは、操作権の要求に対して、その物体の操作権がロックされているかどうか調べ、ロックされていなければ、操作権を許可し、要求クライアントから物体の操作権の解放があるまで、操作権をロックする。他のユーザが操作している物体の操作権を要求した場合、操作権はロックされているので、VRサーバは要求クライアントに不許可を通知する (図 7)。ネットワーク VR では、物体を持つとした時に、自動的に操作権が要求され、物体を手放すと自動的に操作権は解放される。つまり、ユーザは特に操作権を意識せずに、自動的に排他制御が行われる。

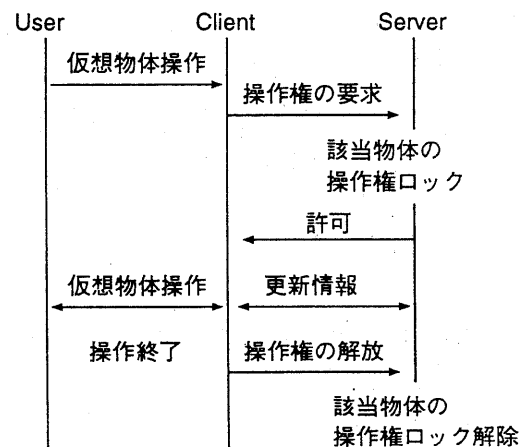


図 7: 仮想物体操作に関する手続きの流れ

3 メディアヒュージョン VR

次に、視覚的メディアに関し、従来の3次元CGと実写画像を融合するメディアヒュージョンについて述べる。まず、CGと実写画像を比較する。

視点 実写画像での視点は、カメラを動かせる範囲でのみ変更可能である。それに比べ、CGでの視点は、その位置だけでなく、視野、焦点(クリッピングなど)、拡大率などを、自由自在に変更することが可能である。

通信データ量 CGを用いると、3次元のモデルをどのように更新するかといった操作情報を通信するので、実写画像データに比べ、通信データ量を少なくすることが可能である。

画像生成時間 CGでリアルな画像を生成しようとする、多大な計算時間を要する。現在の最高速のグラフィックワークステーションを用いても、実写画像とほぼ同じ画像をリアルタイムに生成することは不可能であり、通常はかなり粗いCG画像を用いている。

モデル化 CGでは、実世界にあるすべてのものをモデル化する必要がある。つまり、形状、材質、位置姿勢などをすべての物体に関しデータ化するのだが、これはたいへんな手間を要する。

まとめると、以下の表のようになる。

	CG	実写
視点	自由	固定
通信データ量	少い	多い
画像生成時間	長	短
モデル化	要	不要

CGに不足するリアリティさ、実写画像に不足するインタラクティブ性を互いに補完するために、メディアヒュージョンが必要である。メディアヒュージョンの手法としては、現実の世界(実写画像)の中に、仮想物体をいれるようなクロマキー的な手法(実画像内へのCGの貼り込み)と、CGの世界の中に、実写画像を貼り込むテクスチャマッピング的な手法がある。

3.1 実写画像内へのCGの貼り込み

実写画像内にCGを入れる手法は、放送映像技術と関連して、クロマキーなどの画像処理技術として従来より研究されてきている。例えば、図9に示すようなシステムを構成することによって、好きな画像で、デザインした飛行機のモデルを飛ばすことが可能である(図8)。

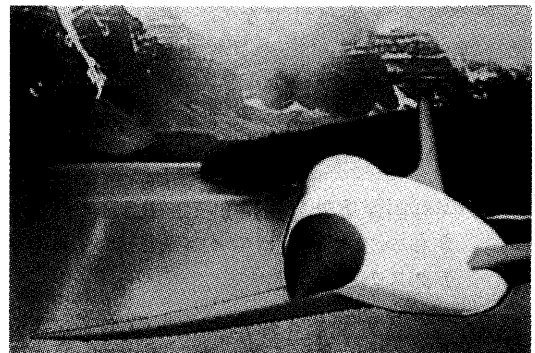


図 8: LD 画像に CG のモデルを貼り込んだ例

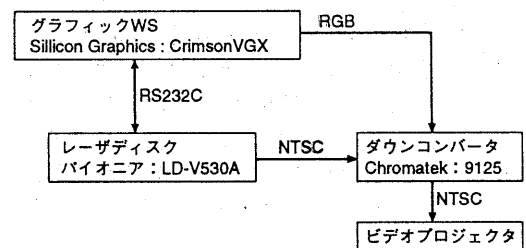


図 9: LD 画像と CG を合成するシステム構成

実際の VR の研究では、

- ビデオカメラを自由に Tele-operation して、好きな視点選べるようにする。[4]
- シースルー型ヘッドマウントディスプレイを用いる。
- 予め大量に画像を用意して、高速に検索する。

ような手法で、実画像とのインタラクティブ性を実現しようとしているが、現状では実画像を実時間で自由に操作することは困難である。

そこで、本システムでは次に述べる、CG

内への実写画像の貼り込む方法で、CGと実写画像の融合を試みた。

3.2 CG内への実写画像の貼り込み

CG内への実写画像を入れるためには、木目などの模様を3次元モデルの面上に貼り付けるテクスチャマッピングの手法を利用する。テクスチャマッピングは、CGをリアルに表現する効果だけでなく、3Dモデルのデータ量を削減したり、画像生成の時間を短縮する効果もある。

実写画像をテクスチャマッピングするには、次の手順が必要である。

1. 実写画像信号を変換して、RGBA要素をもつ2次元配列のイメージデータのテクスチャを定義する。
2. テクスチャと3次元モデルのオブジェクト(ポリゴン、線、点、文字列)との対応を指定して、描画する。

本システムでは、顔画像をCCDカメラで取り込み、3D面上にテクスチャマッピングすることで、複雑な顔モデルを使うことなく、リアルな顔をCG上に表現できるようにした。なおCCDカメラのビデオ信号の入力には、SGI社のビデオラボを用いた(図10)。



図 10: CGに実写画像をテクスチャした例

3.3 ネットワークVRにおける画像通信

ネットワークVRでは、通常の3D形状モデルの情報と同様にデータ更新コマンドとして、画像データをテクスチャの型で通信している。VRサーバでは、送られて来た顔画像を各クライアント毎のバッファに格納する。このバッファは、図6のOverwrite型のバッファに相当する。さらに、このバッファから他の各クライアントに画像が通信される。

また、画像データが有効かどうかを示すフラッグを設け、もし、このフラッグがオフならば、VRサーバから、他のクライアントに画像データは送信されない。

4 試作システム

本方式を用いて、協調して3次元形状デザインを行うことができるシステムを試作した。

デザイン作業では、ユーザの動きに対応して、仮想物体の把持、移動、組み立て、分解、簡単な変形、色変更などの計算機内の仮想世界情報の更新を行い、グラフィックス表示を行う。図11は、VRクライアントにおいて、自分が仮想作業空間に入り込んで、都市設計をしているところである。

本システムの描画頻度を図11を表示状態で測定したところ、約2フレーム/秒であった。メディアヒュージョンを導入しない場合は約10フレーム/秒であるのに比べ、十分な描画速度を得ることができていない。そのため、現状では十分な操作性を得ていない。描画速度を改善することによって、さらに臨場感を向上させることが期待できる。

次に、本システムを実現した場合のネットワーク通信量について述べる。本システムで通信する主なデータには次のようなものがある。ただし、更新する物体(オブジェクト)の数をn個とする。

データ種別	データ内容	データ量(byte)
移動回転	ObjectID+Matrix...	8+68×n
接続情報	ObjectID+long 配列...	8+(4+4×n)×n
色情報	ObjectID+long	8+4+4
ビデオデータ	long 配列	8+4096

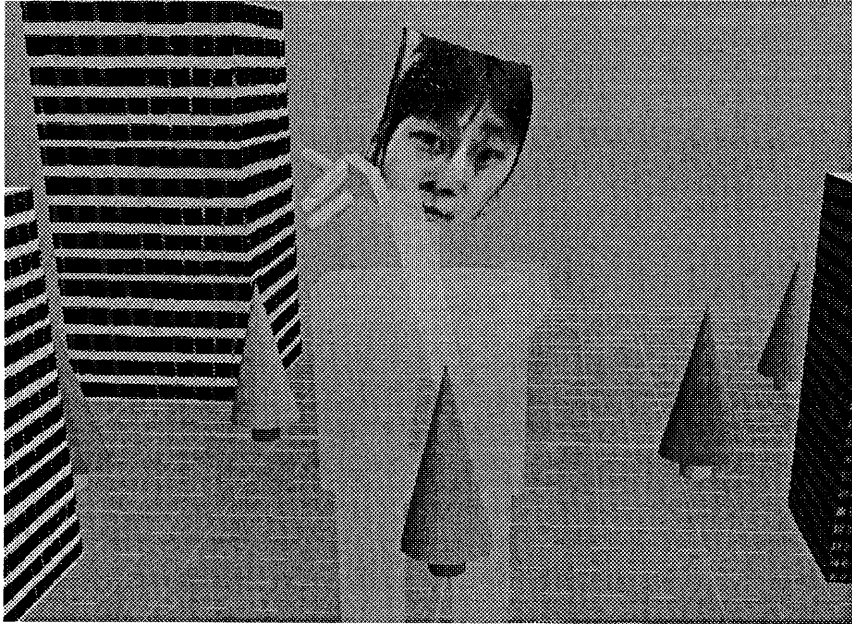


図 11: デザイン例：都市設計の作業

ネットワーク通信量は、作業の種類、仮想世界のオブジェクト数、仮想世界の更新頻度によって異なってくる。通常は、ユーザの移動情報が主に通信され、この場合、約 10kbps の通信容量で十分である。しかし、ビデオデータを含んで図 11 に示す作業を行う場合、約 400kbps の通信容量が必要となる。この場合でも、かなり低解像度の画像を通信しており、今後、高解像度の画像を通信するには、画像データの圧縮等の技術を導入する必要がある。

5 おわりに

仮想現実感にネットワーク機能を拡張することによって、計算機の作り出す人工的な作業空間を分散したユーザが共有し、協調作業を行うネットワーク VR システムについて述べ、さらに臨場感を向上させる手法としてメディアヒュージョンに言及した。今後の課題として、処理の高速化、画像の圧縮(符号化)、実写画像のインタラクティブ性などについて、研究を進める予定である。

文献

- [1] 例えば、館, 廣瀬他: パーチャル・テック・ラボ, 工業調査会, 1992
- [2] 篠原他: 仮想現実感のネットワーク化, 情報マルチメディアと分散処理研究会, 1992.5
- [3] 中村, 篠原: ネットワーク対応仮想現実感システムにおける通信制御方式, 1992 年電子情報通信学会秋期大会論文集
- [4] S.Tachi, H.Arai, T.Maeda: Development of anthropomorphic tele-existence slave robot, Proc. of Inter. Conf. on Advanced Mech.