

仮想現実感のネットワーク化

篠原克也、平池龍一、中村暢達
NEC C&C システム研究所

ワークステーションが作り出す人工的な仮想世界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、リアルタイムで共同作業を行なうことが出来るネットワーク対応仮想現実感システムについて述べる。主な特長は次の3点である。1) 各参加者のワークステーションが同じ内容の仮想世界情報を持つ。参加者の操作に伴い仮想世界が変化した場合はワークステーション間で通信を行なって、仮想世界の同一性を保つ。2) ワークステーション間の通信を行なう処理は、他の処理(例; 形状変更、表示)とは独立に行なう。これにより、処理速度の劣るワークステーションがネットワークにつながれても、全体のスループットを下げる恐れがなくなる。3) 同一操作対象への同時アクセスを排他的に制御するオブジェクト管理サーバをネットワーク上に設けている。方式評価のために試作したオセロゲームシステムと共同設計支援システムについても述べる。

Virtual Reality System for Network Communication

Katsuya Shinohara, Ryuichi Hiraike and Nobutatu Nakamura
C&C Systems Research Laboratories., NEC Corporation

A system which links virtual reality technology with network communications has been developed. It supports real-time joint operations in a virtual world by a number of users separated at distance from one another. The main features are followings: 1) Each workstation in this system has an identical virtual world. Each user interacts with a virtual object in the virtual world at his/her workstation, and his actions and its results are transmitted to the other workstations; 2) Communications among workstations are carried out independently to other processing; and 3) An Object Management Server in the system avoids collision of object access.

1 はじめに

近年、ワークステーションが作り出す仮想的な3次元世界のなかに入り込んで、歩き回ったり、そこにある仮想的な物体に触れるなど、様々な疑似体験を可能とする仮想現実感 (Virtual Reality, 以降 VR と記す)¹の技術が注目を浴びている。特に3次元的な物体を扱うような分野では、従来のキーボードやマウスといった機器では煩わしい操作が必要であった3次元形状操作にVR技術を応用することにより、より自然な動作で容易に3次元形状を扱うことが出来るダイレクトハンドリングが注目され研究が進められている。

また、このVR技術を通信と結び付けて、遠隔地にいる人間との間で行なう臨場感通信や遠隔地のロボットやカメラを操作してあたかも、そこにいるかのような環境を作り出すテレ・プレゼンスの研究も盛んに行なわれている。

我々は、3次元形状操作と通信を結び付け、遠隔地間で共同で3次元形状操作を行なう研究を行ない、プロトタイプを開発した。このシステムを用いると遠く離れた者同士が同一の仮想世界の中で仮想的な物体を対象に変形・移動といった様々な共同作業を行なうことができるようになる。

ネットワークを経由して共同作業を行なう際に問題になるのが同一操作対象へのアクセスの排他制御である [1]。本システムではこれを解決するためにVR世界内の仮想物体の操作権を制御するオブジェクト管理サーバをネットワーク上に設けた。

本資料ではオブジェクト管理サーバの制御方式を中心にVRのネットワーク対応化方式について述べる。

2 仮想現実感のネットワーク化

仮想現実感 (VR) の概要を図1に示す。ワークステーション (以降、WS と記す) は3次元仮想世界の情報を持つ。ここで仮想世界の情報とは、世界に含まれる仮想的な物体の形、位置、姿勢、色の情報、さらに、操作者自身の形や位置、姿勢、色の情報である。

WSは操作者の手などに取り付けられたセンサーから操作者の手の位置や方向などの情報を随時取り入れ、操作者の動きを仮想世界の中に反映させる。一方、立体表示などにより仮想世界の情報を実時間で操作者に呈示し、操作者自身があたかも仮想世界の中にいるかのような感覚を与える。

仮想世界をネットワークで結合された複数のWSで共有すると、離れた地点にいる操作者たちが共同で作業を行なうことが可能になる。例えば次のような手順で遠隔地のデザイナーAとBが同一の仮想世界を介して共同でデザインをすることが考えられる。[図2] (1) まず、デザイナーが既成の3次元設計支援システム (3D-CAD) を用いてラフな設計を行ない、その形状を仮想物体として仮想世界の中に持ち込む。(2) デザイナーBがその仮想物体を手

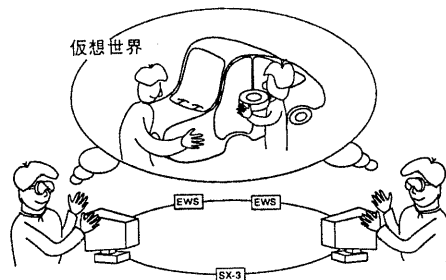


図1: 仮想現実感 (VR) システム

とり、任意の方向から眺めて修正 (変形) を施す。(3) デザイナーBはAにその仮想物体を手渡し、検討・再設計を促す。

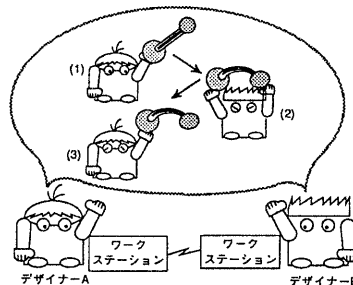


図2: 共同作業の例

2.1 仮想世界の共有

共同作業を行うには仮想空間を共有する必要がある。

この実現には仮想世界の情報を一台のWSだけで持つ方式が考えられる。この方式では、このWSが、1) 他のWSから操作者情報を受けとり、2) 仮想世界に反映させ、3) その結果をグラフィックスにして他WSに送る。しかしながら、この方式では3)のグラフィックスデータの伝送量が多くなるため実時間の操作が不可能になるという問題がある。

そこで我々は各WS毎に仮想世界情報を持たせ、WS間で仮想空間の情報、すなわち仮想手の位置や仮想物体の形状などの仮想世界に関する記述を通信しあう方式を開発した。この際、仮想世界に関する全記述を常時交換し合うのではなく、作業開始時に全記述を交換した後は変更部分のデータのみを適宜交換することにより、効率的にデータ交換を行う。交換すべきデータは、(1)手の位置/姿勢、(2)物体の位置(移動量)および物体相互の接続関係、(3)物体の形状(変形量)、を想定している。この様に仮想世界情報

¹人工現実感 (Artificial Reality) ともいう

を各WSが持つことによりVRにとって最も重要な実時間性を実現した。[3]

2.2 仮想世界情報の同一性の保持

異なるWS間で仮想世界情報の同一性を維持するためには、大きく次の四つの処理機能が必要である。

1. 仮想世界変更データの送受信
2. 変更データに基づく仮想世界の更新
3. 仮想作業空間のグラフィックス表示
4. 同一物体へのアクセスの制御

以上の処理のうち、1の送受信処理が実時間性の要求される処理である。一方、2の仮想世界更新と3のグラフィックス処理は通常膨大な計算量を必要とする処理である。仮想世界の更新処理では自由曲面を対象としているために物体の変形が生じたときの処理量は大きい。また、グラフィックス処理ではWSによりグラフィックス性能が大きく異なり、グラフィックス性能がおとる汎用WSでは高品位な3次元グラフィックス表示に多大な処理時間を要する。

一般に、ネットワークに結合されたWS間には、CPU性能やグラフィックス性能に大きな差がある。従って、ネットワーク上で異機種WSを用いて共同作業を円滑に進めていくために、これらの性能差をうまく吸収してやらねばならない。そこで、次のような方策をとった。

通信処理の非同期化

1のデータ送受信を2のデータ更新や3の表示とは非同期で、つまりこれらの処理の終了を待たずに動作させる。これにより処理の遅いWSでも実時間でデータの受信ができるため、他のWSを待たせることがなくなる。

更新データの送受信と仮想世界記述の更新を非同期に実行すると、1回更新する間に複数のデータが受信される可能性がある。このため複数の更新データをまとめて仮想世界記述に反映させる必要がある。具体的には仮想物体の移動(位置更新)時にはその物体の最終位置を、また変形(形状更新)時には局所毎の最終的な変形状態を採用する。

グラフィックス性能差の吸収

WSのグラフィックス性能は、ポリゴン描画速度、同時表示色数、ウィンドウシステム、グラフィックスライブラリ等、機種やグレードによって異なる。これに対処するために、WS毎に適した表示処理を行っている。例えば、グラフィックスWSではシェーディングを施した高品位表示を行うのに対して、パソコンあるいは汎用WSではワイヤフレームによる簡易表示を行うという方法である。

さらに、3次元物体の形状を詳細に表示するのではなく、識別可能なシンボルとして表示することも行なっている。

図3は2台のWSでオセロゲームを行なっている例である。(a)では高品位表示を行なっており、操作者の手が手前に、対局者の手が向こう側にシェーディングで施されて表示されている。操作者や対局者が手を動かしたり傾けたり指を曲げたりすると、表示の手の指も同時に変化する。一方(b)では簡易表示を行なっており、手はシンボルとして表示されている。操作者や対局者の手の動きに合わせてシンボルの手も移動するが、掌を傾けたり指の曲げたりしても表示には反映されない。

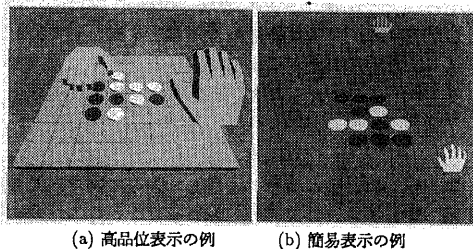


図3: オセロゲームの高品位表示と簡易表示

同一物体へのアクセスの制御

複数の操作者が同時に同一の仮想物体を操作することを避けるために、ネットワーク上にオブジェクト管理サーバを設け、各仮想物体毎の操作権の管理を行なわる。

操作権は早い者勝ち方式を採用している。操作者が仮想物体を操作しようとする時、その申請がオブジェクト管理サーバに伝えられる。仮想物体の操作権が既に他の操作者に与えられている場合は、申請は拒否せられ、それ以外の場合は申請が受理されて操作権が与えられる。

3 インプリメンテーション

上記のネットワーク化手法の評価のために、次の二つの評価システムを作成し有効性を検証した。

1. オセロゲーム
2. 共同設計作業

3.1 オセロゲーム

オセロゲームは次のような特徴を持つ。

- 駒と盤面を使う。

仮想世界は、円盤状の駒と盤面、二人の競技者の手だけから構成されるものとした。このうち盤面は移動しないため、その情報を随時交換する必要はない。この

ため、随時情報交換の対象となるのは駒と手だけである。

またゲームの進行にあたって参加者に必要な情報は盤面上の駒の配置だけである。このため必ずしも高品位のグラフィックスを必要とせず、簡易な表示でも構わない。このため評価システムでは、高速グラフィックス WS と汎用 WS をネットワークでつないで競技している。

- 競技者の操作は駒を置くだけである。

仮想世界に対する競技者の操作は手を動かして駒を置くことだけである。これを実現するために、競技者の手の動きに合わせて駒を移動させ、駒を盤面に置くと手を離れて盤面に残されて手だけが移動するようにした。

駒が置かれた後、ルールに従って味方の駒で挟まれた敵の駒は裏返されて味方の駒となるが、これは競技者による操作ではなく、仮想世界自身が持つルールにより自律的に変化するものと考えられる。このため、この裏返し処理は相互通信の対象とする必要はない。

- 競技者は交互に指す。

二人の競技者が同時に駒を指すことはない。一方の競技者(指し手)が駒を置こうと手を動かしている間は、もう一方の競技者は自らの手を動かすことはできず、駒や盤面は動かすことはできず、見ているだけである。このため、オブジェクト管理サーバは不要である。

新たな駒を動かす権利は、指し手が駒を盤面に置くことにより相手側に自動的に渡るとすることができる。

機器環境

米 Silicon Graphics 社製グラフィックワークステーション IRIS-4D と NEC 製汎用ワークステーション EWS4800 との間でオセロゲームをインプリメントし、基本機能の確認を行なった(図3)。WS 間はイーサネットに接続し、UNIX のソケット機構を用いたプロセス間通信を行なう。IRIS 上では高品位なシェーディング表示を、EWS4800 上では駒はシェーディング表示、盤は枠を線画で、手は表示書き換え頻度が高いためシンボル表示を行っている。また入力機器として、IRIS ではデータグローブを、EWS4800 ではマウスを用いた。

3.2 共同設計作業

自動車の形を複数(二人)のデザイナーが共同でデザインする作業を例とした評価システムを作成した。

この評価システムでは二人の操作者の両手(計4本)が共通仮想世界に入り込み、一台の車を対象として、(1)形の変更、(2)色の変更、(3)部品(タイヤ)の取り付けを行なっている(図4)。^[2]

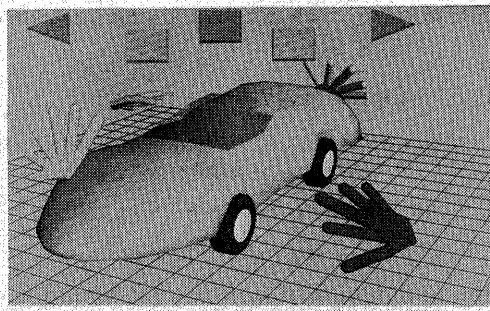


図4: 共有仮想世界

- 形の変更

通常のクレイモデルを扱うのと同様に、自分の(仮想)手に取り付けたヘラでもって、粘土細工のように自動車の形を変えていくというダイレクトハンドリングを行なっている。図5はヘラでもって車体を切断しているところである。

変形の際、操作者はもう一方の手で自動車を掴んでいる。この‘掴む’行為によってオブジェクト管理サーバに対して自動車に対する操作権を申請する。操作権が認められると操作者の手の動きにあわせて自動車が動き、さらにヘラによる変形を加えることが可能になる。

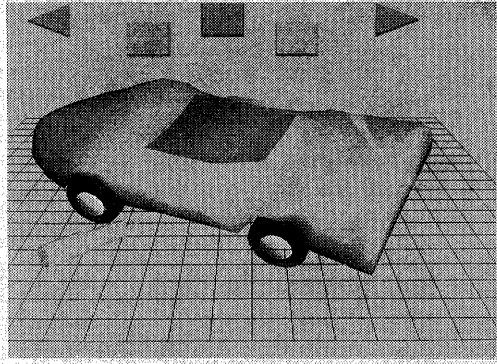
自動車の形は B-spline 自由曲面モデル [4] を用いて表しており、デザイナーによる変形作業は、自動車の形状記述の変更として、仮想世界の中に反映される。B-spline 自由曲面モデルの大きな特長である局所制御性により形状の部分的な変形は、形状記述内の一部のデータの変更により表され、全体的なデータ変更を伴わない。このため変形データを他の WS に通知するにあたっては、この変更部分のデータだけを送れば十分である。

- 色の変更

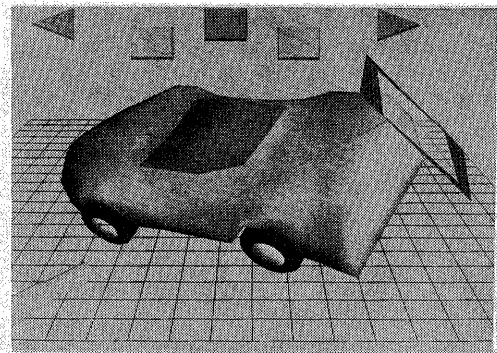
仮想世界内に出したカラーリングの穴に色を変えようとする対象仮想物体を置き、カラーリングのリング面の色を指し示すとそれにあわせて仮想物体の色が変化する。図6は画面の中の上の真中のボタンを押してカラーリングを出したところである。

色変更情報は色コードデータとしてオブジェクト管理サーバに送られ、他の WS に連絡される。

カラーリングは操作者のローカルな操作ツールとして扱い、他の WS 内の仮想世界情報には影響を与えず、表示されることもない。これは、共同作業の対象である自動車等の仮想物体は共有されるべき情報であるの



(a) 変形 (切断) 前
左下のポインターが指す車体後部に
切断用のヘラが入り込んでいる。



(b) 変形後
ヘラが閉じられ車体後部が切断される。

図 5: 変形操作

に対して、各操作者の操作を補助するツールは共有する必要がないためである。このため、操作者は自分のWSの能力等に合わせたカラーリング以外のツールを作成し、他の(カラーリングを使っている)操作者と支障なく共同作業を行なうことができる。

- 部品(タイヤ)の取り付け

タイヤ等の部品は部品箱の中から取り出す。図7は画面上方の両脇のボタンを押してタイヤボックスと予備の車体を格納している箱を開いたところである。

このタイヤボックスを始めとする部品箱もカラーリングと同様にローカルな仮想物体である。操作者は各自で設計した部品を自分の部品箱に入れて共同作業に参加し、必要に応じて部品箱から取り出す。

部品箱から部品を取り出すと、その仮想物体はローカルなものから共有仮想物体になる。このために、WS

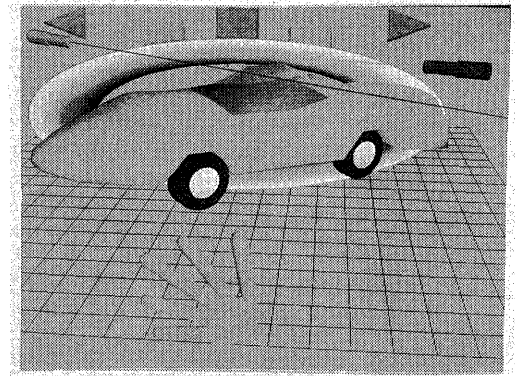


図 6: 色の変更

からオブジェクト管理サーバにこの仮想物体の情報が送られ、他のWSに配送される。この際、オブジェクト管理サーバとWSの間で仮想物体の(形状を含む)データが通信される。

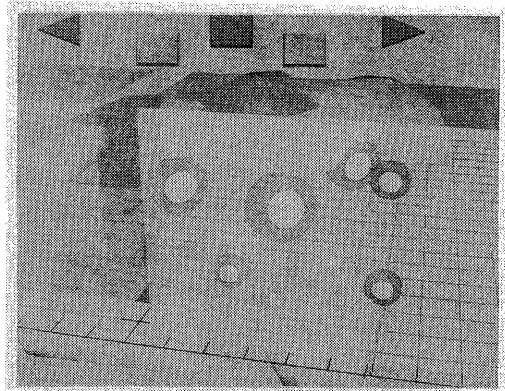


図 7: 部品箱

オブジェクト管理サーバ

本評価システムではオブジェクト管理サーバはつぎのような働きをしている。

- 共有する仮想物体の初期設定

1. 共通の仮想世界に参加しようとする参加者は、参加に先だって、共通の仮想世界に持ち込む仮想物体の情報(初期形状、初期位置)をオブジェクト管理サーバに登録する。
2. オブジェクト管理サーバは各参加者から寄せられた仮想物体に識別子を付加して各参加者のWSに配送する。

3. 各参加者の WS は配送された仮想物体を自身の VR 世界記述に加える。これにより各 WS は同一の仮想世界を持つ。
4. 共同作業の途中で操作者が自分の部品箱から仮想物体を取り出した場合も、上と同様にして各 WS に配送する。

- 操作権の割り当て

1. WS において参加者が物体を掴む動作をとると、WS はオブジェクト管理サーバーにその旨を通知する。
2. オブジェクト管理サーバーは掴まれようとしている仮想物体の操作権が既に他の操作者が所有していないか否かを判定し、その結果を掴もうとしている WS に通知する。他の操作者が操作権を持っていない場合は、その操作者が操作権を持つ、と変更する。
3. 通知を受けた WS は、操作権が受諾された場合は、以後操作者がその仮想物体を離すまで手の移動に合わせて仮想物体を動かす(以降、この WS を操作 WS と呼ぶ)。操作権が拒否された場合は手を動かしても仮想物体は動かない。
4. 操作 WS が手を離すと、その旨オブジェクト管理サーバーに通知する。
5. オブジェクト管理サーバーは仮想物体の操作権をフリーにする。

- 物体移動・変形情報の通知

1. 操作 WS で手を移動すると、それに合わせて仮想物体を移動・変形し、同時にオブジェクト管理サーバーに対してその仮想物体を移動させた距離、もしくは変形データを通知する。
2. オブジェクト管理サーバーは操作 WS 以外の WS に対して、当該仮想物体の移動・変形情報を配送する。
3. 他の WS は配送された移動・変形情報に従って、仮想物体を移動、もしくは変形させる。

上のようにすることにより、操作 WS ではオブジェクト管理サーバーとの通信を行なう前に操作対象の仮想物体を移動・変形することが出来る。これにより操作 WS の操作者には、自分の行為(手を動かす)とその結果の表示との間に入る時間遅れが短くなり、現実感を損なうことなく操作を行なうことが可能になる。

機器環境

2 台の IRIS の各々に 1 対のデータグループを取り付けて操作者用のワークステーションとして、また EWS4800 をオブジェクト管理サーバとして用いた。オセロゲームと同様に、これらの WS をイーサネットで接続し、UNIX のソケット機構を用いたプロセス間通信を行なった。

本実験では 2 台の操作 WS を用いたが上の方式自体は 3 台以上の操作 WS でも対処できる。

4 まとめ

仮想現実感が作り出す仮想世界の情報をネットワークでつながれた複数の WS の間で交換し、あたかも同一の仮想世界を共有しているかのように、仮想世界での共同作業を可能にする方式について述べた。

共有する仮想世界において同一の仮想物体へのアクセスの制限にはネットワーク上に設置されたオブジェクト管理サーバによる制御を行なった。通常、このような管理サーバを設置すると、実際に操作を行なう操作ワークステーションと管理サーバとの通信がボトルネックとなって、処理の実時間性が損なわれ、操作性が著しく低下する原因となる恐れがある。これを防ぐため本方式では実際に操作を行なっている WS では対象となっている仮想物体の移動・変形においては、管理サーバへの通信以前にローカルな仮想世界記述に反映させ表示させることとした。このため、操作と結果の間の時間おくれが短くなり操作性の低下を防ぐことができた。

このようなシステムの応用としては、例えば、全国に開発拠点が分散した製品開発における共同設計・プレゼンテーションといったものや、初心者と熟練者が同一仮想世界に入り込んでの体験型の教育訓練などが考えられる。

最後に、本研究の機会を与えて頂いた当社 石黒文配人ならびに C&C システム研究所 山本所長に深謝致します。また本研究を進める上で有益な御意見・御指導を頂いたタミナルシステム研究部 西谷部長ならびに川越課長に感謝致します。

参考文献

- [1] 阪田: マルチメディア分散在席会議システム, 情報グラフィックスと CAD シンポジウム, '90.11
- [2] 平池, 篠原: 仮想作業空間における 3 次元形状操作ツールの実現, 情報処理学会人間インタフェース研究会, '92.5
- [3] 篠原: 仮想作業空間における 3 次元形状操作, 情報処理学会九州シンポジウム, '91.12
- [4] 橋本, 篠原: 階層型 B-スプライン曲面 Proportional HB-spline, 情報処理学会全国大会, '91.10