

仮想空間を利用した協調作業環境について

竹村治雄, 岸野文郎

ATR通信システム研究所

コンピュータグラフィックスを用いて人工的あるいは仮想的な環境（人工現実，仮想現実）を実時間で生成し各種ユーザインタフェースと組み合わせることで，この環境内で遠隔操作，通信，シミュレーション等を行うことができる．筆者らは，通信会議の将来の形態として，このような環境を用いて複数の対地に分散する会議参加者があたかも一堂に会しているかの感覚で，より円滑に意志疎通を行える通信システム（臨場感通信会議）に関する研究のうち，この会議の場（仮想空間）で種々の作業を実空間と同じような感覚であるいはそれ以上に効率よく実施するためのユーザインタフェースの諸問題について研究を進めている．本報告では，仮想空間を通信会議参加者に共通な作業空間とみなして，この空間を利用する協調作業を実現場合の実現方法について考察し，実際に試作した環境の構成，処理の方法などについて述べる．

Cooperative Work Environment Using Virtual Workspace

Haruo TAKEMURA, Fumio KISHINO

ATR Communication Systems Research Laboratories

Inuidani, Sanpeidani, Seika-cho, Soraku, KYOTO 619-02, Japan

Virtual environment, which is created by computer graphics and an appropriate user interface, can be used in many application fields, such as, teleoperation, communication and real time simulation. In this report, cooperative work environment using virtual environment, where more than two people can solve problems cooperatively with shared environment, are proposed. Especially, the design policy of the environment and its implementations are described.

1. まえがき

最近のコンピュータグラフィックス関連の技術の発展にともない、これを用いて人工的あるいは仮想的な環境（人工現実、仮想現実）を実時間で生成し各種ユーザインタフェースと組み合わせることで、この環境内で遠隔操作、通信、シミュレーション等を行う研究が注目を集めている。筆者らも通信会議の将来の一形態として、このような環境を用いて複数の対地に分散する会議参加者があたかも一堂に会しているかの感覚で、より円滑に意志疎通を行える通信システムに関して研究を進めている[1]。また、この会議の場（仮想空間）で種々の作業を実空間と同じような感覚であるいはそれ以上に効率よく実施するためのユーザインタフェースの諸問題について検討を行っている[2]。本報告では、仮想空間を通信会議参加者に共通な作業空間とみなして、この空間を利用した協調作業の実現について述べる。

2. 仮想空間操作環境

筆者らは、操作性評価等を目的として図1に示されるような構成の仮想空間操作環境を構築している。この環境ではCGによる会議室風景が70インチの大型スクリーン上に視点追従型両眼立体視像として実時間で生成表示される。図2は、試作された環境で立体視表示される画像を直接手でつかんで操作している写真である。視点追従型立体視表示を用い利用者の視点位置をもとに透視投影変換像を画面上に表示している。視点位置は立体視用の液晶シャッター眼鏡にとりつけた6次元磁気センサのデータをもとにおおよその両眼位置を推計して求めている。従って、単に奥行き感のある表示を提示できるだけでなく運動視差のある立体形状の歪の少ない画像が表示される。大型スクリーンはCGにより生成される仮想的な環境を観察する窓の働きをする。利用者とスクリーンの四隅を結ぶ四角錐の内側がスクリーンより手前の部分での仮想物体を立体表示可能な空間である。70インチの投影面を1m程度の視距離で観察することで70度の視野角を得ると同時に利用者3

0cm前方で横40cm縦30cm程度の範囲が、60cm前方で横80cm縦60cm程度の範囲でそれぞれ立体視が可能である。この範囲は従来の直視型CRTを用いた立体視表示に比べて十分大きい。また、画像の品質も頭部搭載型表示装置のように装置の大きさによる制約を受けないため、比較的高品質のものが容易に実現できる。表1に他の立体視表示方式との比較を示す。

本システムでは、利用者は立体眼鏡を装着し立体視表示される物体をデータグローブを装着した手で直接つかんで、移動、回転などの操作を行うことができる。画面上に特別なカーソル、CGによる手の画像などは表示していない。利用者自身の手を操作対象物の見える位置に差し出し手を握ることで操作対象が決定される。操作対象の決定は対象物体内の一点と掌の中心との距離、対象物の大きさおよび手形状をもとに決定される。手形状の認識はあらかじめ指関節の角度により定義された手の形状記述と状態遷移ルールにより行われる。表示画像は視点検出により正しい3次元位置に提示されているため実空間内の物体（利用者の手など）と表示画像の位置関係が常に正しく表わされている。そのため本構成のように提示画像が見える位置に手を差し伸べてつかむ操作が可能である。3次元カーソルなど間接的な指示子を用いて対象物を指定する手法と比較すると、本方式ではあらかじめカーソルを制御する装置とカーソルとの関連を学習する必要がなく、直接的な感覚での操作が可能である。また、この操作は通常我々が実際に行っている動作とほぼ同じであり操作の習熟が容易である。操作対象が決定されるとその操作対象と操作者の手の動きが連動されることにより対象が操作可能となる。また、移動や回転を行った後に手を開く動作により連動が解除される。試作環境では簡単なシミュレーションとして操作対象を質点とみなした場合の無重力下での振り舞いを観察することが可能である。試作環境が認識するジェスチャの形態とジェスチャ間の遷移関係を図3に示す。また、本システムの処理の概要を図4に示す。

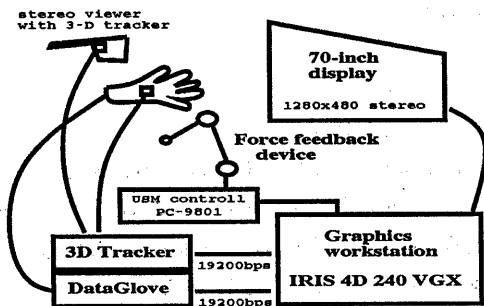


図1. 仮想操作環境の構成

表1. 表示方式と投影パラメタ等の関連

表示方式	視点	投影面	透視変換	像歪	操作領域	視野	画像品質
視点固定型小型表示面	固定	固定	固定	有	小	狭	優
視点追従型小型表示面	移動	固定	可変	無	小	狭	優
視点追従型大型表示面	移動	固定	可変	無	中	広	良
頭部搭載型表示装置	移動	移動	固定	無	大	広	可

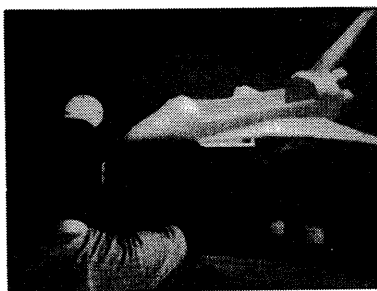
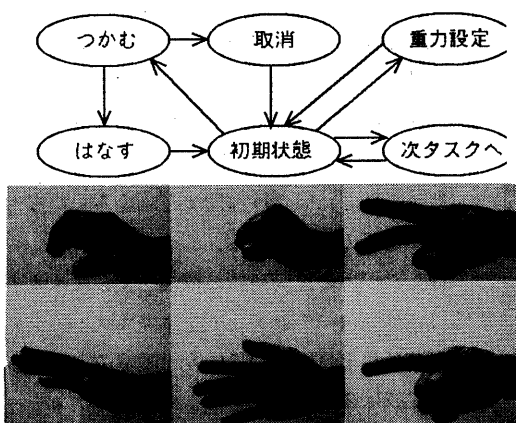


図2. 仮想空間操作の例



(a)つかむ (b)キャンセル (c)重力設定
(d)はなす (e)初期状態 (f)次タスクへ移動

図3. 認識される手形状と状態の遷移

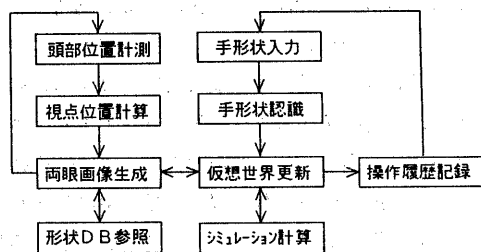


図4. 仮想操作環境の処理の概要

試作した環境で操作実験を行った結果、視覚的には違和感の少ない操作感が得られた。しかし、対象を捕捉したことへのフィードバックが視覚のみの場合、

- (1) 捕捉は対象物を移動または回転してはじめて確認されるため、利用者がこの確認手法を学習しなければならない。
- (2) 離す動作に対しては何のフィードバックも与えられない。このため、実際に対象物を捕捉している状態にもかかわらず離れたつもりで次の操作を行い誤操作を生じる。

などが明らかになった。これは、つかんだかどうかの判断が「対象を操作してみる」という能動的動作でしか確認できないための欠点である。従って、受動的な確認手段を提供することでこれらの問題は解決できる。その一方法としてトルク制御型超音波モータを用いた3関節腕機構を用いた力フィードバック装置を試作して利用している[4]。データグローブとこの装置の腕先端を結合し、操作対象をつかんだ場合、腕機構を駆動して手に対して対象の重さに相当する力を加えることで受動的な確認が可能である。同時に対象の重さを表現することが可能である。そのほか表2に示すような力フィードバックによる操作の補助を現在検討している。

「ロック型」の力フィードバックは操作対象に近付いた場合に腕先端をその方向へ誘導することにより捕捉を助けるものである。これは、それぞれの関節のモータに所定の回転トルクを発生させることで実現した。「境界表示1」は、仮想環境で侵入を禁止するような領域を設けてある場合に、

そこへの侵入を操作者に気付かせると同時に、その領域からの離脱を助ける力を発生するものである。これは、通常は腕先端を自由に動かし、領域内では腕先端を領域外へ移動させる力をモータに発生させて実現した。「境界表示2」は腕先端が境界面付近に存在しない場合には自由に動かし、境界面付近にある場合にモータを制御し腕の移動に抵抗力を生じさせて実現した。操作者は、腕先端が境界面を通過する際にクリックを感じることができる。「領域表示」は腕先端が所定の領域内では腕先端の移動への抵抗力を先端位置に応じて変化させることで、操作者が腕先端部を移動させる場合に振動を感じるようにしたものである。これらのうち「境界表示2」や「領域表示」ではトルク制御型超音波モータの保持トルクを自由に制御できる特徴を活かした制御方式を用いており、他の駆動素子を用いた場合より制御が簡単になっている。

表2. 発生させた力フィードバックの種類

名称	制御内容	目的
ロック型	腕の先端をある点に動かす力を発生	物体の捕捉の補助
境界表示1	境界面に垂直な方向に力を発生	境界の表示 侵入の防止
境界表示2	境界面でブレーキ力を発生	境界の表示
領域表示	領域内で振動を発生	領域内の表示
重量表示	操作物体の重さに相応する力を発生	物体の捕捉の確認

この他に音による聴覚的なフィードバックや操作対象の色を変化させるなどの視覚的なフィードバックを用いても、仮想操作環境で操作性を改善できると考えられる。力以外のフィードバックを用いる利点は、画像処理などを用いた非接触による手形状認識手法が利用できる点である。現在、データグローブに変わる手形状入力手法として、2台のTVカメラを用いたステレオ計測で操作者の指先位置を実時間計測する手法についても検討を行っている[5]。また、立体視眼鏡の不要なレンティキュラースクリーンを用いた表示についても

検討を行っている。

3. 協調作業環境

3.1 適用領域

前節に述べた仮想空間操作は、遠隔操作、景観設計、意匠設計、プラントの制御など多くの情報を視認性良く表示することが求められる場面でのユーザインタフェースなどへの応用が考えられる。また、複数の利用者が協調して作業を行える環境を提供することで利用価値をさらに高めることができる。ワークステーションの普及にともない、複数の利用者がネットワークを利用して共同して問題解決するCSCWやグループウェアの研究が行われている[3]。CSCWが、従来のアプリケーションの概念の枠内を起点として拡張をめざすのに対して、本研究は仮想作業環境を起点として空間共有の概念を導入するものである。仮想操作環境で協調作業を実現することで、従来のアプリケーションの枠にとらわれない柔軟で高度な共同作業空間の構築が可能となろう。

3.2 協調作業環境の構築

仮想空間を利用した協調作業環境を実現するために図1に示されている構成の装置を2台用いて2者間で協調作業の行える環境を試作した。複数の参加者が行う協調作業の例として当面、都市の景観設計、オフィスの什器配置などのレイアウト設計問題を取り上げることとした。これは、これらの作業が通常二次元平面図上での作業からは、最終状態の理解が困難で仮想空間での作業向きであること、建物の移動、配置を中心とした作業となり既に試作した仮想操作環境と馴染み易い操作であること等の理由による。

試作した環境の共有空間の構成を図5に示す。本環境では2台の70インチ立体視スクリーンを利用してそれぞれの利用者に仮想環境を表示する。画像の生成は2台のグラフィックスワークステーションを用いて行う。通信はワークステーション間をEthernetで接続しTCP/IPを用いて行う。また、それぞれの利用者には操作のためのデータグロー

ブと立体視表示のための液晶シャット眼鏡を装着する。提示される3次元空間内では図4に示されるように共通の操作対象が表示されそれに対して操作を行う。また、相手の動向が確認できるように操作相手の頭と手の位置を示すCG画像も表示可能である。音声の通信もこのような環境では重要な研究課題であるが、ここでは通常の構内電話回線を利用した。利用者はヘッドセットを用いてハンズ・フリーでお互いに会話を行える。

図6に本環境の処理の構成を示す。仮想空間に表示される物体の形状はCG表示を高速に行うため各サイトに物体形状データベース(3D Shape DB)を用意した。また、仮想空間中の物体の位置、相互関係(物体が関節を持つ場合など)を記述したデータベース(Virtual World DB)も各サイトに同じものが用意されている。3D Shape DBは現状では参照のみが許されている。画像の生成は各サイトで取得した利用者の頭部の位置データ(HPD)をもとにVirtual World DBと3D shape DB参照して生成される。同時にHPDは手形状データ(HSD)と共に他のサイトと仮想世界管理部(VWDBM)へ伝達される。VWDBMでは各サイトから送られたHPDとあらかじめ定められたジェスチャ定義、Virtual World DBのマスタをもと仮想世界に対して状態の変化を起こす操作の有無を判断し状態変化が存在すればマスタを更新する。マスタの更新は各サイトに指示され各サイトのVirtual World DBが更新される。こ

の他VWDBMは仮想空間内でのシミュレーションの実行とそれによるDBの更新も行う。プロセス間通信はTCP/IPソケットを用いている。本構成では、

- 1) 画像生成のためのデータは各サイトに分散しているために高速に画像生成が可能である。
- 2) ジェスチャの判断、データベースの更新などは1カ所で行われるので同時に同じ物体を二人の利用者がつかむことを禁止する ような排他制御が容易に実現できる。
- 3) 事前に各サイトに同じ3D shape DB, Virtual World DBを配布する必要があるが、使用時の通信量は少ない。

などの特色がある。一方、本構成では各サイトを結ぶ通信路の伝搬遅延が大きい場合には操作を行ってその結果を得るまでの遅延が大きくなり操作性の低下を生じる可能性がある、このような場合にある程度局所的な処理を増やすなどの解決法を検討する予定である。

図7(a)は、向かい合った構成で車のCG画像を操作している様子である。図では左上に対地での様子が表示されている。向かい合った利用者の間に車が存在し、利用者は車のボディの表面と裏面がそれぞれ観察できる。図7(b)は利用者が同じ向きを向いた構成で、スペースシャトルを表示しているところである。この場合は操作できる範囲の他の部分も視覚的に共有できるため、より多くの情報の共有が可能である。図7(c)は部品を組み合

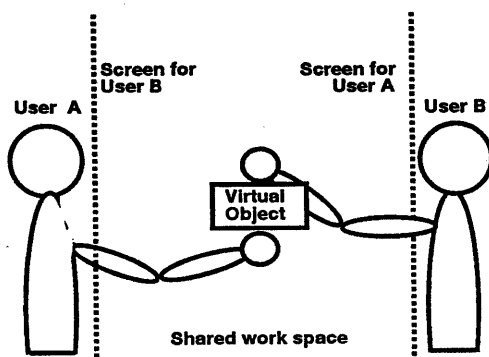


図5. 共有空間の構成

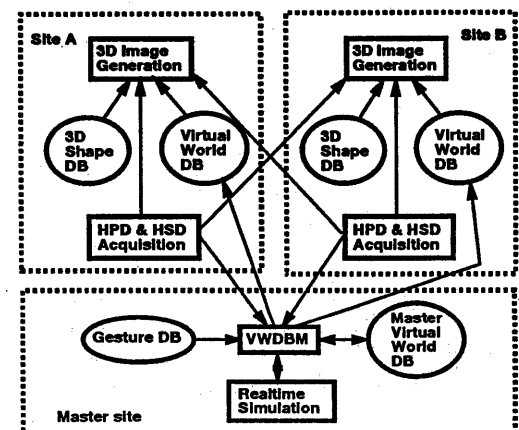
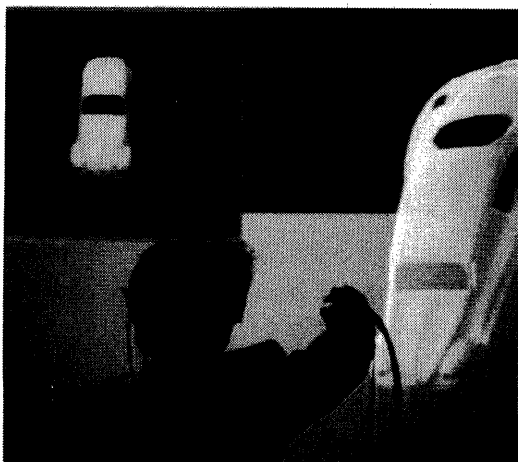
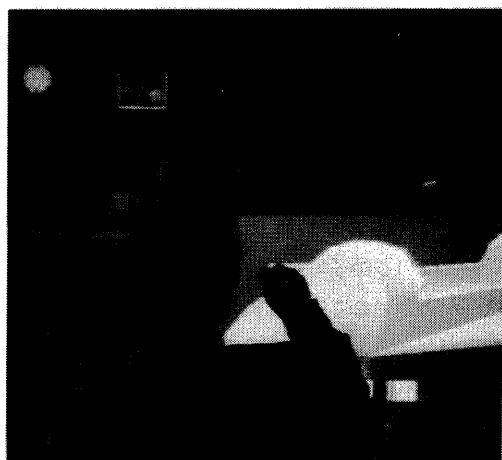


図6. 試作環境の処理の概要



(a)向かい合った状態で操作



(b)同じ向きを向いた状態での操作



(c)協調作業の例

図7. 協調作業の例

わせて馬の形を構成するパズルを協調して行っているところである。

現在、二人の利用者間でのレイアウト操作の初歩的な例として、積み木を机上に配置するタスクなどについて共同作業を行い操作性や有効性を評価する検討を行なっている。

4. むすび

仮想空間を利用した協調作業環境の構成法について検討し、実際に試作した環境を紹介した。今後はより高度な協調作業環境の実現についても検討する予定である。

謝辞

日頃ご討論いただく知能処理研究室の諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1]岸野：“臨場感通信”3-D映像，Vol.4，No.2，pp.3-12(1990)。
- [2]Takemura et al:“A Usability Study of Virtual Environment”，6th Symposium on Human Interface，pp.577-582(1990)。
- [3]石井：“Team Work Station:リアルタイムワークスペースの設計”，第6回ヒューマンインタフェースシンポジウム，pp.271-278(1990)。
- [4]竹村，伴野，岸野：“仮想空間操作におけるフィードバックに関する一考察”，1991年春季信学全大(1991)。
- [5]石淵，竹村，岸野：“画像処理を用いた実時間手形状認識とマンマシンインタフェースへの応用”，1991年秋季信学全大(1991)。