

ステレオグラフィックスを用いた仮想操作環境について

竹村治雄 伴野明 岸野文郎

エイ・ティ・アール通信システム研究所

本報告では、仮想空間操作の考えに基づく新しいマン・マシンインタフェースに関する基礎的考察と試作について述べる。ここで述べる仮想空間操作環境とは、利用者があたかも実際の空間で作業をするがごとく感覚で、表示されている対象物を操作可能な環境を意味する。実際に試作された環境は、視点追従型の両眼立体視表示装置、手形状入力装置、画像生成ソフトウェアなどを組み合わせることで構成されている。実現された機能は限られたものであるが、このような構想に基づくインタフェースが理解し易く、今後さらに検討する価値があると考えられる知見が得られた。また、仮想空間操作で力フィードバックを与える一手法として、超音波モータを利用した入力装置についても報告する。

Pseudo Object Handling Using Large Screen Stereoscopic Display

Haruo TAKEMURA Akira TOMONO Fumio KISHINO

ATR Communication Systems Research Laboratories

Inui-dani, Sanpei-dani, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-02, Japan

In this paper, a basic study to establish a new man-machine interface technology using pseudo-workspace concepts is proposed. The pseudo-workspace is built by combining a stereoscopic display and a hand gesture input device. Our design goal for the pseudo workspace is to utilize this type of interface for a future teleconferencing system. However such a system can also be used in many other applications, such as telerobotics, real time simulation, and CAD/CAM system. Discussed in this paper, are problems to be solved in order to realize this environment including design strategies, implementing issues and evaluation methods, such as high fidelity display method for stereoscopic displays and a man-machine interface technique for 3-D image manipulation using pseudo-workspace.

1. まえがき

より臨場感豊かに通信を行い、これを利用して協調作業を行なう場として、我々は視点追従型の両眼立体視表示による3次元仮想空間の利用を提案している。ここで述べる仮想空間とは、両眼立体視表示、広視野表示などの表示技術を用いて、あたかも実際の空間が眼前にあるかごとくに提示される表示手法により生成される空間である。このような空間をコンピュータグラフィックスを用いて実時間で生成し遠隔地の人々を合成表示することで、これらの人々があたかも同一空間に存在する如く感覚で会話をしたり、会議を行なうことが可能になると考えられる。さらに、仮想空間内に表示される自動車、飛行機などの構造物の設計を協調して行なうことも考えられる。仮想空間内で、これらの作業を行なうことを可能にするマン・マシン・インタフェース技術を確立するため、既に筆者ら両眼立体視を利用して奥行きを含めたポインティングを行なう3次元指示入力の実験特性評価、視点追従型の大型両眼立体視装置の試作と評価などを行なってきた[1-3]。本報告では、さらに研究を進め視点追従型の大型両眼立体視表示装置と手の形状を入力する装置を用いた仮想空間操作環境のプロトタイプを試作したので、これに

ついて述べる。また、このような環境で力フィードバックを与える一方法として、超音波モータの原理を利用した入力装置についても述べる。

2. 仮想空間操作

図1は、仮想空間操作の構想を説明した図である。この図では、利用者の視点と手の位置及び形状が計測され、これにより利用者の意図理解を行い、表示されている仮想的な空間内の物体をつかむ、移動する、離すなどの操作が行える。また、より高度な意図理解を行なうことにより、利用者の関心のある対象物を選択することを行なうことも考えている。手の形状の入力に光ファイバーを利用した手袋状の入力装置データグローブを用い、視点及び手の位置の検出に磁気を利用した3次元デジタイザを用いて、このような操作環境の試作を行なった。このような人工現実感を持つ仮想世界の構築は、本研究の目的である通信会議への応用以外に、遠隔操作、極限ロボットの操作などの様々な潜在的応用があるため、最近盛んに研究が行なわれ始めた[4-6]。ここでは、まず試作した環境とその設計方針について述べる。

2.1 表示装置

種々の3次元表示装置の中で、実時間で高品位な画像が表示可能なものは、現時点では両眼視差を利用した立体視表示のみである。ホログラフィーを用いた動画表示は実時間で干渉縞の生成ができないため不可能である。また、バリフォーカルミラーを用いた3次元表示は特殊な用途には適しているが、会議風景などの表示には利用できない。さて、両眼立体視表示の原理を用いた表示にも各種の手法が見られるが、何れの表示方法を用いても表示される画像が歪みの無い正しい奥行き感を持ったものにするためには、観察者の視点をもとに画像を生成する必要がある。レンティキュラースクリーンを用いた立体視表示では観察像を多数枚用意しておくことで、ある程度視点の左右移動に対応できるが上下前後の動きには対応できない。また、頭部登載型の表示装置を用いる手法も考え

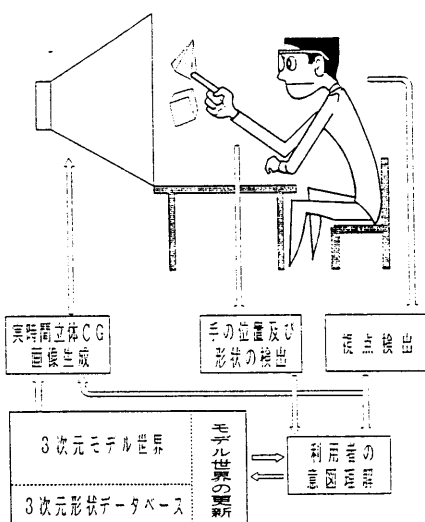


図1. 仮想空間操作の構想

られるが、

- 1) 通信会議という目的では頭部に大型の装置を装着することは好ましくない、
 - 2) 画像の品質が装置サイズの制約により他の方式に劣る、
 - 3) 通常凸レンズなどの光学系が用いられ画像に歪が生じやすい、
- などの欠点を持つ。

そこで、本研究では大型背面投影型プロジェクタ（70インチ）を表示装置に用い時分割で立体視画像を表示し、液晶シャッター眼鏡を用いて立体視を行なうこととし、さらにこのシャッター眼鏡に視点を検出するための3次元位置センサを取り付け、その位置情報をもとに画像を生成することとした。使用した3次元位置センサは磁界を利用したもので、位置情報に加えて方位角も得ることができるため、観察者頭部でのセンサに対する左右の眼球位置を予め測定しておくことで、センサのデータから左右の眼球位置を得ることができる。表示される左右画像はこの眼球位置からの透視投影となるよう生成される。このような表示装置の構成を用いることで視点が移動しても、歪の無い立体視画像が表示される。ただ、システムの利用者が一人に限定される欠点が生じる。図2は頭部の位置から左右の眼球位置の算出方法を説明したものである。ここでは、センサ位置を原点とする局所座標系における左右の眼球位置は不変であると仮定して、3次元位置センサによってえられる絶対座標系でのセンサ位置と方位から左右の眼球の絶対座標を求めている。

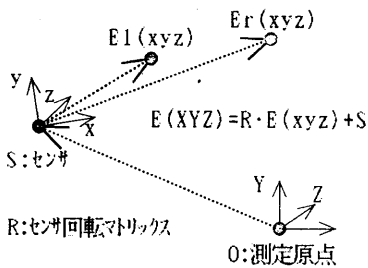


図2. 3次元センサによる両眼位置の計算

2.2 画像生成

仮想空間の画像は視点に追従して表示される必要がある。このため、高速グラフィックスワークステーションを利用して視点位置のデータをもとに実時間で画像を生成し表示している。本試作では、画像の生成にシリコングラフィックス社製IRIS 4D-80GTを用いた。仮想空間中に表示される物体の形状は、ワイヤーフレームとして定義され、レンダリングのための属性（表面の色など）、仮想空間内での位置、シミュレーションのための属性（質量、重心など）を持つ。また、可動部を含む物体を定義可能なように、物体を木構造状に定義できるように設計されている。これらの形状データ、前述の両眼位置データ、フォン光源データなどをもとに毎秒10～5枚程度のゲーロシェーディング画像の表示が可能である。現在の試作環境ではシミュレーションのための属性は利用していない。図3に仮想会議室の画像生成例を示す。

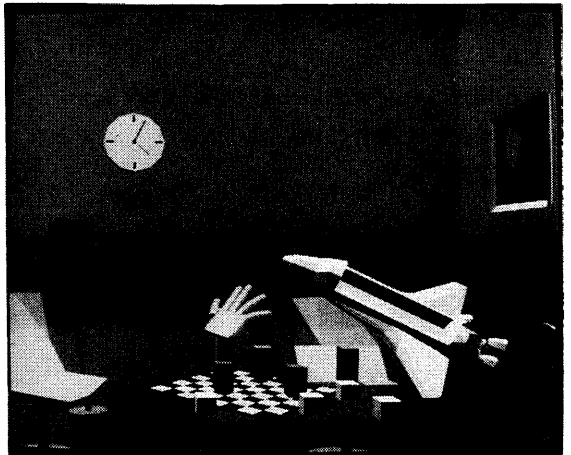


図3. 仮想会議室の画像生成例

2.3 手形状入力とジェスチャ理解

手形状の入力にはデータグローブを用いた。データグローブは手袋の指に添って取り付けられた光ファイバを通過する光量が、指の曲げによって減衰することを利用して指関節の曲げ角を検出する装置である。また、手の位置と方向も3次元デジタイザによって同時に測定される。試作環境で

のジェスチャ認識は各関節の曲げ角と環境の状態（対象物と手のひらの中心の距離、対象物の大きさなど）をもとに決定される。試作したシステムで認識されるジェスチャは、つかむ(grab)、はなす(release)、取り消し(cancel)、その他(null)の4種類で図4に示される遷移が可能である。対象物をつかんでいる場合は、対象物の中心と手の甲との位置関係が一定に保たれる。これにより操作者は手を移動、回転させることで対象物を自由に移動、回転することができる。また、物体の移動、回転は対象物をつかんだ時点での手と対象物の位置関係をもとになされるため、大きさのある対象物では、つかむ位置によって回転の中心を自由に変えることができる。また、つかんでいる途中で取り消しのジェスチャ（さらに強く手を握る）を入力することで、そこまでの移動と回転を取り消すことができる。ジェスチャの認識にはヒステリシスをもうけ、指の角度がジェスチャの境界に存在する場合に状態が不安定にならないように工夫されている。例としてつかむ操作の場合、つかんだと判断された時点の手指の角度の60%以下に角度が減少した場合に始めて「はなす」ジェスチャと認識される。

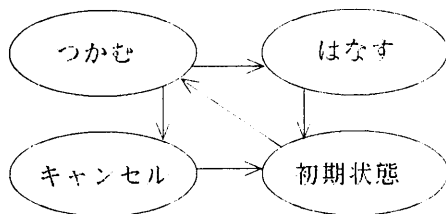


図4. ジェスチャの状態遷移

3. 仮想操作環境の評価

図5は、試作した環境で立体視表示されるワイアフレーム画像を手でつかんで操作している写真である。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の画像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り、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より直接的な感覚

での操作が可能である。また、表示スクリーンの手前に積木などの実物の物体がおかれている場合、その上にシステムにより表示される積木を置いて利用者が頭を動かしても実際の積木と表示される積木の位置関係が保たれる。本環境を実際に簡単な操作を数名の操作者に行なってもらったところ、

- 1) ジェスチャには個人差がある。つかむという動作も操作者によって様々な形のジェスチャが見られた。このような個人差を学習などによって吸収する必要があると思われる。
- 2) 対象物の形状によってもジェスチャは変化する。これは現実の世界でも、手が対象物の外縁に添うよう形作られるのと同じである。従って、対象物の形状を考慮したジェスチャ認識が有効であると考えられる。
- 3) 上記2項目の問題点にもかかわらず、一度、利用者がシステムの固定的なジェスチャ認識の方法を理解すると以後の誤認識はほとんど無くなる。
- 4) 対象物をつかんだというフィードバックがないため操作に戸惑いが生じる。現実の世界のような触覚のフィードバックでなくとも音や視覚的なフィードバックがあれば操作性が向上すると思われる。

今後は、これらの知見をもとに試作環境の改良を

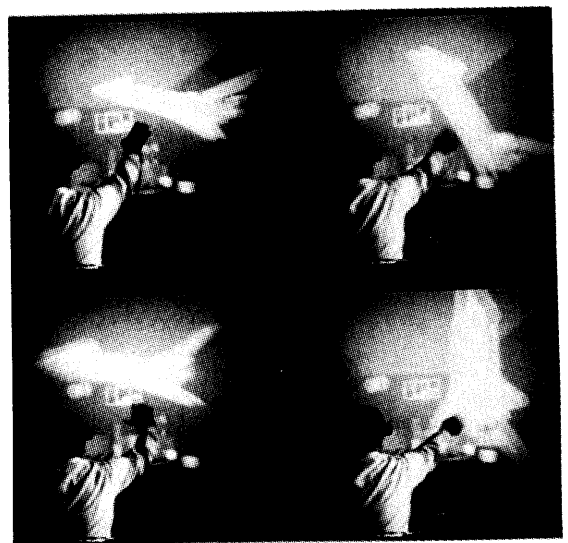


図5. 仮想空間操作の例

行い操作性がどの様に変化するかを検証を行いたい。

4. 力フィードバック機構

仮想空間内で、対象物を操作する場合、既に述べたように実際にその物が見える位置に手を差し伸べてつかむなどの手振りを用いる方法の他に、画像中にカーソルを表示しこれを各種入力装置で制御し選択する手法がある。このような操作を行なうための入力装置として、すでにダイヤルボックス、マウス、磁界を利用した3次元デジタイザの3種類の装置の評価実験を行なった[2]。その結果から、3自由度を持つ入力装置である3次元デジタイザが操作時間などの観点から優れていることを示した。しかし、この3次元デジタイザは、座標を検出するスタイラス部を指先などに装着し、これを空間中で移動させてカーソルを制御するため、手を机などから浮かして操作しなければならない。このため長時間作業を行なうには操作姿勢や疲労度の観点から好ましくない。スタイラス部を操作者の腕とは別に保持する機構を設けることでこのような欠点を改善できる。また、細かい目標の指示にもこのような保持機構が有効だと考えられる。

この保持機構を利用することで、入力装置の動きを制限したり、動きを補助する力フィードバックを付加することが可能である。例えば、仮想空間操作のための入力装置として用いた場合、カーソルと物体との接触を入力装置の動きを制限することで表現することができる。また、カーソルを例えば磁石と見立てて磁場内での磁石に働く力を再現するなどのCAI的な利用法も考えられる。従来、この様のフィードバック機構には多関節の腕を用い、この関節に駆動機構と関節の角度検出機構を設けた物が多い。しかしながら、本手法では、

- 1) 角度検出機構による位置検出は腕が多段になると精度が低下するため3次元デジタイザを腕の先端に付して位置検出を行なう、
- 2) そのため電磁モータなどの磁界を発生する駆動

機構は好ましくない、

- 3) 力フィードバックを行なうためには、腕の保持トルクが可変となる駆動機構が望ましい、
 - 4) インタフェースツールとしてはできるだけ小形かつ軽量の機構が望ましい、
- などの条件から駆動機構に圧電素子を用いた超音波モータを利用することとした。

従来、超音波モータは圧電素子で作られたステータをその励振周波数で進行波駆動することで回転力を得ているが、ステータを定在波駆動することでモータに回転力を与えることなく保持トルクを可変できることを確認し、定在波、進行波2種類の駆動が可能な圧電モータを組み込んだ3関節の腕機構を試作した。試作したモータの仕様を表1に示す。図6は試作した腕機構とモータ制御装置の写真である。腕機構の先端を写真のように手で操作する。図7は、第2関節を駆動するモータの回転特性を測定した結果で励振周波数に比例して駆動トルクが変化している。これにより可変の力をフィードバックすることが可能である。これらのモータは、前述の仮想空間を生成する計算機により制御され力フィードバックを実現する予定である。



図6. 試作した3関節腕機構

表1. 試作した駆動機構の仕様

項目	第1, 2関節	第3関節
構造	60mmモータ×2	45mmモータ
駆動周波数	40 KHz	42 KHz
駆動電圧	100 Vrms	100 Vrms
定格トルク	8 Kg-cm	2.5 Kg-cm
起動トルク	1.5 Kg-cm	4 Kg-cm
保持トルク	1.8 Kg-cm	5 Kg-cm

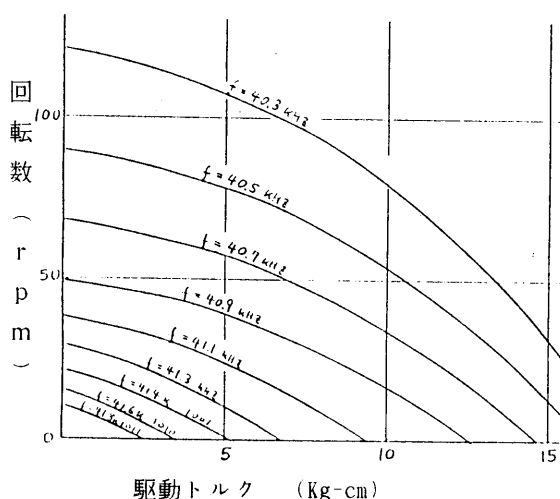


図7. 第2関節駆動モータ特性

4. むすび

大型3次元表示装置を用いた仮想操作環境の試作とカフィードバック可能な3次元入力装置の試作について述べた。今後は、試作した入力装置を仮想空間操作の試作環境で実際に利用し、カフィードバックの有効性を検証する予定である。また、仮想操作環境の使いやすさの向上のために必要な要因をについて検討を行なう予定である。

参考文献

- [1] Takemura et al., "An evaluation of 3-D object pointing with stereoscopic display and mouse", 信学技報, Vol. 87, NO. 334, PRU87-82(1988-01).
- [2] 竹村, 伴野, 小林, "3次元指示入力の評価について", 情処学会研資, グラフィックスとC A D34-4(1988-08).
- [3] 竹村, 伴野, 小林, "運動視差を有する両眼立体視表示", 第2回札幌国際コンピュータグラフィックスシンポジウム(1988-12).
- [4] D. J. Sturman, D. Zeltzer and S. Pieper, "Hands-on interaction with virtual environments", Proceedings of UIST '89, ACM.(1989-11).
- [5] S. S. Fisher, M. McGreevy, J. Humphries, and W. Robinett, "Virtual Environment Display System," Proceedings of 1986 ACM workshop on Interactive Graphics, pp. 77-87(1986-10).
- [6] C. Ware and D. R. Jessome, "Using the Bat: a six-dimensional mouse for object placement," IEEE Computer Graphics and Applications 8(6) pp. 65-75(1988)