

没入型ディスプレイシステムのための ユーザインタフェースに関する研究

浅井 博次 田村 祐一* 渡邊 國彦**

Research on User Interface for Immersive Display System

Hirotsugu ASAI Yuichi TAMURA* Kunihiko WATANABE**

あらまし 没入型ディスプレイシステムは、ユーザの周囲を取り囲む大型のスクリーンにより没入感のある仮想空間および仮想物体を提示することができる装置で、近年の試作・製造工程のコストダウンに一役かっている。本研究では、没入型ディスプレイシステムにおけるユーザインタフェースに着目し、“すぐに、簡単に”使え、仮想環境に没入できるという特徴を活かした“直感的に仮想環境・仮想物体とインタラクションする”ユーザインタフェースについて検討した。具体的には、モデリングシステムの変形操作に手を用いたジェスチャをユーザインタフェースとして実装し、直感的な変形操作の選択・操作量入力を試みた。

キーワード 没入型ディスプレイシステム、ユーザインタフェース、ジェスチャ認識、自己組織化マップ

1. はじめに

没入型ディスプレイシステムとは、ユーザの周囲を取り囲む大型のスクリーンにより広視野を実現し、没入感のある仮想環境を提示する装置である。このシステムを用いたVR技術は試作工程の工期短縮・コストダウンなどで大きな効果を発揮している。しかし、導入コストが非常に高く、広い設置スペースが必要であるため、ごく一部の大学や企業などで導入されているにすぎない。そこで、岐阜県では没入型6面ディスプレイシステム（以下COSMOS）を有料で開放し、中小企業にこのシステムを使用できる機会を提供しており、主に試作品プレゼンテーションや商用アプリケーションのシミュレーション結果の検証として利用されている。

現在COSMOSでは、ゲーム機用コントローラを主なユーザインタフェースとして使用している。コントローラを操作装置としてシステムを設計する場合、ボタンに個別の処理機能呼出を割り当てて実装する。しかし、ボタンと機能との間に直感的な関連性はないため、アプリケーション使用前に操作方法としてボタンと機能との対応関係を学習しなければならない。機能が増加すればするほど複雑なボタンの組み合わせが必要になり操作方法の学習も困難になる。前述のように没入型ディスプレイシステムは希少品であり、他の装置に比べ一般ユーザの使

用頻度は格段に低いため、“すぐに、簡単に使える”ユーザインタフェースが望ましい。

予備学習を減らす方法として、状況に応じた操作リストを仮想空間上に表示するという手法をとることが可能であるが、リストから操作を選択するステップが必要であること、選択するために操作対象から視線をはずさなければいけない、という問題点がある。

これらの問題点を改善する方法として、手を用いたジェスチャ（手の形、手振り動作など）によるユーザインタフェース^[1-3]がある。ジェスチャは人それぞれ異なるものであるが、機能から連想可能なジェスチャを選択し機能と対応付ければ、たとえユーザにとって最適なジェスチャでなくとも、その対応関係の学習は容易であり理解し易い。ジェスチャを機能選択のためのポスチャとして利用するだけでなく、機能に対する操作量入力にも利用することで、より直感的で“すぐに、簡単に”使えるユーザインタフェースを構築できるものと期待される。

そこで本研究では、没入型ディスプレイシステムのためのユーザインタフェース^[4]として手を使用したジェスチャによるユーザインタフェースをCOSMOSに実装し、ジェスチャによる直感的な機能選択と操作量入力を実現した。また、このユーザインタフェースをモデリングシステムに適用し、その有効性について検討した。

2. ジェスチャインタフェース

2.1 ジェスチャインタフェース

本研究では、データグローブ（superglove、日商エレクト

* 文部科学省 核融合科学研究所 理論・シミュレーション研究センター

** 文部科学省 核融合科学研究所 計算機センター

トロニクス製)と、手の甲に装着された磁気式3次元位置センサ (polhemus) によりジェスチャインタフェースを構築した。データグローブで指の関節角を、polhemusで手の位置と向きを計測する。図1に構築したインタフェースの処理ブロック図を示す。

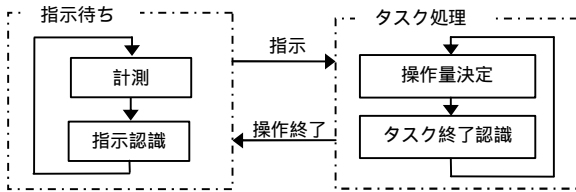


図1 処理ブロック図

各ブロックの処理内容を以下に示す。

指示待ちモード

計測した手の形・位置・向きなどの情報からジェスチャを認識し指示の有無を判断する。指示がある場合は、指示待ちモードからタスク処理モードへと移行する。

タスク処理モード

タスク処理が開始された時点での手の状態（指関節角・位置・向きなど）からの変化量をもとに操作量を決定しタスクを実行する。タスク終了認識でタスクの終了を監視し、終了指示がない限りタスクを継続する。タスク処理モードの時は新たなタスク指示を受け付けられないものとする。

● タスク終了認識

手の動き（位置の加速度・向き、指関節角の変化量）に閾値を設け、閾値を越える手の動きをタスク終了指示とした。この他、必要に応じてタスク毎に手の形などの条件を設定し、タスク終了指示として使用する。

● 操作量入力

操作量入力には、2種類の方法を採用した。1つは実際に人がそのタスクを実行する時に行う動作を用いる方法である。もう1つは、大きさなどのパラメータを変更するようなタスクにおいて、パラメータの増減と手の動きを対応させる方法である。例えば、両手間距離とパラメータを対応させ、間隔が広がればパラメータを増加させ、狭まれば減少させる。どちらの場合も、必要に応じて手の動きと操作量との対応を調整することで、微調整などの細かい指示を実現する。

モード分割について

モードを切り離し、指示認識とタスク終了認識に別々の認識ユニットを使用することで、3次元位置の検出誤差やジェスチャの変動などによる不安定動作を抑制する。また、ユーザ左前方に配置したモードインジケータ用ボールによりユーザに色で現在のモードを提示する。

2.2 ジェスチャ認識

ユーザインタフェースにジェスチャ認識を使用する場合、リアルタイム性と操作者によるジェスチャのばらつきなどに対する適応性の確保が重要である。ジェスチャ認識に使用される手法には隠れマルコフモデル (HMM) やリカレント型ニューラルネット (RNN)、自己組織化マップ (SOM) [5] などがあるが、本システムでは学習時間が短く認識性能が条件（マップの規模やサンプル数など）に影響されにくい[3]ことからSOMを採用した。図2に本研究で構築したジェスチャインタフェースの構成図を示す。

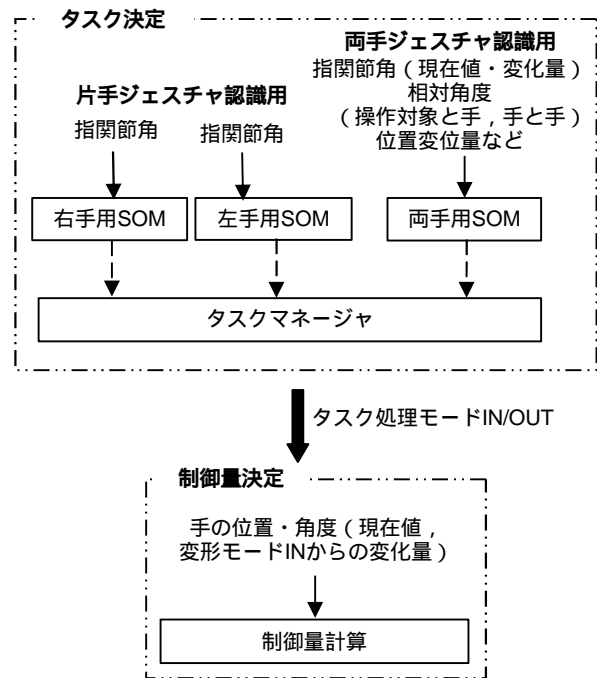


図2 ジェスチャインタフェースの構成図

ジェスチャインタフェースには、それぞれの手の形と両手を用いたジェスチャを利用している。認識には、片手用と両手用併せて3つのSOMを用意した。片手用SOMでは静的な手の形を認識する。入力には指関節角を使用した。一方、両手用SOMでは手と手、手と対象オブジェクトとの位置関係や位置・手の形の変化情報から両手を用いたジェスチャを認識する。入力には指関節角の他、手と手、手と対象オブジェクトとの相対角度、動き情報として指関節角・位置の変化量を使用した。

ジェスチャ認識において、ジェスチャの開始・終了を識別する事は非常に重要であるが、没入環境でのジェスチャは自由度が高いため、その識別が困難である。本インタフェースでは、ジェスチャ開始フラグとして一定時間静止していることを使用し、ジェスチャの開始を明確化している。

タスクマネージャはSOMによるジェスチャ認識結果を状況に応じて判断し、タスクの決定、モード管理を行う。

3. 適用アプリケーション

提案するジェスチャインタフェースを適用したアプリケーションとして、COSMOS用モデリングシステムを開発した。本システムでは、一定の変形が可能なプリミティブを複数統合することで複雑な形状を生成することができる^[1,6]。それぞれの変形処理には対応するパラメータがあり、ジェスチャを用いたユーザインタフェースによりそのパラメータをインタラクティブに調整することで直感的な変形を実現する。操作モード遷移図を図3に示す。

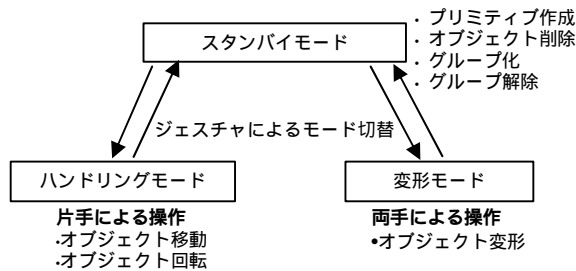


図3 操作モード遷移図

ユーザインタフェースにはジェスチャと音声認識を使用する。主にジェスチャにより指示を行い、音声認識はプリミティブの作成や複数プリミティブのグループ化などジェスチャによる直感的な指示が困難なものに対してのみ使用する。音声認識には音声認識ソフトウェア julius^[7-10]を使用した。

3.1 形状モデル生成手法

プリミティブの記述には超二次関数^[11]の一種である超楕円体 P_e と超円環体 P_t の陰関数表現^[12]を用いた。

$$P_e(x, y, z) = \left[\left\{ \left(\frac{x}{r_x} \right)^{\frac{2}{e_2}} + \left(\frac{y}{r_y} \right)^{\frac{2}{e_2}} \right\}^{\frac{e_1}{e_2}} + \left(\frac{z}{r_z} \right)^{\frac{2}{e_1}} \right]^{e_1}$$

$$P_t(x, y, z) = \left[\left[\left\{ \left(\frac{x}{r_x} \right)^{\frac{2}{e_2}} + \left(\frac{y}{r_y} \right)^{\frac{2}{e_2}} \right\}^{\frac{e_2}{2}} - \frac{r_a}{\sqrt{r_x^2 + r_y^2}} \right]^{\frac{2}{e_1}} + \left(\frac{z}{r_z} \right)^{\frac{2}{e_1}} \right]^{e_1}$$

超二次関数で記述されたモデルはパラメータ e_1, e_2 及び r_a を調整することで柔軟に形状を変形させることが可能であり、それぞれのパラメータが直感的に理解可能な形状変形に連動しているため、指示に対する変形を実現することが容易である。更に以下に示す座標変換により、「Z軸に対する「尖らせる(taper)、ねじる(twist)、曲げる(bend)」という拡張変形が可能となる^[1,2]。

$$\text{taper} : \begin{cases} x' = (1 - s_z(z))x, \\ y' = (1 - s_z(z))y, \\ z' = z \end{cases}$$

$$\text{twist} : \begin{cases} x' = x \cos s_z(z) - y \sin s_z(z), \\ y' = x \sin s_z(z) + y \cos s_z(z), \\ z' = z \end{cases}$$

$$\text{bend} : \begin{cases} x' = z \sin(s_z(z)) + x \cos(s_z(z)), \\ y' = y, \\ z' = z \cos(s_z(z)) - x \sin(s_z(z)) \end{cases}$$

$$S_x(z) = \frac{k_x}{r_z} z, \quad S_y(z) = \frac{k_y}{r_z} z, \quad S_z(z) = p k_z z$$

k ; 変形の度合を示すパラメータ

拡張変形機能により表現力の向上した複数のプリミティブを組み合わせることで、さまざまな形状を生成することが可能になる。複数プリミティブの統合には次式を使用する^[6]。

$$F(x, y, z) = \left[\sum \left(\frac{1}{1 - P_i} \right)^f \right]^{\frac{1}{f}}$$

f ; プリミティブ接合度合い調整パラメータ

モデルはマーチングキューブ法^[13]を用いて視覚化する。

3.2 ジェスチャインタフェース

図4に使用したジェスチャインタフェースの指示リストを示す。

片手タスク ; 手形状のみで決定				
ジェスチャ				
移動 回転	操作対象オブジェクト付近で			
両手タスク ; 手形状 位置関係で絞り込み、動作で決定				
	ジェスチャ	動作	変形例	
変	サイズ		位置の変化	
	丸める		手の握り具合の変化	
	尖らす		手の向きの変化	
形	ねじる		手の回転の変化	
	曲げる		手の向きの変化	

図4 指示リスト

片手タスクである移動・回転タスクでは、捜査対象付近で手を握ることでオブジェクトを選択し、手を握ったまま移動・回転させることでオブジェクトを操作する。手を開くと選択が解除され、移動・回転タスクが終了する。

移動・回転を除く両手を用いた変形タスクにおいては、タスクごとの手の形の明確な差異が見られないため、操作対象との位置関係や手の動きが重要となる。そのため、手の形は指示タスクの絞り込みに利用し、位置関係や動き(両手ジェスチャ)によりタスクを決定する。操作量は変形タスク開始時からの手の位置の変化量をもとに決定する。サイズ変更タスクでは、オブジェクト座標系での手の位置の変化量を、その他の変形タスクでは両手間距離の変化量を用いて操作量を決定する。

変形タスクでは微妙な操作量指示が要求される。本シ

システムでは、手の動きに対して小さな操作量が対応するよう設定することで詳細な変形指示を可能にした。

4. まとめ

本研究では、没入型ディスプレイシステムにおいて、“すぐに、簡単に”使え、仮想環境に没入できるという特徴を活かした“直感的に仮想環境・仮想物体とインタラクションする”ユーザインタフェースとして手を使用したジェスチャによるユーザインタフェースを検討し、その設計指針について提案した。

また、開発したCOSMOS用モデリングシステムに提案手法によるユーザインタフェースを適用し、直感的な作業選択と操作量入力を実現した。

文 献

- [1] H. Nishino et al., “A Virtual Environment for Modeling 3D Objects Through Spatial Interactions”, Proc. IEEE SMC'99, Vol.6, pp81-86, 1999
- [2] 西野浩明, 凍田和美, 宇都宮孝一, “両手ジェスチャで変形可能な3次元形状表現法”, 情報処理学会論文誌 Vol.40, No.2, pp.698-701, 1999
- [3] 西野浩明, 凍田和美, 宇都宮孝一, “オンライン学習機能を備えた対話型両手インタフェース”, 電信論 Vol. J81-D- No.5, pp.897-905, 1998
- [4] 橋本直己, 中嶋正之, “CAVEにおける直感的操作手法と動的自由度制御を用いた3次元形状モデラ”, 日本VR学界論文誌, Vol.4, No.3, PP487-494, 1999
- [5] T. Kohonen, “自己組織化マップ”, シュプリンガー・フェアラク東京, 1996
- [6] 西野浩明, 宇都宮孝一, 吉田和幸, 凍田和美, “陰関数表現を用いた協調型3次元造形システムの一構成法”, 情報処理学会論文誌 Vol.42, No.2, pp.308-317, 2001
- [7] 鹿野清宏, 伊藤克巨, 河原達也, 武田一哉, 山本幹雄, “音声認識システム”, オーム社, 2001.
- [8] 松本裕治, 北内啓, 山下達雄, 平野善隆, 松田寛, 高岡一馬, 浅原 正幸, “日本語形態素解析システム『茶筌』 version2.2.1使用説明書”, <http://chasen.aist-nara.ac.jp/chasen/doc/chasen-2.2.1-j.pdf>
- [9] “大語彙連続音声認識プログラムの開発”, <http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/dictation/doc/lvcsr.pdf>
- [10] 田村祐一, 陰山聡, 佐藤哲也, “音声入力による数値シミュレーション結果操作”, 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp.375-376, 2001
- [11] A. H. Barr, “Superquadrics and Angle Preserving Transformations”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.1, No.1, pp11-23, 1981
- [12] Jules Bloomenthal et al., “Introduction to Implicit Surface”, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1997
- [13] Jules Bloomenthal, “An Implicit Surface Polygonizer”, Graphics Gems, AP Professional, pp.324-349, 1994