

3次元モデリングツール “Claymore”: 付加情報によって強化された直接操作

The three-dimensional modeling tool “Claymore”: Augmented direct manipulation technique by using additional information

大芝 崇[†]
Takashi OSHIBA

田中 二郎^{††}
Jiro TANAKA

[†]筑波大学 大学院 博士課程 工学研究科

Doctoral Program of Engineering, University of Tsukuba

^{††}筑波大学 電子情報工学系

Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

概要

ユーザに直観的なインタフェースを提供する際には「直接操作」の手法が有効である。本来「直接操作」手法は2次元の操作系に親和性があるものであるが、我々は3次元のオブジェクトへの操作系にこの手法を適用した。さらに、本論文ではユーザに付加情報を提示することによってユーザの操作に対する理解力を支援する手法を提案する。我々はこの手法を「強化された直接操作」と呼ぶ。そして、実際にこの手法を実装した3次元モデリングツール “Claymore” を作成した。

1 研究の背景

我々の研究室ではビジュアルプログラミングに関する研究を行っている。特に我々は3次元ビジュアルプログラミング環境に関して興味を持っている。3次元ビジュアルプログラミング環境を構築するためには、3次元表現されたノード・エッジ・アイコン等の部品を、あらかじめ3次元モデリングツールで生成しておく必要がある。

しかし、従来使用されているような3次元モデリングツールでは、手軽に3次元物体を作成・編集することは困難である [3]。我々は3次元版 MacDraw のような感覚で、容易に3次元物体の作成・編集が出来る環境が必要不可欠であると考え [6] [7] [8]。ここで MacDraw とは2次元のドローイングツールである。

このような背景により、我々はユーザが直感的なモデリングを行えることを目標とした3次元モデリングツール “Claymore” を開発している。

2 三面図における問題点

従来の3次元モデリングツールは、物体を構成する頂点などの座標を、三面図や数値入力をもとに、直接入力していく方式を取っている [3]。

三面図とは、3次元空間を構成する3本の座標軸に垂直な視点から見た異なる3つのビューで構成されており、2次元の表示装置を用いて3次元の物体を表現するための一般的な手法である。しかし三面図を使用するシステムでは、ユーザは異なる3つのビューの間の整合性をとるメンタルモデルを再構成する認知的負荷を強いられる [11]。このため、三面図を使用する際に、ユーザは三面図上において、何度も視点を移動させる必要がある。

このような理由から、三面図を使用するシステムでは、3次元物体を直感的に扱うことが困難であった。

3 従来の直接操作手法

ユーザが容易に3次元物体を操作するためには、直接操作手法 [10] が適用されたユーザインタフェースが非常に有効である。しかし、本来「直接操作」手法は2次元の操作系に親和性があるものであるもので、従来の直接操作手法を単に3次元物体への操作系に適用するだけでは不十分である。

これは、入出力装置が2次元であるのに対し、操作の対象となる物体が3次元表示されていることに起因する。通常の3次元CGでは、2次元の平面であるコンピュータのディスプレイに投影表示を行っている。また、入力デバイスとしてマウスを対象としているが、これは2次元の入力デバイスである。

4 強化された直接操作手法

そこで我々は、従来の直接操作手法を拡張した強化された直接操作手法を提案する [12] [5]。これは、付加情報を用いることによって直接性・直感性が強化されたユーザインタフェースである。

4.1 付加情報

付加情報を物体と同時に表示することで、ユーザは付加情報を操作の補助として、効率的に直接操作を行なうことができるようになる。

付加情報として、具体的には以下のものをユーザに提示する (図1)。

- 3次元カーソル
- 地面
- 物体の影
- バウンディングボックス

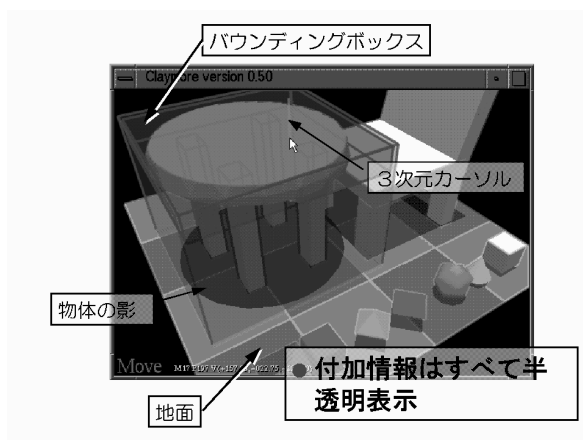


図1 付加情報を表示

4.2 半透明表示

付加情報の表示の際には、本来の物体の表示をなるべく阻害しないことが望ましい。本来の物体の上に付加情報を重ねて表示する際には、半透明表示が有効である [9]。そこで、付加情報の表示にはすべて半透明表示を用いた (図1)。

これらの付加情報により、物体の直接操作をより自然に行なうことができるようになっている。

5 “Claymore” によるモデルの作成・編集プロセス

ユーザは以下の手順で、モデルを作成する。

1. 3次元アイコンを用いて基本物体を生成する。
3次元アイコンは常に地面の上に表示されていて、ユーザがクリックすることによって基本物体を生成することが出来る (図5右下)。3次元アイコンには、地面の上に表示されることによって視点が移動しても常にユーザに3次元空間の上方向がどちら側なのかを容易に知らせる働きがある。
2. 切断および変形をすることによって、より複雑な形状をした部品を作成する。
3. 個々の部品にグループ化を行って部品同士を組み合わせる。
4. こうして作られた部品を、移動・回転によって配置する。
5. 作成したモデルのモデルデータを VRML 形式または Wavefront OBJ 形式にセーブする。

6 実装されている機能

現段階で“Claymore”に実装されている機能には、物体の生成・移動・回転・切断・変形・削除・グループ化・属性の編集・セーブ等があるが、ここでは特に「回転操作の仕組み」と「物体の属性の編集機能」について説明する。

6.1 回転操作の仕組み

3次元物体の回転は、回転の順番が少しでも違うと得られる結果が大きく異なるという性質を持っている。従来の物体の回転手法として実装されているもの [3] [2] としては、マウスを移動した軌跡を微少時間単位に分解し、その方向に細かく物体を回転させる方法が用いられていたが、この手法には、マウスカーソルを物体を最初に回転させ始めた原点まで

戻しても、マウスの動かし方によっては物体の姿勢が最初のもっと大きく異なってしまうという問題がある (図 2)。

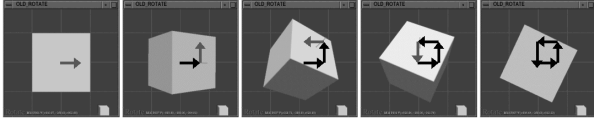


図 2 従来の回転手法

直接操作の要素の 1 つとして、「可逆的な操作」という要求がある [10]。そこで我々は、物体の回転には、ユーザが物体を画面上で見たままの方向に物体を回転させつつ、マウスを最初の位置に戻せば物体の姿勢もきちんと元に戻る、可逆的な操作方法を提案する。(図 3)。



図 3 本手法

本手法では、ユーザはまずウィンドウ上部のモード選択ボタンから ROTATE ボタンを選択する。次に、マウスカーソルを回転させたい物体の上に持ってゆき、マウスをドラッグした方向に物体が回転する。実際には、マウスをドラッグした方向に垂直な回転軸が設けられ、その回転軸に沿って物体が回転している。ここで従来の手法との違いは、物体の回転量が、常にドラッグを開始した点からのマウスの移動距離によって決まり、ドラッグ中のマウスの移動軌跡に影響を受けない点である。

実際の計算では、回転させる前に、画面上でのマウスカーソルの位置 t_x, t_y と、マウスで指定されたモデルが表示する時に使用していた、モデリング座標系からワールド座標系への変換行列 M_{LW} を保存する。これは物体を動かす最初の状態を回転の基準とするためである。

マウスが最初の指定位置から動いて位置 m_x, m_y になった場合は、最初の画面上での指定位置から距離 r と方角 θ を

$$r = k \sqrt{(m_x - t_x)^2 + (m_y - t_y)^2},$$

$$\theta = \text{atan} \frac{m_y - t_y}{m_x - t_x}$$

として求める (図 4)。

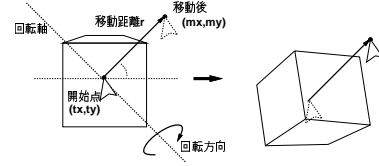


図 4 直接操作による物体の回転

あとはマウスの動いた方向 θ に直交する直線を回転軸として、距離 r に応じてモデルの変換行列 M_{LW} を回転させる。

$$M'_{LW} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos r & 0 & -\sin r \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin r & 0 & \cos r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\theta) & \sin(-\theta) & 0 \\ -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} M_{LW}.$$

こうして計算された新たな回転行列 M'_{LW} を用いて物体を描画することで、ユーザにはあたかも物体が指定した方向と同じ向きに回転しているように見えることになる。

6.2 物体の属性の編集機能

選択した物体のマテリアル情報を変更し、物体の色を変更する機能を実装した。

ユーザがウィンドウ上部のモード選択ボタンから PAINT ボタンを選択すると、地面の上に 3 次元アイコンとして新たにカラーリング物体 (図 5 左下) が表示される。カラーリング物体は普段は表示されず、PAINT モードになった時だけに表示される。これは、不必要に多量の情報を表示させないことを意識した動作であり、また、論理的な情報隠蔽を物理的な情報隠蔽によって達成している [1]。

ユーザは、色情報を変更したい物体を選択し、変更したい色と同じ色を持つカラーリング物体をクリックすることによって、選択した物体の色をクリックしたカラーリング物体と同じ色に変更することが出来る (図 5)。

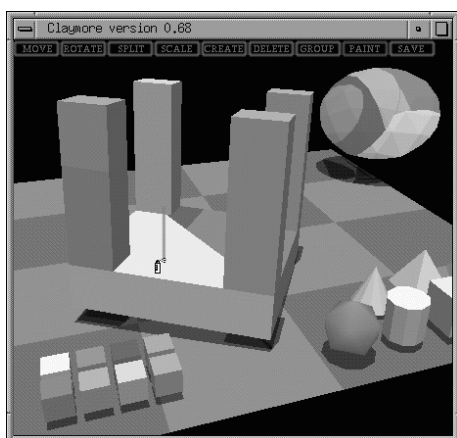


図5 カラーリング機能

7 関連研究

マウスを用いて物体を回転させる方法としては、Chen らの研究 [2] がある。これは擬似的なトラックボールに対して操作を行なうことで、3 軸すべての操作を行なうことができる手法である。

本研究で用いた回転方式は、同時に 2 軸ぶんの回転を行なうことしかできないが、視点の変更と組み合わせたり、回転の操作を繰り返すことで最終的に 3 軸分の姿勢を設定できる。Chen の手法では操作の対象となる物体を、トラックボールを介して間接的にしか操作出来ないが、本手法ではユーザは操作の対象となる物体を直接的に操作出来る。また、本手法の特徴として、物体の回転量が常にドラッグを開始した点からのマウスの移動距離によって決まり、ドラッグ中のマウスの移動軌跡に影響を受けないという点において異なっている。

物体の分割を用いてモデリングを行なう研究としては、米川らの研究 [13] および北川らの研究 [4] がある。これらの研究では、モデルの表現にボクセルモデルである Octree を用いており、どんな形状でも簡単な計算で分割を行なえるが、データ量が大きいという特徴をもっていた。本研究では、サーフェースモデルを対象としており、VRML 等のデータへ変換するといった作業を簡単に行なうことができるという点において異なっている。

2 次元の入力デバイスを用いて 3 次元形状を直接編集する試みとして、Robert らの SKETCH [14] がある。これはペンを用いた入力を対象として、ジェスチャの概念により物体を簡単に生成・加工する手法である。物体の表示には平行投影を用いているた

め、完成時の物体と同一の映像を見ているわけではない。

本研究ではマウスを対象としており、また物体の表示には遠近法を用いた透視変換を用いているため、完成時の物体と同一の映像を見ながら編集を行なうことができるという点において異なっている。

参考文献

- [1] Margaret Burnett et al, Scaling Up Visual Programming Languages, *IEEE Computer*, Vol.28 No.3, pp.45-54, March 1995.
- [2] Michael Chen, S.Joy Mountford, Abigail Sellen: A Study in Interactive 3-D Rotation Using 2-D Control Devices, In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp.121-129, August, 1988.
- [3] James M. Hebert: *LIGHTWAVE 3D USER GUIDE*, NewTek 社.
- [4] 北川 英志, 安田 孝美, 横井 茂樹, 鳥脇 純一郎: 仮想空間操作を利用した対話型手術シミュレーションシステムの基本機能の実現, *情報処理学会論文誌*, Vol.37, No.6, 1996.
- [5] Hideki Mitsunobu, Takashi Oshiba and Jiro Tanaka: Claymore: Augmented Direct Manipulation of Three-Dimensional Objects, In *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction 1998 (APCHI98)*, pp.210-216, July, 1998.
- [6] 光延 秀樹, 田中 二郎: 直接操作を用いた三次元モデリングツール“Claymore”, 尾内理紀夫編, *インタラクティブシステムとソフトウェア V*, 日本ソフトウェア科学会 WISS'97, 近代科学社, pp.212, 1997.
- [7] 大芝 崇, 光延 秀樹, 田中 二郎: 3 次元仮想空間への直接操作, *日本ソフトウェア科学会第 14 回大会論文集*, pp.73-76, 1997.
- [8] 大芝 崇: 3 次元物体の直接操作に関する研究, 平成 9 年度 筑波大学第三学群情報学類卒業研究論文, 1998.
- [9] 暦本 純一: InformationCube: 半透明表示を用いた 3 次元情報視覚化技法, 竹内彰一編, *インタラクティブシステムとソフトウェア I*, 日本ソフトウェア科学会 WISS'93, 近代科学社, pp.1-8, 1993.
- [10] Ben Shneiderman: Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages, *IEEE Computer*, Vol.16, No.8, pp.57-69, 1983.
- [11] 高田 哲司, 小池 英樹: VisuaLinda: 並列言語 Linda のプログラムの実行状態の 3 次元視覚化, 竹内彰一編, *インタラクティブシステムとソフトウェア II*, 日本ソフトウェア科学会 WISS'94, 近代科学社, pp.215-223, 1994.
- [12] Jiro Tanaka, Hideki Mitsunobu and Takashi Oshiba: Claymore: Three-Dimensional Modeling Tool, In *Proceedings of The 20th International Conference on Software Engineering (ICSE98)*, pp.67-72 (Volume II), April, 1998.
- [13] 米川 和利, 小堀 研一, 久津 輪敏郎: 空間分割モデルを用いた形状モデラ, *情報処理学会論文誌*, Vol.37, No.1, 1996.
- [14] Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes: SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp.163-170, August, 1996.