

第二部

論文解説：Claymore：三次元のモデリングツール Claymore：Three-Dimensional Modeling Tool

江森 文
Aya EMORI

あらまし 我々、本研究では下の論文を解説する。今までの3つの独立したビューを考慮せずに三次元のオブジェクトを処理する方法を記述する。三次元のオブジェクトを操作する直接的で巧みな操作方法を適用する。付加的な情報を用いる事により、強化された直接的なマニピュレーションテクニックである「augmented manipulation」方法を提案する。

我々は、「augmented manipulation」テクニックを使って「Claymore」という三次元のモデリングツールを実行する。ユーザーは三次元のモデルを直観的な方法で組み立てることができる。

キーワード 3-D modeling, augmented manipulation, direct manipulation, mouse, interactive graphics, World Wide Web

1 3つの独立したビューの問題

従来の三次元モデリングツールは3つの独立したビューを使う。3つの独立したビューは、三次元のオブジェクトを操作するための方法に使用される。それは3つのビューにより構成されている。それぞれのビューは、x, y, zの3つの直角な軸のうちの2つによって表現されている。ユーザーが、3つの独立したビューを使って三次元のオブジェクトを操作する時には、それらはしばしば表示を交換する。ユーザーはこの理由のためオブジェクトを直観的に操作できない。

2 augmented manipulation

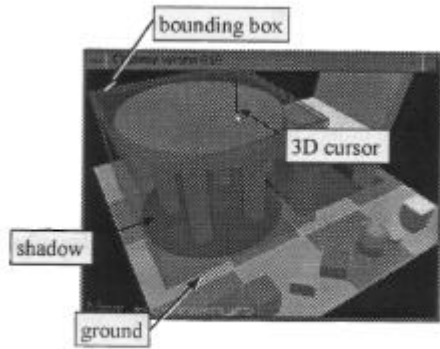
Direct manipulation は、操作においてユーザーのオペレーションがシステムの反応を直接呼びかけるオペレーションである。我々は、三次元のオブジェクトを操作するために、Direct manipulation テクニックを適用

する。すでに、直接的なマニピュレーションテクニックを使って三次元のオブジェクトを編集することにおけるいくつかの作品が提案されていた。

しかし、それらは特別な入力装置を必要とする。我々は、ユーザーにとって特別な入力装置を使わずに三次元のオブジェクトを処理することができる物を作ることがためになると考える。我々は、ユーザーにとって特別な入力装置を使うにかかわらず、我々の入力装置としてマウスを使う。我々は、ユーザーが、マウスを使って三次元のオブジェクトを処理できるシステムを実装する。

ユーザーが三次元のオブジェクトを処理する時には、入力装置が二次元なので、ユーザーは、オブジェクトのポジションを指定するのが難しい。ユーザーが三次元のオブジェクトを操作する時には、コンピュータのディスプレイが二次元なので、情報の不足がある。これらの問題を解決するために、我々は、付加的な情報を使って、強化されたテクニックである「augmented manipulation」を提案する（図1を参照）。我々は、付加的な情報を表

現するために、以下のオブジェクトを使用する。



この図は、3次元の空間のオブジェクトの空間のポジションを把握できる。ユーザーはグラウンドを3次元の空間の標準のポジションとみなすことができる。

- 影
グラウンドにあるオブジェクトの影を示すことによって、ユーザーは、他のオブジェクトと関連するオブジェクトのポジションを把握できる。ユーザーは、影の形を見てオブジェクトのアウトラインを理解できる。
- 3次元のカーソル
ユーザーにより指定されるポジションが3次元のカーソルとして表現出来る。
- 制限ボックス
制限ボックスは、平行に指定されたオブジェクトを取り囲んでいる直方体である。ユーザーは、しばしば、3つの独立したビューにおいて使われる面に沿ってオブジェクトを動かしたい。制限ボックスを構成している面を使うことによって、ユーザーは3つの独立したビューを使わずにこのオペレーションを実行できる。

我々はすべての付加的な情報 semi をわかりやすく示す。オブジェクトが付加的な情報と重なっている時には、付加的な情報 semi を示すことがわかりやすく効果的である。

3 モデラーの概念 「Claymore」

我々は3次元のモデリングツール「Claymore」を実行する。我々は以下の概念を強調する：

- Augmented manipulation
ユーザーは付加的な情報によって3次元のオブジェクトを直接操作できる。
- Intuitive operation
サーフェス・モデルによって表現されているオブジェクトは、1 グループのポリゴンにより構成されている。オブジェクトの中は空洞である。まるでオブジェクトが空洞ではないかのように我々はユーザーにオブジェクトを示す。

我々は、3次元のモデルを表現するために、共通のサーフェス・モデルを用いる。サーフェス・モデルはポリゴンに表されている。ポリゴンは1 グループの頂点により定義される。

4 モデリングツール「Claymore」

”Claymore”はOpenGLによって実施される。それはUnixとMicrosoft Windowsで動く。

我々は、このモデラーのための「augmented manipulation」を実施する。

ユーザーは、マウスを使って付加的な情報と重複しているオブジェクトを処理できる一方、遠近法図を同時に見る。

我々は以下の機能を実装した。ユーザーは、ウィンドウのトップに置かれるボタンを選ぶことができる。ユーザーは、ボタンを使ってオペレーションモードを変更できる。これらのボタンは以下の機能を示す：Move, Rotate, Cut, Deform, Create, Delete, Group, and Save to VRML format.

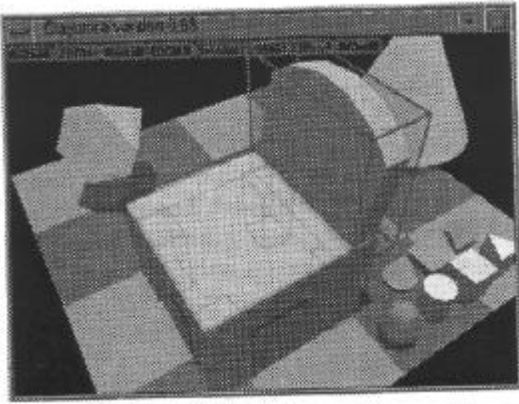


図2 「Claymore」のスクリーンショット



図3 選択ボタン

4.1 三次元のスペースのポジションを指定

以下の2個の情報はこのモデラーにおいて使われる：

- マウスポジション.
- オブジェクトの形状.

システムは二次元のウィンドウのオブジェクトの三次元の座標値を計算する．ユーザーは二次元のイメージを見る．ユーザーは、マウスを使ってウィンドウのポイントを指定する．ユーザーは三次元のオブジェクトの表面に触れることができる．

我々は、遠近法変化のモデルを簡素化するために、以下を仮定する：表示座標は、ウィンドウの中央に存在する原点を持っている（図4を参照）．

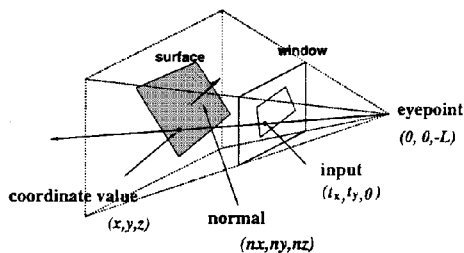


図4 座標の値を指定します

システムは、以下の2つの要素の間の交差点の座標値を計算する（図4を参照）：

- (1) 二次元のウィンドウのマウス・カーソルにより eye ポイントと指定されたポイントを接続する直線.
 - (2) ウィンドウのマウス・カーソルにより指定される三次元のオブジェクトを構成している面.
- $(tx, ty, 0)$: ウィンドウのマウス・カーソルのポジション
 - $(0, 0, -L)$: eye ポイントのポジション
 - (nx, ny, nz) : (2) の面の垂直なベクトル

直線 (1) と面 (2) の間の交差点は、以下の式によって計算される：

$$z = \frac{-(n_x t_x + n_y t_y + d)}{\frac{n_x y_x + n_y t_y}{L} + n_z}$$

$$x = \frac{t_x(z + L)}{L}, \quad y = \frac{t_y(z + L)}{L}$$

上の (x, y, z) は、ユーザーにより指定される三次元のポイントである．

5 モデリングプロセス

ユーザーは、以下のプロセスを使ってモデルを組み立てることができる．

- 1 根本的なオブジェクトを作成.
- 2 オブジェクトを切り、変形させることによってパーツを構成.
- 3 動きと回転によってパーツを手配.
- 4 部分を結合.
- 5 モデルを保存.

5.1 オブジェクトを作成

我々は基本モデルとして以下のオブジェクトを準備する：球、シリンダ、円錐、立方体、四角いピラミッド、三角のプリズム、四面体。

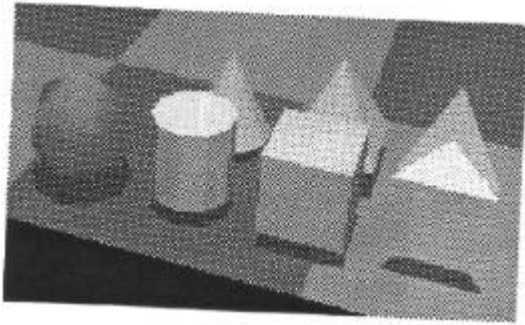


図 5 基本モデル

これらのモデルのミニチュアはアイコンとして置かれる。ユーザーがミニチュアのうちの 1 つをクリックする時には、モデルはウィンドウのセンターに出る。その形はそのオリジナルなモデルと一致している。

5.2 オブジェクトを切る

ユーザーは、カッター面を使ってオブジェクトを切ることができる。カッター面がオブジェクトを切る時には、オブジェクトは 2 つの部分に別れる。

ユーザーは、マウスの動きを使ってカッター面を動かすことができる。カッター面の正常は、ユーザーがクリックするポイントに依存する（図 6 参照）。方向の 3 つの発展性がある：

- a- 表面.
- b- オブジェクトの辺.
- c- オブジェクトの頂点.

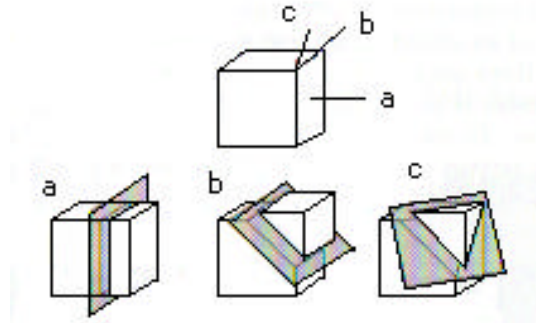


図 6 3 種類のカッター面

ユーザーはその垂直の方向に沿ってカッター面を動かすことができる。

切断の後に、システムはカッター面の場所で新しい 2 つの表面を自動的に作成する。2 つの表面の自動的な作成のため、ユーザーはオブジェクトが空ではないように感じている。

5.3 オブジェクトを変形させる

自由フォーム変形 (FFD) テクニックはオブジェクトの変形方法である。

オブジェクトは、FFD を使ってなめらかに変換できる。オブジェクトは、いくつかのコントロールポイントを持っている制限ボックスで取り囲まれる。ユーザーは、コントロールポイントを動かしてオブジェクトを変換できる。我々は、簡略化された FFD を使う。

我々は制限ボックスの頂点のために 8 コントロールポイントを準備した。ユーザーは、制限ボックスを構成している面を動かして 4 コントロールポイントを同時に動かすことができる（図 7 参照）。

ユーザーは制限ボックスにおいてオブジェクトをなめらかに変換できる。制限ボックスを構成している面の動き方は、3.3 において使われる方法と同じである。

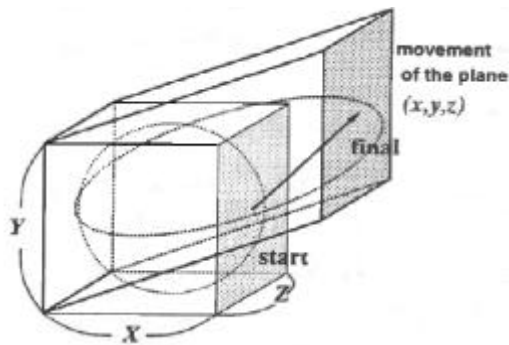


図7 簡略化された FFD

5.4 オブジェクトを動かす

ユーザーがウィンドウのオブジェクトを選び、動かす時には、オブジェクトはマウスの動きに従って動かされるべきである。

x, y, z の3つのパラメータが、三次元のスペースのオブジェクトの動きに必要です。しかし、マウス動きが二次元なので、たった2つのパラメータしかない。情報の不足がある。この問題を解決するために、我々は、オブジェクトの動きを限定する2つの面を準備しておく（図8と9参照）。1つはグラウンドと平行している。もう1つはグラウンドに対し垂直である。

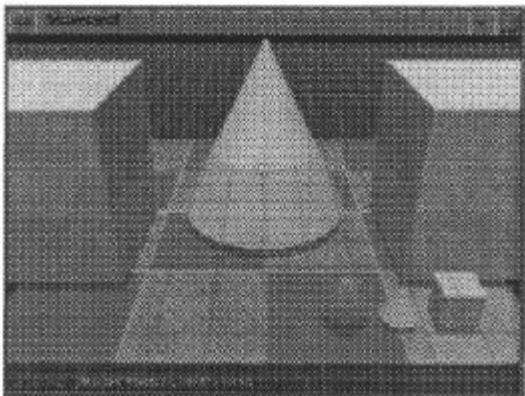


図8 グラウンドと平行した面

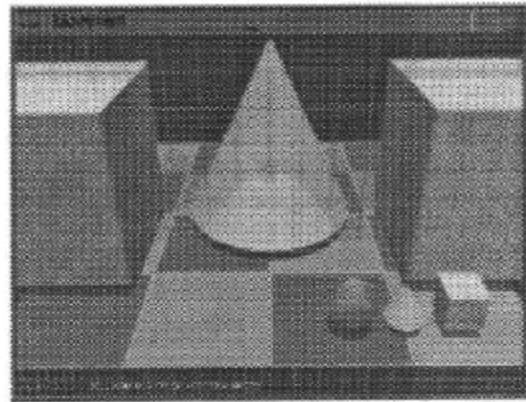


図9 グラウンドに対し垂直の面

ユーザーがオブジェクトを動かす時には、彼らは、マウスの左または右のボタンを使って面を選ぶことができる。

マウスの左のボタンをホールドダウンする間ユーザーがオブジェクトを動かす時には、オブジェクトは、グラウンドと平行した面に沿って動かされる（図8参照）。もしユーザーがマウス・カーソルを右（左）に移動させるならば、ウィンドウのオブジェクトはまた、右（左）に移動させられる。もしユーザーがマウス・カーソルを上（下）に動かすならば、ウィンドウのオブジェクトは正面（後ろ）に移動させられる。

マウスの右のボタンをホールドダウンする間ユーザーがオブジェクトを動かす時には、オブジェクトは垂直の面に沿ってグラウンドに移動させられる（図9参照）。

5.5 オブジェクトを回転させる

オブジェクトは、マウスが動く方向に回転します。

回転の従来の方法を使うことによって、マウスの動きの距離は小さい距離に分解されて、オブジェクトは少しずつ回転する。しかし、従来の方法は、もしユーザーがマウス・カーソルを回転の開始ポイントに戻すならばオブジェクトの姿勢が初期のポジションに戻さないであろう問題を持っている（図10参照）。



図 10 従来の回転テクニック：
最終的なポジションは初期のものと違う

直接的なマニピュレーションテクニックは「リバーシブルのマニピュレーション」を必要とする。我々は、オブジェクトを回転させる間、リバーシブルのマニピュレーションを採用する。ユーザーは、マウスの対応した方向によってオブジェクトを回転できる。もしユーザーが動かなくなれば、マウス・カーソルを回転の開始ポイントにバックさせる。オブジェクトの姿勢は初期のポジションに戻される。

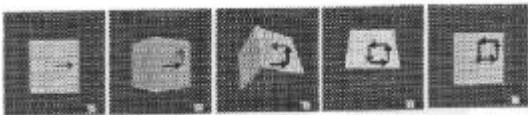


図 11 我々の回転テクニック：
最終的なポジションおよび初期のものは同じ

ユーザーがオブジェクトを回転させる時には、回転の軸は、マウスの動きの方向に対して垂直であり、それは計算されている。オブジェクトはこの軸に沿って回転する（図 12 参照）。

回転角度はマウスの動きの方向と距離によって計算される。回転角度がマウスの動きのパスから独立なので、この回転方法は従来のアプローチと違う。

我々の回転方法は以下のプロセスによって計算される：

(t_x, t_y) : マウス・カーソルの座標値

M_{LW} : モデリング座標を世界座標に変換するために用いられる変換行列

(t_x, t_y) と M_{LW} は、回転の初期の条件として使われるように格納される

(m_x, m_y) : マウス・カーソルの現在の座標値

r : マウスクリックのポジションとマウスの現在のポジションの間の距離

θ : マウスの動きの方向（図 12 参照）

r と θ は、以下によって計算できる：

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

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

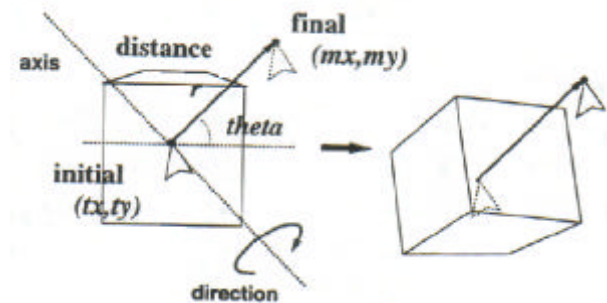


図 12 オブジェクトの回転

回転の軸はマウスの動きの方向に垂直である。 M_{LW} は、軸に沿ってオブジェクトを回転させることによって変換される。新しい変換行列 M'_{LW} は、以下のように計算される：

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

$$\begin{pmatrix} \cos -\theta & \sin -\theta & 0 \\ -\sin -\theta & \cos -\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} M_{LW}$$

変換行列として M'_{LW} を使うことによって、ユーザーは、マウスの動きの対応した方向によってオブジェクトを回転できる。

5.6 オブジェクトのグループ化

ユーザーは、選ばれたオブジェクトをグループにすることができる。ユーザーが、マウスボタンをクリックしてオブジェクトを選ぶ時には、オブジェクトの制限ボックスが現れる。複数のオブジェクトは、グループを組織するために選ばれる。

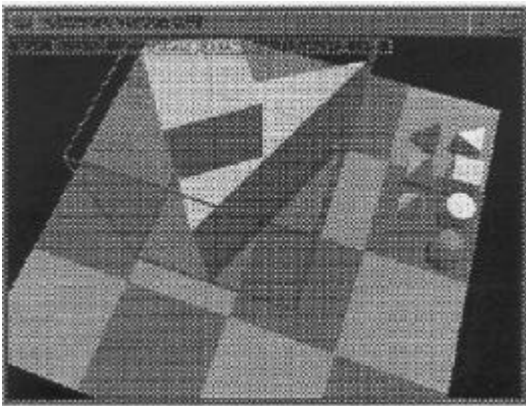


図 13 オブジェクトのグループ化

選ばれたオブジェクトのグループのための制限ボックスは、グループのオブジェクトのうちのそれぞれの制限ボックスを結合することによって建設される。

オブジェクトのグループは、1つの結合されたオブジェクトとして処理できる。

5.7 VRML にエクスポートする

ユーザーが VRML フォーマットにモデリングデータを格納または交互に Wavefront OBJ フォーマットでできること。

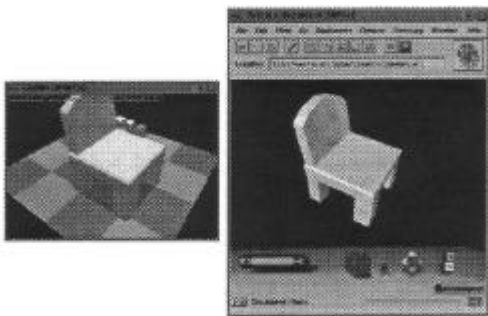


図 14 VRML フォーマットに保存

「Claymore」を使って作られるモデルは、他の三次元のツールにエクスポートできる。それらは、VRML Web ページを作成する間、モデリングデータを利用できる (図 14 参照)。

6 ジョイントにより接続されたオブジェクト

我々は、三次元のエディタ「Claymore」の機能を拡張する「Juggler」を開発した。

「Juggler」は、それを通して 2 つのオブジェクトが接続できるジョイントを提供する (図 15 参照)。いったん接続されたら、オブジェクト残りの接続された終わりが固定した間、オブジェクトは動かされる。ユーザーはジョイントに沿ってオブジェクトを回転できる。動作は、膝のまわりの足の動作または肘のまわりのアームの動作に似ている。

ユーザーは、「augmented マニピュレーション」を使ってオブジェクトを操作できる。

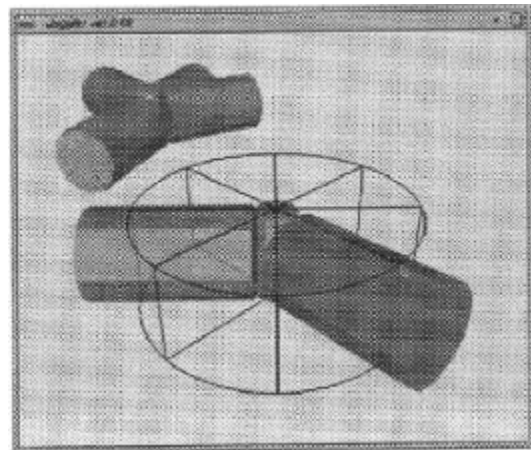


図 15 「Juggler」のスクリーンショット

我々は、ジョイントにより接続されたオブジェクトを回転させる「Claymore」の回転方法を適用する。

ジョイントにより接続されたオブジェクトを処理する方法は、「Claymore」において使われる。

7 関連した研究

MichaelChen などは, 三次元の空間での回転の方法をマウスを使って数値を求める. 彼らは, 仮想の球コントローラを使って回転の方法を提案している. 我々のアプローチにおいて, 回転角度はマウスの動きの方向と距離によって計算される. 回転角度がマウスの動きのパスから独立なので, この回転方法はそれらのアプローチと違う.

Robert C.Zeleznik などは, 三次元のオブジェクトを操作することに直接的なマニピュレーションテクニックを推薦している. 彼らのテクニックは, 二次元の入力装置としてペンを使ったそれらの三次元のモデラー「SKETCH」において実施された. 「SKETCH」が, 直角な変化を使ってウィンドウに三次元のオブジェクトを表現したので, ユーザーは遠近法のオブジェクトを見なかった. 我々のモデラー「Claymore」がマウスを入力装置に採用する. 「Claymore」が遠近法変化を使うので, オブジェクトは遠近法にある.

8 まとめ

我々は, 三次元のオブジェクトを操作するために, 直接的なマニピュレーションを適用する. 我々は, 付加的な情報を使って, 強化された直接的なマニピュレーションテクニックである「augmented manipulation」を提案する. 我々は, このテクニックを使って「Claymore」という三次元のモデリングツールを実施する.

この研究は科学研究費 番号09878076 と 番号09245203 のための補助金によって部分的にサポートされる.

ここに説明された「Claymore」の例は以下の URL から WWW を経て十分に実施されて, 得られる.
<http://www.softlab.is.tsnkuba.ac.jp/iplab/claymore/>

参考文献

- [1] Jiro Tnaka, Hideki Mitsunobu, Takashi Oshiba,
 Claymore:Three-Dimensional Modeling Tool,
 ICSE'98, (1998), 67 - 72