法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-13

拡張現実感を用いた３Dオブジェクト生成CADの開発

SUZUKI, Takanori / 鈴木, 隆徳

(発行年 / Year)
2009-03-24
(学位授与年月日 / Date of Granted)
2009-03-24
(学位名 / Degree Name)
修士(工学)
(学位授与機関 / Degree Grantor)
法政大学 (Hosei University)

2008 年度　修士論文

拡張現実感を用いた
3D オブジェクト生成 CAD の開発

指導教授　岩月　正見　教授

法政大学大学院工学研究科

電気工学専攻修士課程

07R3120

スズキ　タカノリ

鈴木　隆徳

Development of a CAD Tool for generating 3D Objects with Augmented Reality

Takanori SUZUKI

Abstract

This paper proposes a new prototype of a CAD tool that can generate intuitively 3D objects with Augmented Reality. The proposed tool can generate a 3D sweeping object with an arbitrary contour recognized as a plane closed curve that is drawn by mouse operation or by handwriting on paper. It can be advanced to an interactive and intuitive 3D-CAD with a precise 3D drafter composed of a display or a tablet.

目次

目次 3

第 1 章　緒言 5

1.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5

1.2　本論文の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

第 2 章　ARToolKit 7

2.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7

2.2　ARToolKit とは・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7

2.3　おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8

第 3 章　本システムの概要 9

3.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9

3.2　システムの概要と特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・9

3.3　おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・10

第 4 章　閉曲線の認識方法 11

4.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11

4.2　マウス操作による閉曲線・・・・・・・・・・・・・・・・11

4.3　手書きによる閉曲線・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

4.4　おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17

第 5 章　掃引体の生成方法　18

5.1　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18

5.2　初期掃引体の生成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18

5.3　任意形状の掃引体の生成・・・・・・・・・・・・・・・19

5.4　おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

第 6 章　結語　22

参考文献　23

謝辞　24

第1章　緒言

1.1　はじめに

近年コンピュータの処理能力が飛躍的な向上した事により，現実の環境から得られる知覚的情報に加え，コンピュータによって作り出された情報を重ね合わせることのできる拡張現実感(Augmented Reality)の技術を誰もが容易に実装できるようになった．このような AR 技術は，現実世界とコンピュータが生成する仮想世界を融合させることにより，新しいユーザインタフェースを構築が可能になり，医療・教育・建築・観光・エンタテイメント等さまざまな分野への応用が期待されている．

その中，インタラクティブで直感的に 3D オブジェクトを生成できる CAD の糸口となりえるツールを開発出来ないかと考え，研究を行った．

本稿ではこのプロトタイプのツールを提案する．このツールは，マウスや手書きによって平面上に描かれた任意の閉曲線を認識し，この平面を空間中で移動させることで，描かれた閉曲線を輪郭に持つ掃引体(Sweeping Object)を生成することができる．その輪郭は，途中で曲げたり，拡大縮小したりすることもできる．AR アプリケーションを実装することを目的として開発された ARToolKit を利用している．

1.2　本論文の概要

本論文は 6 章から構成されている.
各章の概要を以下に示す.

第1章　はじめにと本論文の概要

第2章　ARToolKit

第3章　本システムの概要と特徴

第4章　閉曲線の認識方法

第5章　掃引体の生成方法

第6章　本論文のまとめ

について述べる.

第2章　ARToolKit

2.1　はじめに

本章では ARToolKit について述べる．

2.2　ARToolKit とは

ARToolKit は AR アプリケーションの実装を手助けする C/C++用のプログラミングライブラリである．もともとは加藤博一先生(現在，奈良先端科学技術大学院大学教授)によって開発され，現在はワシントン大学の HIT Lab(Human Interface Technology Laboratory)によって研究が進められている．ARToolKit は公式サイトより無償でダウンロードが出来，ソースコードはオープンソースである．

ARToolKit は主に次の 4 つの機能がある．

①カメラからの画像の取得.

②マーカの検出とパターンの認識.

③マーカの 3 次元位置・姿勢の計測.

④実写画像と 3 次元 CG の合成表示.

使用するマーカは自分で作成する事が出来る．既存のものとして図 1 のような物がある．

カメラ座標系を$[X_c \quad Y_c \quad Z_c]^T$，マーカ座標系を$[X_m \quad Y_m \quad Z_m]^T$と定義すると，両者の関係は座標変換行列を用いて次式で表すことが出来る．

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & t_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

r_1~r_9は回転行列，t_x~t_zは並進行列を表す．これらを求める事によりマーカの 3 次元位置・姿勢の計測をしている．

3 次元 CG は図 2 のように Metasequoia で作成した 3D モデルを表示させることが出来る，また，アニメーションを付け自動的に動かしたりする事も出来る．

比較的容易に拡張現実感を実装出来，便利なライブラリである．

図 1　ARToolKit の既存マーカ

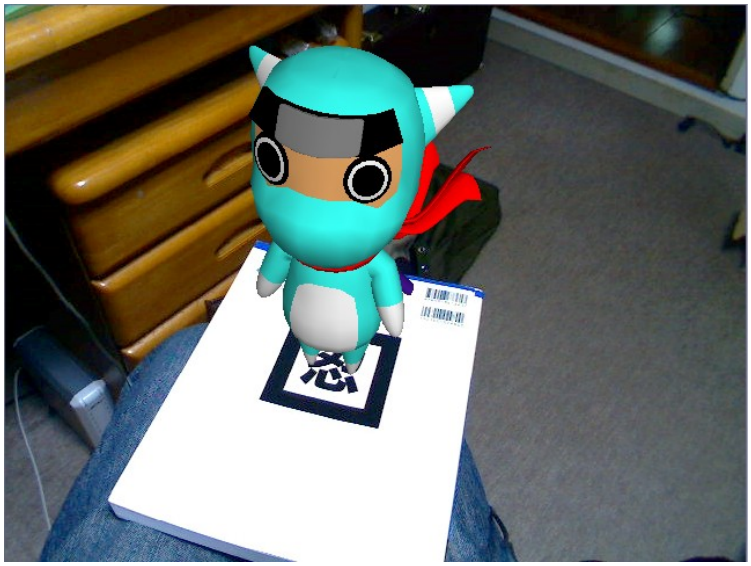

図 2　Metasequoia で作成した 3D モデルの描画

2.3　おわりに

本章では ARToolKit について述べた．

次章では本システムの概要について述べる．

第3章　本システムの概要

3.1　はじめに

本章では，本システムの概要について述べる．

3.2　システムの概要と特徴

本システムでは，図 3～5 にそれぞれ示すオブジェクトマーカ，基準マーカおよびペイントマーカの 3 つのマーカを Web カメラで捉え，ARToolKit 関数によって認識させることにより，3D オブジェクトを生成する．基準マーカはオブジェクトあるいはペイントマーカで生成されるオブジェクトの基準座標を与える．3D オブジェクトを生成している間，オブジェクトマーカから基準マーカへの座標変換行列を常に計算しており，マウス操作によって描かれた閉曲線を輪郭とした掃引体の生成に用いる．また，ペイントマーカは手書きで描かれた閉曲線を認識する際に用いる．

図 6 に本システムの概要を示す．まず，マウス操作によって描かれた閉曲線を描画する場合は，オブジェクトマーカと基準マーカを Web カメラで捉えられる位置に置き，オブジェクトマーカを基準とする白い仮想キャンバスを生成する．その上にマウス操作により頂点を与えながら閉曲線を描き，各頂点の座標を取得していく．また，手書きで描かれた閉曲線を使用する場合は，ペイントマーカの記載された用紙にマジックで閉曲線を描き，これを認識させて折線近似し各頂点座標を取得する．つぎに，描画された閉曲線ポリゴンを輪郭とする薄い板状の掃引体を生成し，オブジェクトマーカを動かして延長させ，キー操作によりその長さを決定しながら，任意形状をもつ掃引体を生成する．

この動作を繰り返すことにより，掃引体を 1000 個まで表示させる事が出来る．

図 3　オブジェクトマーカ

図 4　基準マーカ

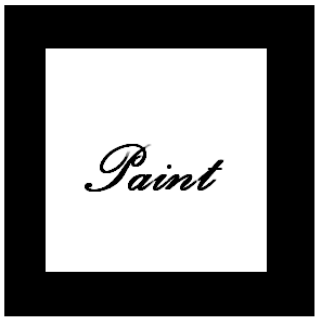

図 5　ペイントマーカ

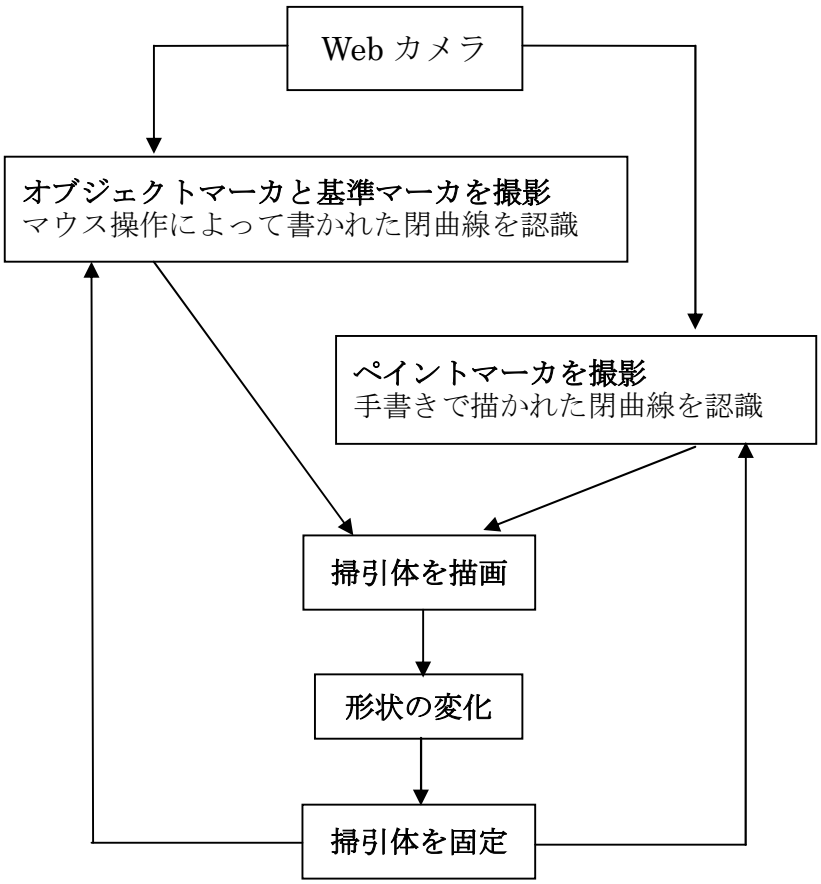

図 6　システムの概要

3.3　おわりに

本章では本システムの概要について述べた.
次章では閉曲線の認識方法について述べる.

第4章　閉曲線の認識方法

4.1　はじめに

本章では閉曲線の認識方法について，マウス操作と手書きによる閉曲線の２つの場合について述べる．

4.2　マウス操作による閉曲線

まず，図７のように基準マーカとオブジェクトマーカを撮影し，マーカ座標系の x-y 平面上に 300×180 の白い仮想キャンバスを生成する．このキャンバス上で，マウスで左クリックをして頂点を与えながらドラッグして，曲線を描く．最後に，右クリックにより最初の点と最後の点が結ばれ，閉曲線が描かれる．クリックした頂点座標は，マーカ座標系における x-y 平面上の座標として取得しているので[1)]，現実のキャンバスを見ている感覚で描画できる．その例を，図８に示す．

図７　仮想ホワイトキャンバス

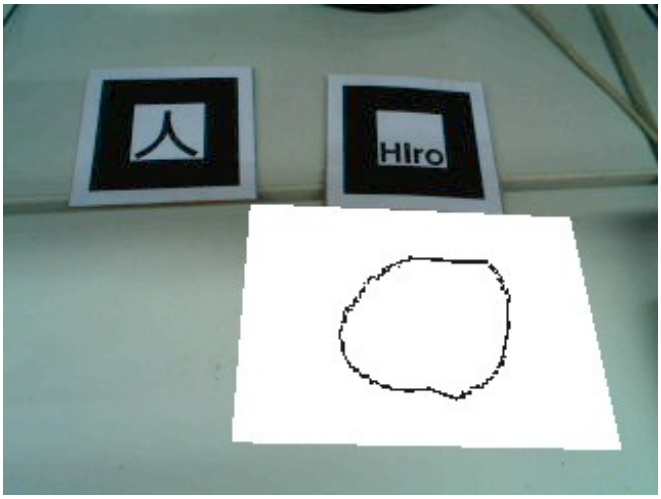

図８　閉曲線

マウスの位置は OpenGL の glutMouseFunc()と glutMotionFunc()により，**左クリックしてから離すまでの画像上のマウスの位置を計測している**.

さらに検出された画像の点座標からマーカ座標への変換方法は次の通りである.

まず図９のようなモデルがあるとする.

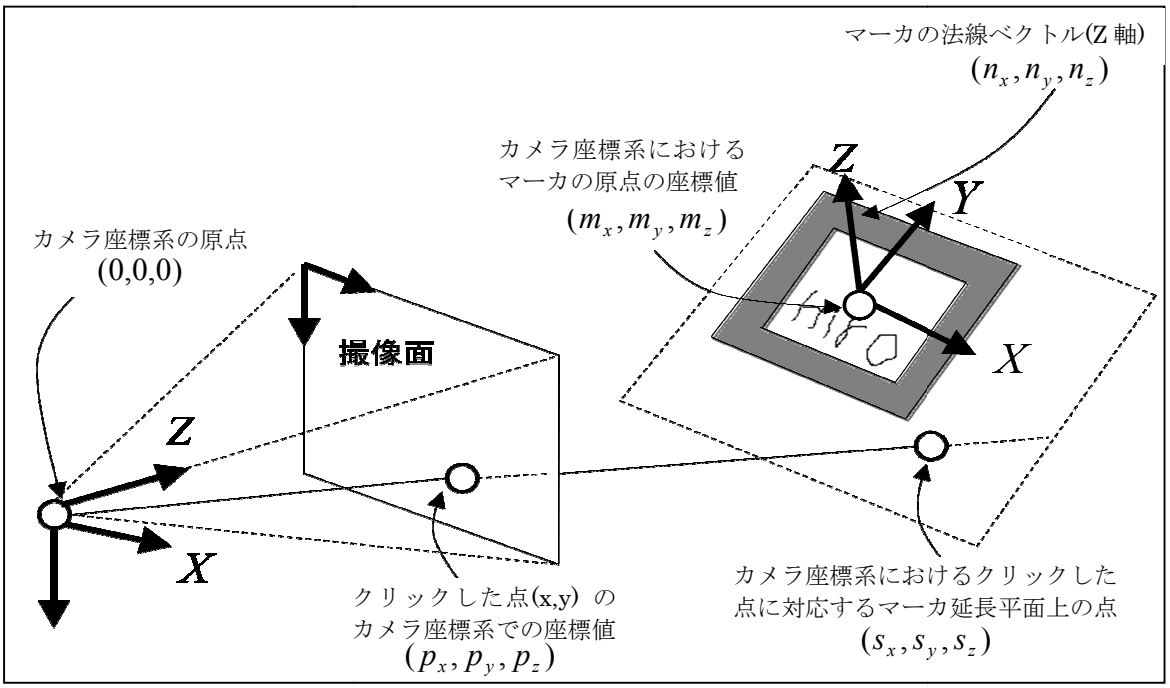

図９　モデル図

図 9 よりカメラ座標系の原点(焦点)と,撮像画面上の点を通る直線の方程式は(2)式になる.

$$L_{(t)} = t\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \tag{2}$$

※t は媒介変数

マーカを含む平面の方程式は，マーカの原点の座標とマーカの法線ベクトルにより(3)式が成り立つ.

$$n_x(X_c - m_x) + n_y(Y_c - m_y) + n_z(Z_c - m_z) = 0 \tag{3}$$

※ X_c , Y_c , Z_c はカメラ座標系の座標値を表す変数

(2)式，(3)式を合わせると(4)式が成り立つ.

$$n_x(tp_x - m_x) + n_y(tp_y - m_y) + n_z(tp_z - m_z) = 0 \tag{4}$$

(4)式を t について解くと(5)式となる.

$$t = \frac{n_x m_x + n_y m_y + n_z m_z}{n_x p_x + n_y p_y + n_z p_z} \tag{5}$$

(5)式を(2)式に代入することにより交点座標，すなわち (s_x, s_y, s_z) を求める事が出来る．求められた (s_x, s_y, s_z) はカメラ座標系である.
ARToolKit によって求められている座標変換行列の逆行列を用いて，カメラ座標系からマーカ座標系に変換する.

この計算をクリックされた際のマウスポインターの位置すべてにおいて行う.

そうする事により，現実のキャンバスを見ている感覚で閉曲線の描画が出来る.

4.3　手書きによる閉曲線

手書きの閉曲線を認識する為に次の処理を行う．

①　図 10 のようにペイントマーカが印刷された用紙をキャンバスとして閉曲線をマジック等で描き，これを撮影する．

②　ペイントマーカの座標系において，(-90,-50,0)，(90,-50,0)，(90,-185,0)，(-90,-185,0)を頂点とする矩形領域（赤い線で囲まれた領域）を切り取とり，図 11 のように真上から見たような画像を得る．

※この際に赤い矩形領域と，ウインドウ画像の角の 4 点とのホモグラフィー行列を求めておく．

③　図 11 の画像から色の反転処理を行い，図 12 のような画像を得る．

④　表 1 にある細線抽出マスクを用いた BandPass フィルタを通し，ノイズを除去し，図 13 のような画像を得る．

⑤　膨張収縮処理を行い，線を太くする．（図 14）

⑥　図 13 の画像に②で求めたホモグラフィー行列の逆行列を用いて射影変換を行い，元の平面座標に戻す．（図 15）

⑦　OpenCV の cvFindContours を用いて，図 15 の画像より閉曲線の座標点を求める．この座標点を図 9 上に赤で示すと図 16 のようになる．

以上の 7 項目を行うことにより，手書きによる閉曲線を認識する事が出来る．

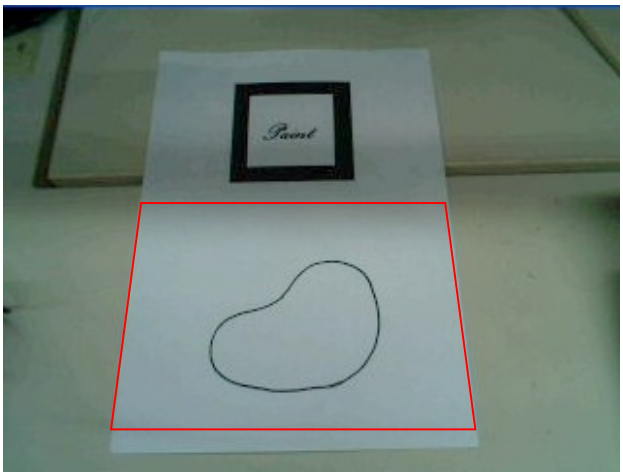

図 10　実際のキャンバス上に描かれた閉曲線

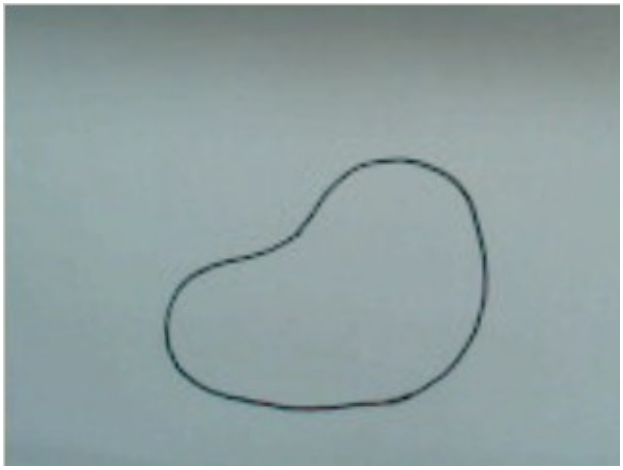

図 11　切り取り画像

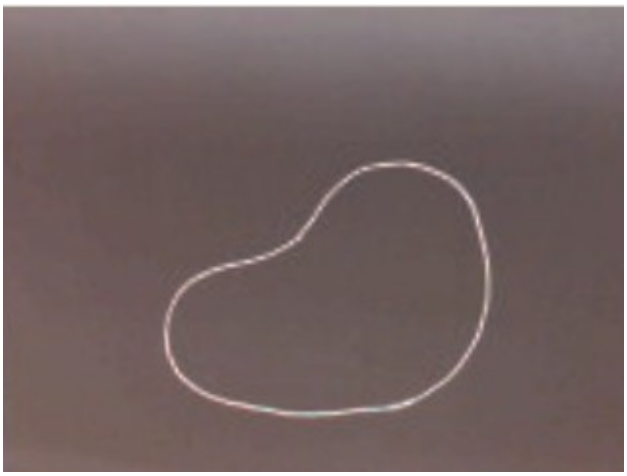

図 12　色の反転画像

図 13　エッジ抽出

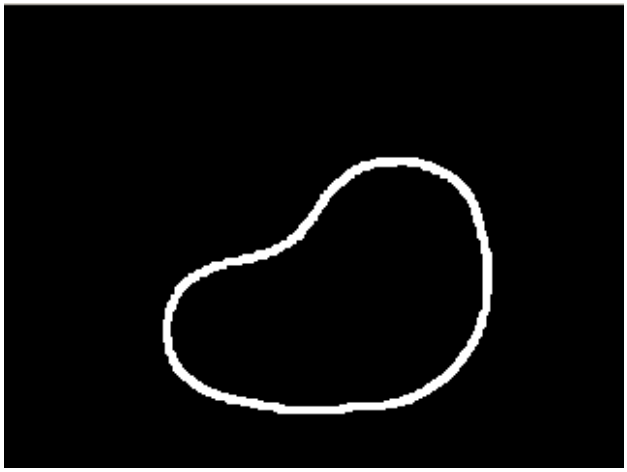

図 14　膨張収縮

図 15　射影変換後

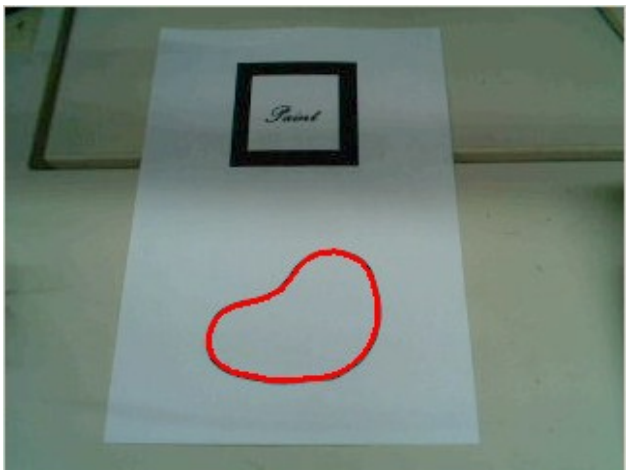

図 16　結果画像

0	-2	-2	-2	0
-2	0	3	0	-2
-2	3	12	3	-2
-2	0	3	0	-2
0	-2	-2	-2	0

表 1　細線抽出マスク

4.4　おわりに

本章では閉曲線の認識方法について，マウス操作と手書きによる閉曲線の 2 つの場合について述べた．

次章では掃引体の生成方法について述べる．

第5章　掃引体の生成方法

5.1　はじめに

本章では掃引体の生成方法について述べる.

5.2　初期掃引体の生成

まず４章で求めた閉曲線の点座標より，2 次元座標での法線ベクトルを求め，図 17 と図 18 にように，描いた閉曲線を輪郭とする薄い板状の掃引体を描画する[4]. 掃引体の初期位置は閉曲線の中心点がオブジェクトマーカの中心点となるようにしている．また，Z 軸方向に 10mm の高さを持つように描画する.

描画には OpenGL の gleSuperExtrusion ()を使用している.

関数の中身は以下の通りである.

void gleSuperExtrusion (int *ncp* , gleDouble *contour*[][2], gleDouble *cont_normal*[][2], gleDouble *up*[3], int *npoints* , gleDouble *point_array*[][3], gleDouble *color_array*[][3], gleDouble *xform_array*[][2][3]);

要素の説明

- *ncp*
  number of contour points
- *contour*
  2D contour
- *cont_normal*
  2D contour normals
- *up*
  up vector for contour
- *npoints*
  numpoints in poly-line
- *point_array*
  polyline vertices
- *color_array*
  colors at polyline verts
- *xform_array*
  2D contour affine transforms

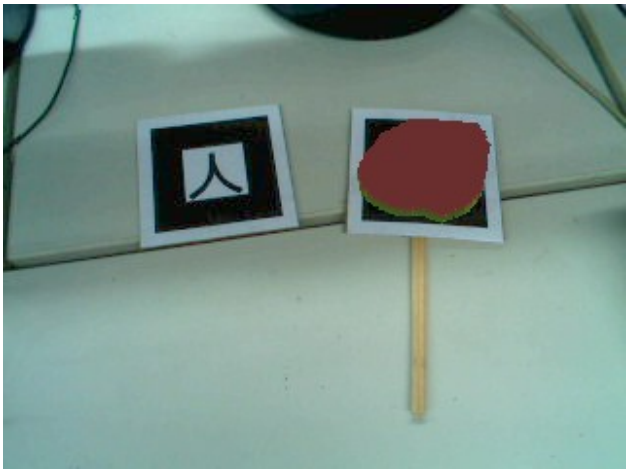

図 17　初期掃引体　その 1

図 18　初期掃引体　その 2

5.3　任意形状の掃引体の生成

掃引体の長さは, スタート時のオブジェクトマーカの中心点と現在のオブジェクトマーカの中心点との位置関係により与えられる．図 19 のようにオブジェクトマーカを動かすことにより四方八方に掃引体の長さを伸長することができる．また，掃引体の長さを伸長するだけではなく，図 20 のように角度を変えたり，図 21 のように輪郭を拡大縮小したりできる．角度の変化に関しても，オブジェクトマーカの中心点と現在のオブジェクトマーカの中心点との位置関係により，キー操作により決定できる．

図 19　長さの変化

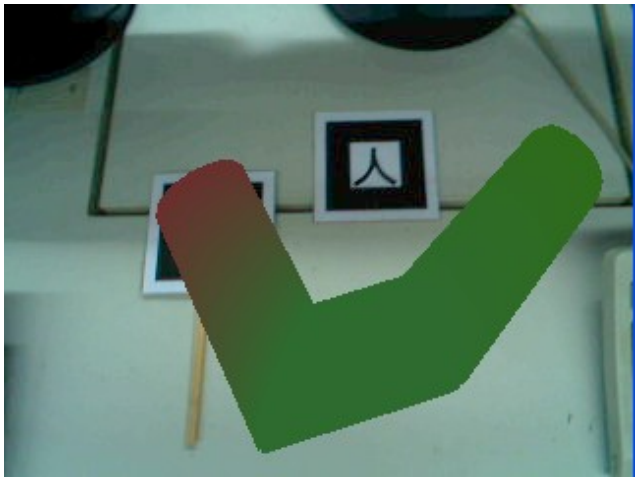

図 20　角度の変化

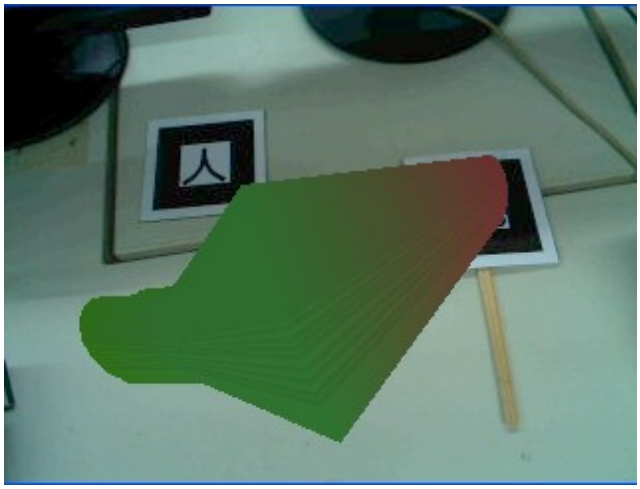

図 21　幅の変化

• キー操作一覧

a： 固定＆新たの掃引体の追加
d： 長さの変更
v： 角度の変更
e： 幅の変更１(細くする)
r： 幅の変更２(太くする)
b： v,e,r を押した後，新たに v,e,r の動作を行いたい場合に押す
l： ペイントマーカを認識し，手書きによる閉曲線を認識する

• 問題点

① 掃引体を描くにあったって，操作がしにくく使いづらい.

② 基準マーカの座標軸とオブジェクトマーカの座標軸がずれてしまうと，表示されている掃引体とオブジェクトマーカの位置がずれてしまう.

③ マウスで閉曲線を認識し掃引体を描画した際，たまに初期掃引体の上部が表示されない場合がある.

5.3 おわりに

本章では掃引体の生成方法について述べた.
本章で証明したとおり，インタラクティブで直感的に 3D オブジェクトを生成できる CAD の糸口となりえるツールのプロトタイプを作成する事が出来た.

第6章　結語

本システムは，拡張現実感によって 3D モデルを感覚的に作成できる，まったく新しい 3D-CAD を実現するためのツールの糸口なると期待している．最終的には，粘土や紙細工のように，感覚的で子供でも簡単に 3D モデルを生成できるツールを開発することを目指している．さらに，本システムと操作性の良い 3D ドラフターやヘッドマウントディスプレイと組み合わせて，専門家に対しても実用に耐えるような，精密な 3D-CG モデルを作成できるようにしたいと考えている．

そのためには 7 章であげた問題点を解決していかなくてはならない．

①の問題点を解決するにはプログラムを大きく変えなければいけない．

今現在はコンソールアプリケーションでのプログラムであるが，Windows アプリケーションに変更し，現在のプログラムで行っているキーボードのキー操作での動作を選択式にする必要があると考える．

②，③に関してはまず原因を突き止め，改善する必要があると考える．

参考文献

1) 橋本直著書, “ARToolkit 拡張現実感プログラミング入門” ASCII 出版 pp167-180 Sep.2008

2) ARToolKit Home Page: http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/

3) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック製作チーム: “OpenCV プログラミングブック”, 毎日コミュニケーションズ pp101 146-155 Sep.2007

4) GLE Tubing and Extrusion Fact Sheet: http://linas.org/gle/

5) 鈴木隆徳, 岩月正見 : “拡張現実感を用いた 3D オブジェクト生成 CAD の開発”,第 41 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, 2009

謝辞

本論文は，著者が法政大学大学院工学研究科電気工学専攻に在学している際に，法政大学工学部情報電気電子工学科岩月研究室において行った研究を取りまとめたものです．本研究を遂行するに当たり，全般的に深い御指導，御協力を賜りました岩月正見教授に心から感謝いたします．また，四年間共に研究に励んできた植田君，戸佐君，ならびに学部生の皆々様に深く御礼申し上げます．

2009 年 2 月 18 日

Takanori　SUZUKI