

画像電子学会 秋季セミナー

## スケッチインタフェースによる直観的な形状モデリング手法

井尻敬 博士(情報理工学)  
理化学研究所,  
VCADシステム研究プログラム

## Summary of this talk

- 1990頃から、迅速/直観的/ラフに3D modelをデザインできる、スケッチインタフェースの研究が多く発表されている
- 最近発表されたスケッチインタフェース関係の研究を浅く広く紹介する
- ねらい  
このような研究分野があることを知ってもらう

## Contents

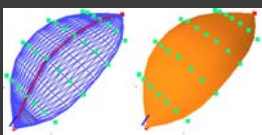
- スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
    - 植物のモデリング
  - 自由曲面の変形
- まとめ

## 背景

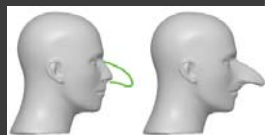
- 近年、多くの汎用モデリングソフトが開発されている
  - Autodesk 3ds MAX, Autodesk MAYA, D-storm LightWave3D, E-frontia shade, Metasequoia, MicroSoft true shape, Google SketchUp, Rapid3D, 六角大王 ...etc...
- CGコンテンツ制作に必要な不可欠な存在である
- 汎用モデリングソフトは多機能であるため手数が多く、習熟/モデリング時間がかかる
- 時間をかけて詳細なモデルを作る作業に向いている

## 背景

- ラフでいいから迅速にモデルを作りたいという需要
  - Rapid Prototyping: 短時間でラフなモデルやシーンを作成し完成図を予想
  - 教育/説明用目的: インタラクティブに3Dモデルを生成・変形しながら物事を説明する。(図工, 地理, 医療, etc)
- スケッチインタフェースをモデリングに導入する



制御点操作



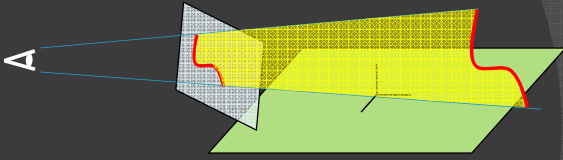
スケッチストロークによる変形

## スケッチベースのモデリングシステム

- 1990年あたりからCG研究界で発表されている
- ACM SIGGRAPH, EUROGRAPHICS, PACIFIC GRAPHICS, UIST, Workshop on SBIM, etc
- 作る対象で分類すると
  - プリミティブ形状を生成するもの
  - 自由曲面を作るもの
    - 植物の形状を作る
  - 自由曲面の変形をするもの

### ストロークの解釈: 2D → 3D

- ストロークは2Dデバイスにより入力される



- 入力された2Dのストロークを**解釈**し、
- →3Dのストロークにする
- →3Dの形状を生成する

### ストロークの解釈: 2D → 3D

- 任意のストロークをユーザの思い通りに3D化することは不可能
- ユーザ-システム間に強い制約を置く
  - モデリング可能なオブジェクトを限定する
  - 描けるストロークの種類を限定
 →作れるモデルは限られるが、直観性や迅速性は増す

### 制約の例: 3D curve drawing [Coen, SIGGRAPH99]

- 3D curveを作るインタフェース
- ユーザは**2本のストロークを描く**
  - 3D curveの見た目
  - 3D curveの床に落ちた影

対応が取れない場合はreject

### スケッチベースのモデリングインタフェース

- Goal
  - 迅速かつ直観的なモデリング環境の実現
- Approach
  - 頂点(ハンドル)操作ではなく、ストロークの入力を利用
- Point
  - モデリングできる対象を限定し、入力できるストロークに強い制約を置くことで、高い直観性と迅速性を得る

### Contents

- スケッチベースのモデリングインタフェースとは10min
- スケッチによる形状モデリング
  - **Primitive形状のモデリング 8min**
  - 自由曲面のモデリング 15min
    - 植物のモデリング 10min
  - 自由曲面の変形 15min
- まとめ

RC Zeleznik, KP Herndon, JF Hughes [Video3:00](#)  
**SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes**  
 SIGGRAPH96, 605

- 幾何形状を生成/編集するスケッチジェスチャを提案
- Generation:
  - 立方体、円錐、球、回転体、スイープ
- Editing:
  - 陰を利用して配置の制御 Video 6:16
  - Boolean演算(オブジェクトに穴をあける等)

## Google SketchUp

- 2000, LastSoftwareからrelease
- 2006, Google SketchUpに
- ◎ Push/Pull機能により, 突起やくぼみを生成する

Devid Pugh,  
Designing Solid Objects Using Interactive Sketch  
Interpretation, **I3D**, 1992. **59**

- ◎ Viking : 2D線画 → 3D object
- ◎ ユーザ:
  - 2Dの線画を描く
  - 裏側にある線を指定
  - 制約加える
- ◎ システム: 線画を解釈し3D化
  - Face/edgeのトポロジーを生成
  - 頂点の場所を決定
    - すべての面が平面である
    - 制約を満たす

Invisible edgeを指定

3D化(edgeの長さが等しいという制約有)

Lee, S., Feng, D., and Gooch, B.

Automatic Construction of 3D Models from Architectural Line Drawings  
**I3D 2008, 4**

- ◎ 2D線画(pixel image) → 3D model
- ◎ ユーザはCubeの見え方を指定 [Video 0:52](#)
- ◎ システムが自動で3Dモデルを生成

Lee, S., Feng, D., and Gooch, B.

Automatic Construction of 3D Models from Architectural Line Drawings  
**I3D 2008, 4**

準備: pixel image → edge-face

Line segmentを置く

Line segmentをラベリング  
青: occluded edge  
緑: continuous edge

Lee, S., Feng, D., and Gooch, B.

Video 2:07から

Automatic Construction of 3D Models from Architectural Line Drawings  
**I3D 2008, 4**

- ◎ 一面ずつ3D化していく
- ◎ 人の認知に基づいた隣接面の角度決定
  - 2D線画で座標軸に平行な線は、3Dでも座標軸に平行
  - 2D線画で平行な2本の線は、3Dでも平行
  - 2D線画で同一直線に乗る線は、3Dでも同一直線
  - 2D線画のある角が隣接角と同じ角度なら、その角は3Dでは直角

## Contents

20

- ◎ スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- ◎ スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
    - 植物のモデリング
  - 自由曲面の変形
- ◎ まとめ

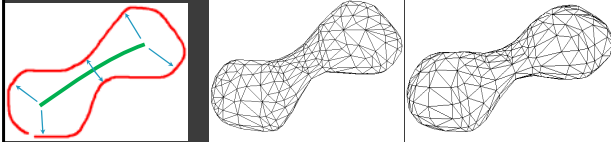
T Igarashi, S Matsuoka, H Tanaka  
Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design  
SIGGRAPH 1999, 693 [Demo](#)

- 自由曲面を生成/編集するためのstroke gestureを提案
  - 初期生成
  - 突起生成
  - Cut
  - deformation



T Igarashi, S Matsuoka, H Tanaka  
Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design  
SIGGRAPH 1999, 693

- 初期生成のalgorithm
  - 輪郭線のmedial axisを抽出
  - “太いところは厚く、細いところは薄くなる”
  - 断面が楕円になるように3D化



- 製品化
  - らくがき王国(TAITO), カイジウの島(SEGA), E-frontia Shade

G. Draper and P. Egbert  
A Gestural Interface to Free-Form Deformation  
Graphics Interface 2003, 13

- Free Form Deformationの為の直感的なジェスチャのセットを提案
  - FFD + Teddy = Freddy
- FFDとは...
  - 汎用的な変形手法
  - モデルを囲む格子をセットし、格子を変形すると内部のモデルもスムーズに変形する

G. Draper and P. Egbert  
A Gestural Interface to Free-Form Deformation  
Graphics Interface 2003, 13 [Video 0:18](#)

- FFDは通常多数の制御点操作が必要
- FFDの為の直感的なジェスチャのセットを提案
- システムはストロークを認識し自動でFFD格子を変形する

bend      Twist      Stretch/squash  
Twist metaphor

S.Owada, F. Nielsen, K. Nakazawa, T. Igarashi, [Video: 0:40](#)  
A Sketching Interface for Modeling the Internal Structures of 3D Shapes  
Smart Graphics 2003, 47

- Teddyでは, topologicalな変化が困難だった
- 内部構造を持つモデルを作成Sketch Interface
  - 臓器等, 空洞や管を持つモデルの作成が可能に!

穴をあける      スイープ生成

一旦切って空洞を生成

S.Owada, F. Nielsen, K. Nakazawa, T. Igarashi,  
A Sketching Interface for Modeling the Internal Structures of 3D Shapes  
Smart Graphics 2003, 47

- オブジェクトの集合演算が必要になる
  - 自由曲面の集合演算は, polygonの縫い合わせ処理の実装が非常に困難
- このシステムは2値voxel dataをデータ構造に採用
  - Voxel-baseの集合演算: 安定/自己交差なし/実装率
  - 表示用にvoxelをmeshに変換する

A ∪ B

A - B

A ∩ B      直方体 - 球

Y. Mori, T. Igarashi [Video 0:24](#)  
**Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys**  
 SIGGRAPH07, **15**

- ぬいぐるみの制作支援システム
  - Teddyの, 初期生成, 突起生成, cutによりモデリング
  - モデルではなくモデルを生成するために必要な型紙形状を計算

Y. Mori, T. Igarashi  
**Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys**  
 SIGGRAPH07, **15**

- モデル作る  
→展開して型紙作る  
→縫う  
→変
- モデル作る  
→型紙作って結果を計算  
→納得するまで上に戻る
- 縫う  
→good
- ◎ **モデリングシステムに物理シミュレーションを導入**
  - ユーザには綿をつめた結果に近い形状が示される

Olga Karpenko, and John F. Hughes.  
 "SmoothSketch: 3D free-form shapes from complex sketches".  
 Siggraph'06, **54**

- Teddyでは不可能であったOccluding contourを描ける
  - Cusp & T-junction

Olga Karpenko, and John F. Hughes. [Video 0:40-](#)  
 "SmoothSketch: 3D free-form shapes from complex sketches".  
 Siggraph'06, **54**

- ◎ **Creation process**
  - 1, 隠れた輪郭を推測 ( cuspとT-junction)
  - 2, panelを作って縫い合わせる
  - 3, 輪郭を維持しながら膨らます (パネモデル)

input

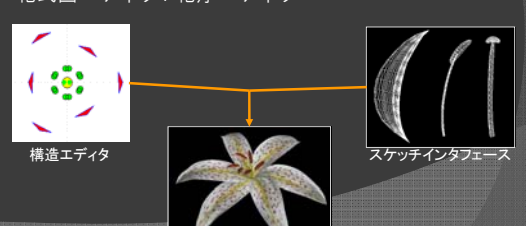
Contents 35

- ◎ スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- ◎ スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
  - 植物のモデリング
  - 自由曲面の変形
- ◎ まとめ

繰り返が多い  
 スケッチインタフェース + 繰り返しを制御する機能

T Ijiri, S Owada, M Okabe, T Igarashi [demo](#)  
 Interactive flower modeling using botanical structural constraints,  
 SIGGRAPH 05, **56**

- ◎ スケッチインタフェースに配置を制御する  
**構造エディタ**を加えた、花のモデリング手法
  - 2種類の構造エディタ
  - 花式図エディタ / 花序エディタ



構造エディタ

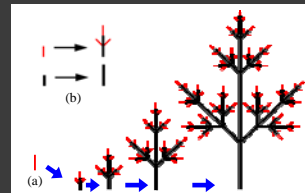
スケッチインタフェース

M. Okabe, S. Owada, T. Igarashi, [Video 1:40-Interactive Design of Botanical Trees Using Freehand Sketches and Example-based Editing](#), Eurographics 2005, 40

- 2Dの幹のスケッチを3D化
  - 見た目を維持しつつ、すべての枝が均等に分布するように3D形状を求める
- モデリングした部分から枝/葉の配置を推測

T. Ijiri, S. Owada, T. Igarashi, [demo-Sketch L-System: Global Control of Tree Modeling Using Free-form Stroke](#), Smart Graphics 2006, 11

- スケッチインタフェースにL-systemを統合
- L-systemのAxisをストロークにより描く



## L-systemとは...

- フラクタル表現の一種
- 初期状態と置き換え規則により、複雑な構造を表現
- 植物モデリングに広く使われる

L-systemによる複雑なモデルの例

## Sketch-based Plants Modeling (最近)

2Dスケッチから3Dを計算するのにデータベースを利用  
X Chen, B Neubert, YQ Xu, O Deussen, et al. Sketch-based tree modeling using Markov random field ... SIGGRAPH asia 2008

写真中の幹数本とクラウンの部分をなぞると、詳細な木のモデルができる。  
P Tan, T Fang, J Xiao, P Zhao, L Quan. Single image tree modeling. SIGGRAPH asia 2008

## Sketch-based Plants Modeling (最近)

外形ストロークから、L-systemのパラメータ抽出  
F Anastacio, P Prusinkiewicz, MC Sousa, Sketch-based parameterization of L-systems using... SBIM 2008

成長シミュレーションをストロークで制御  
枝形状、生長するbudの決定等  
W. Palubicki, P. Prusinkiewicz, et al Self-organizing tree models for image synthesis. SIGGRAPH 2009.

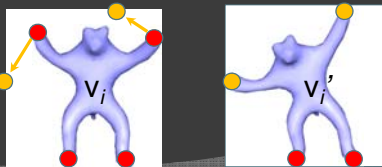
## Contents

- スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
    - 植物のモデリング
    - 自由曲面の変形
- まとめ



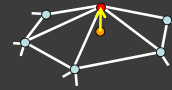
## 準備: Laplacian Mesh Editing

- メッシュの変形手法
- 局所部分の形状を維持しながらmeshの頂点を動かすことが可能
  - “DEMO”



## 準備: Graph Laplacian

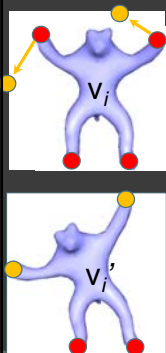
- 各頂点における局所形状をlaplacianで表す



$$\delta_i = L(v_i) = v_i - \frac{1}{d_i} \sum_{j \in N(i)} v_j$$

頂点 $v_i$ の1-ringの重心から、 $v_i$ を繋ぐvector

## 準備: Laplacian preserving editing



- 新しい形状  $v_i'$  は、
  - 局所形状(Laplacian)を維持する

$$v_i' - \frac{1}{d_i} \sum_{j \in N(i)} v_j' = \delta_i$$

- 制約を満たす

$$v_i' = c_i \quad i \in \text{constraints}$$

連立一次方程式 (未知数数 < 方程式数)

$$\begin{bmatrix} L \\ C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta \\ c \end{bmatrix}$$

擬似逆行列で解ける  
 $Ax=b \quad x = (A^t A)^{-1} A^t b$

以上が基礎、これを回転可能に発展させたり高速化する研究も多い

## Contents

- スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
    - 植物のモデリング
  - 自由曲面の変形
- まとめ

A Nealen, O Sorkine, M Alexa, D Cohen-Or  
 A sketch-based interface for detail-preserving mesh editing,  
 SIGGRAPH 2005, 93

[Video 0:20-](#)

- Laplacian Mesh EditingにSketch interfaceを導入
  - 選択したRegion of interest(ROI)の輪郭を描いて変形
  - ハンドルストロークを配置
    - ハンドルの目標形状をスケッチして変形
    - ハンドルのlaplacianをscalingして変形

J. Zimmermann, A. Nealen, M. Alexa  
 SilSketch: Automated Sketch-Based Editing of Surface Meshes  
 SBIM 2007, [Video:](#)

- 輪郭を描いて変形
- 対応する輪郭の自動抽出
  - 場所のみでなく輪郭とストロークの形状も考慮

A. Nealen, T. Igarashi, O. Sorkine, M. Alexa  
**FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves**  
 SIGGRAPH, 2007, 48

[Demo](#)

- Teddy同様の生成インタフェース
- 描いたストロークはハンドルとして利用できる
- ハンドルの位置制約を満たし、Laplacianが一様になるよう面を変形

Y Gingold, D Zorin  
**Shading-based surface editing**  
 SIGGRAPH 2008, 6

[Video 0:24](#)

- Shadingの変化を指定することでMeshの変形
  - Shadingを暗く/明るくする
  - 輪郭(silhouette)を生成する
  - Highlightを動かす

Y Gingold, D Zorin  
**Shading-based surface editing**  
 SIGGRAPH 2008, 6

- Shading modification brushのアルゴリズム
  - “Shadingを暗くするためには、lightに対する法線の傾きを大きくする必要がある”
  - 描かれた位置の法線を、ストロークを軸にして回転するような制約を生成し、laplacian mesh deformation



## Contents

- スケッチベースのモデリングインタフェースとは
- スケッチによる形状モデリング
  - Primitive形状のモデリング
  - 自由曲面のモデリング
    - 植物のモデリング
  - 自由曲面の変形
- まとめ

## まとめ

- スケッチインタフェースについて紹介し
- 最近発表された研究を広くサーベイした
  - Primitive形状を作るもの
  - 自由曲面を作るもの
  - 自由曲面を変形するもの

## Future Research Directions

- スケッチによる荒いモデル → 汎用モデラによる詳細なモデルの橋渡し
- スケッチインタフェース + image-based modeling
  - 2D image, 3D volume, etc...
- モデリング + 物理シミュレーションが面白そう
  - 物理現象の結果としてできるものをデザイン