

スケッチ認識による3次元モデル構築システムの開発

学籍番号 80021434 浦辺佳典 指導教員 青山英樹

1. 緒言

CAD システムは、機能の充実に伴い機能設計において必須のツールとなってきた。意匠設計においてもデジタル技術による支援が要求されているが、従来の CAD システムは、デザイナーの感性を効果的に引きだしながら意匠設計を支援するツールとしては十分に機能していない。^[1] このため、高い意匠性が求められる設計プロセスにおいては、スケッチによりデザイナーのアイデアが表現された後、それを基にクレイ、木材、発泡スチロールなどを用いて実モデルが製作され、その測定データから 3 次元デジタルモデルが構築されている。このプロセスは、リバースエンジニアリングと呼ばれているが、実モデルを製作し形状を評価するプロセスに多くの時間とコストを費やしている。この問題を解決するため、実モデルを製作することなくスケッチからデザイナーが直接 3 次元デジタルモデルを構築することが望まれている。

本研究では、デザイナーが紙上に描いたスケッチをコンピュータ内にデジタルデータとして入力し、簡便に三次元モデルを構築するシステムを開発する。

2. 3次元モデル構築システムの概要

本研究で対象とする形状は、左右対称であることを前提とし、そのスケッチは、中心投影で描かれているものとする。以下に本システムの概要を述べる。

- 1) データ入力：紙上に描かれたスケッチをスキャナによりコンピュータ内に入力する。
- 2) スケッチの認識(1)：スケッチデータの細線化処理を行う。同処理では、ノイズ（スケッチライン以外の点）が除去され、スケッチラインの幅が均一（1 ピクセル）に調整される。
- 3) スケッチの認識(2)：点群の集合データからひとつの曲線上の点として認識できる点群を抽出し、有理 2 次 Bézier 曲線で近似する。
- 4) スケッチの認識(3)：上記 3)の処理を繰り返し、スケッチを構成する曲線データ（曲線式、始点、終点）を獲得する。
- 5) 3 次元モデルの構築(1)：設計対象の形状特徴に注目し、基本仕様で与えられている形状特徴の寸法データと曲線データよりスケッチの視点位置を自動的に認識する。自動車の場合、ベースは地面に平行に設置され、そのフロントラインとサイドラインの長さは、基本仕様で与えられている。
- 6) 3 次元モデルの構築(2)：設計対象物の左右対称性を基に、視点位置情報と曲線データから 3 次元モデルを構築する。

3. スケッチの認識方法

上記のとおり、スキャナにより入力されたデータは、細線化処理と曲線近似により認識される。以下にその方法について述べる。

3.1 細線化処理

本研究では、独自に提案した操作円による方法と、一般に用いられているマスクパターンを利用した反復処理による方法の二つの方法によりスケッチラインの細線化を行っている。操作円による細線化法は、処理範囲をスケッチラインの近傍に限定でき、反復処理を伴わないため、高速処理が可能であ

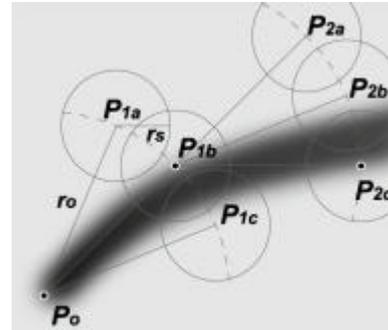


Fig.1 Thinning with Operation Circles

るが離散化誤差により細線化の精度が高くない。マスクパターンを利用した細線化法は、高速処理には適さないが操作円法に比べ細線化の精度が高い。本システムでは、用途に応じて操作円法とマスクパターン法を選択できる。

(1) 操作円による細線化法

スケッチを PGM 形式^{*}で入力し、ある閾値を超える数値をもつピクセルに 1 を、閾値以下の数値をもつピクセルに 0 を与え、スケッチデータを 2 値化する。ピクセル値を順に読み込み、1 の値をもつ最初のピクセル位置を抽出する。図 1 に示すように、そのピクセル位置はスケッチライン上の点 P_0 と認識される。点 P_0 を中心として任意の半径 r_0 の円を描く。その円上に等間隔で任意の半径 r_s の円を配置し、その円に含まれる 1 の値をもつピクセルの数を求め、その数が最も大きい円の中心位置を点 P_0 に続くスケッチライン上の点と認識する。この作業を繰り返し、スケッチラインを細線化することができる。

(2) マスクパターンによる細線化法

スケッチを PGM 形式で入力し、ある閾値を超える数値をもつピクセルに 1 を、閾値以下の数値をもつピクセルに 0 を与え、スケッチデータを 2 値化する。ピクセルの端点から順に 3×3 のマスクを当てはめ、そのパターンの条件を満足するピクセル 0 を与える。この操作を全ピクセルに対して行い、条件を満足するピクセルがなくなるまで繰り返すことにより、スケッチラインを細線化することができる。^[2]

3.2 有理 Bézier 曲線への近似

細線化された点群は、位置の連続性、傾きの連続性、曲率の連続性を判断し、同じ曲線上としてみなすことのできる点群に分類する。同一の曲線上の点として認識された点群は、有理 Bézier 曲線に近似される。Bézier 曲線は、媒介変数を含む多項式として表現されているため、その近似式を求めるにあたり、陰・陽関数に対する最小自乗法アルゴリズムを直接適用することは困難である。本研究では、以下のような手順を用いて、点群データから有理 2 次 Bézier 曲線近似式を求めている。

- 1) 同一曲線上の点とみなされる点群の両端点を近似する有理 2 次 Bézier 曲線の制御点とする。両端点において、隣接する点の位置データから端点の接線を求め、それらの交点を近似する有理 2 次 Bézier 曲線の制御点とする。

* PGM 形式： 画像形式の 1 つで、ピクセルごとに画像情報を数値でもつため画像処理が容易である。

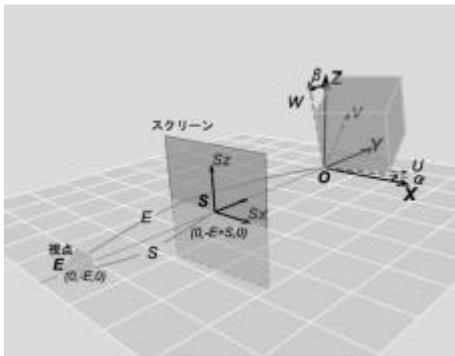


Fig.2 Topology of the System

- 2) 両端点の接線の交点から求められた制御点の重みを変化させながら、入力点群と曲線との距離の自乗和が最小になる重みを決定し、有理 2 次 Bézier 曲線が定義される。

4. 3次元モデルの構築方法

3次元モデルは、スケッチを描いている際の視点を認識し、スケッチ上の2次元位置を3次元空間に逆写像することにより構築される。以下に、その手順について述べる。

4.1 視点位置の認識方法

図2に示すように、本研究では、視点からオブジェクトに向かうベクトルをワールド座標系 $O\text{-}XYZ$ の Y 軸正の方向に配置し、ワールド座標系 $O\text{-}XYZ$ の Z 軸とスクリーン上の高さ方向 (Sz 軸) の方向を一意させる。このとき、オブジェクト座標系 $O\text{-}UVW$ は、ワールド座標系に対し、 Z 軸周りに、 X 軸周りに 回転しているものとした。ここでオブジェクトの高さ方向がスケッチの縦方向に一致させることで、 Y 軸周りの回転はないものとした。このとき、オブジェクト座標系 U 軸、 V 軸上にそれぞれ存在する2点のスクリーン座標系における対応点の座標値 (Sux, Suz) 、 (Svx, Svz) を求め、式 (1)、(2) より回転角 a 、 b が求められる。

$$a = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{Suz \cdot Svz}{Sux \cdot Svz}} \right) \quad (1)$$

$$b = \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{Suz \cdot Svz}{Sux \cdot Svz}} \right) \quad (2)$$

製品開発における基本仕様として、製品の代表的寸法が与えられているものとする。オブジェクト座標系における寸法値とスクリーン座標系における座標値から、オブジェクトとスクリーン、そして視点の位置関係が明らかになり、視点の位置が算出される。

4.2 左右対称性を利用した3次元モデル化

すでに認識された2次元有理 Bézier 曲線を3次元有理 Bézier 曲線に復元する手法を以下に示す。

入力された曲線群の中から、曲線の始点と終点を結ぶ直線とオブジェクト座標系の関係より、オブジェクトの左右対称面に対して対称な2点を結ぶ曲線とそれ以外の曲線とに識別する。それらのスクリーン座標系における曲線は、以下に述べる方法により、オブジェクト座標系に変換される。

(1) 左右対称な曲線の3次元化

曲線が左右対称であるとする、図3に示すように、両端点の中点 C および両端点を結ぶ直線からもっとも遠い点 S が左右対称面上の点であることができ、この条件よりこの曲線を定義する制御点の3次元座標値を求めることができる。

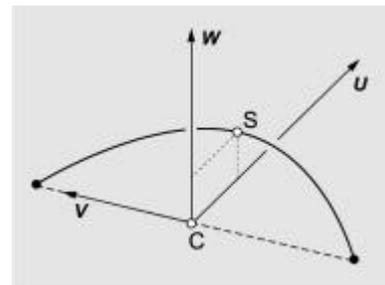


Fig.3 Center Point & Peak

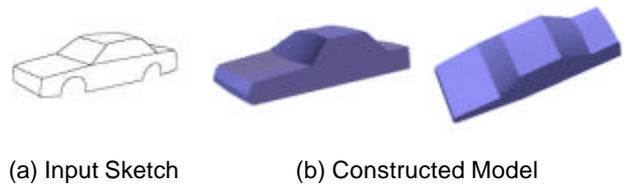


Fig.4 Result 1

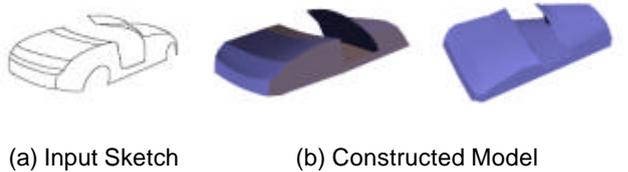


Fig.5 Result 2

(2) 左右非対称な曲線の3次元化

左右対称な位置関係にない2点を結ぶ曲線は、必ず Z 軸に平行な平面上に存在するものとし、左右対称な曲線の3次元化で得られた各点の3次元座標値を用いることにより、オブジェクト座標系における曲線として定義できる。

4.3 3次元モデルの整形法

本研究では、構築された3次元モデルに対し、FFD (Free-Form Deformation) を用いた大局的な形状修整を可能としている。本研究では、基本的な形式である Bernstein 多項式を用いた FFD を利用した。

5. 実行結果

図4、5に本システムの実行結果を示す。本システムにより、紙上に描かれた手描きのスケッチより自動的に3次元自由曲線モデルを構築できることが確認できた。

6. 結言

本研究の結言として以下にまとめる。

- (1) 手描きのスケッチを読み込み、自動的に自由曲線として定義する手法を提案した。
- (2) 得られた2次元自由曲線から設計対象の形状特徴を利用して、3次元モデルを構築する手法を提案した。
- (3) 上記(1)、(2)の手法を基に、紙面上に描かれたスケッチから3次元モデルを構築する基本システムを開発し、提案した手法の有効性を確認した。

参考文献

- [1] モデル設計用CADの高機能化, 金井理, 精密工学会誌, 59(7), 1993.7, p.1066-1068.
- [2] 画像処理工学, 谷口慶治, 共立出版株式会社, 1996.11, pp.118-120.