

距離画像を利用した立体視三次元形状 復元システムの研究

臼井 正和、藤井 勝敏、大野 尚則、丹羽 義典

岐阜県工業技術センター電子情報技術部

〒501-61 岐阜県羽島郡笠松町北及 47

058-388-3151 usui@gifu-irtc.go.jp

あらまし CADを用いた製品開発やCG、VRの普及により、実モデルから形状データを生成するシステムが必要となっている。従来の手法ではあらゆるモデルへの対応が困難であったため、本研究ではセグメンテーションを高度な形状認識能力を有する人間の判断で行うことで、より実用性の高いシステムの開発を行った。本システムではVR技術を用いて三次元空間を立体視しながら三次元操作できる環境をつくることで、人間の操作の軽減をはかっている。エンティティは単一もしくは複数間条件付きで、最小自乗法、Hough変換及びパラメータ最適化法などの手法を用いて抽出できる。実モデルを用いた実験では平面、フレット面はともに実用的な形状抽出ができた。

キーワード

CAD、モデリング、VR、画像処理

Study of 3D shape regeneration system from distance data using stereo-sopic effect

Masakazu Usui, Katutoshi Fujii, Naonori Ono, Yoshinori Niwa

Gifu Prefectural Industrial Technology Research Center

Electronics and Information Division

47 Kitaoyobi Kasamatsu Hashima Gifu 501-61 Japan

+81-58-388-3151 usui@gifu-irtc.go.jp

Abstract For CAD/CAM systems, we have developed a converting system that generates CAD data from range data. The concept of this system is to use human discretion to decide area and shape within range data. To make this operation easier, we have adapted VR technology using GWS, a 3D input device and stereo-scope equipment. The methods we use to regenerate entities are Least Square Method, Hough Translation and/or Parameter Optimum Method. Resulting from experiments, we were able to get good parameters for entities in practical use.

key words

CAD, Modeling, VR, Computer Vision

1. はじめに

製造分野において CAD/CAM システムを導入して製品の設計、試作を行うことが多くなるにつれ、デザイナーが作成したクレーモデル等の実形状を精密な CAD 用形状データに変換するシステムが必要になってきている。また最近では CG、VR のアプリケーションとして実世界にある物体を素早くモデリングするシステムも必要になってきている。このため実形状を測定して得た三次元点データを元に形状データを生成するシステムが試作されており、その中で形状抽出手法を中心に研究が進められている。しかし全ての領域を NURBS 面で抽出する方法は実形状に忠実な形状が得られる利点がある一方、形状の加工がしづらく、またデータ量が多く処理に時間がかかるなど難点がある。また EGI¹⁾ や曲率²⁾ などを用いた画像処理手法では、領域分割や形状パターン・マッチングに課題が残っており常に正確な形状を抽出することは困難である。

そこでこれらの課題を克服して実用的なシステムを作製するため本研究では形状認識、領域分割の処理を人の操作で行うことにした³⁾。人間の形状認識能力はパターン認識等の研究でも知られるように非常に優れており、構成点の選択及び形状選択はこの能力を生かした人の操作で、エンティティ抽出部分は今まで用いてきた手法およびそれに手を加えた手法で行うシステムを試作した。人間の形状認識能力を最大限引き出すには実空間での感覚を生かせるシステムにする必要があるため、既存の二次元空間を用いるのではなく VR 分野で用いられている 3 次元

空間を立体視しながら三次元操作できる環境⁴⁾を本システムに導入した。エンティティ形状及び領域の判断を容易にするため視覚系の変更操作を加え、構成点の選択操作を容易にするため抽出形状に対応する形状のカーソルを準備している。多くのモデルは複数のエンティティで構成されているが、それらのエンティティ間に特定の条件を所有していることが多いため特定の拘束条件をつけてエンティティを抽出する機能も加えた。

本論文では 2 章で本システムの構成、3 章で採用した処理の詳細を述べ、4 章で本システムの評価を実験を通して行った。

2. システム構成

本システム的全景を図 1 に示す。形状の抽出処理やデータ点・抽出形状の描画処理などを行う装置として GWS の Indigo2 (Silicon Graphics Inc.) に画像ボードを掲載して使用した。立体視可能な三次元表示機器としては液晶眼鏡 (Stereo Graphics Inc.) もしくは立体テレビ (三洋電機) を用いた。三次元入力装置としては 3 D マウス (Logitech Inc.) もしくはマゼラン (Logitech Inc.) を用いた。入力装置の特徴を表 1 に示す。本システムではシステム起動時に表示装置、入力装置の選択をして使用する。

プログラムは C 言語で作成しており、標準ライブラリとともに三次元表示グラフィックライブラリとして Performer (Silicon Graphics Inc.) を用いた。入力三次元点データは ASCII 形式、出力形状データは IGES 形式に対応する。

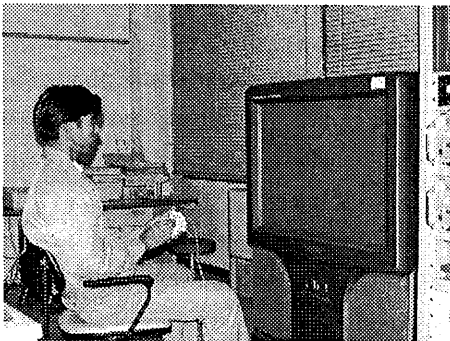


図 1 本システム的全景

表 1 本システムに用いた入力装置の特徴

装置名	装置の特色	
3D マウス	特徴	マウス本体による位置方向の直接操作 4キーによるボタン操作
	長所 短所	人間の感覚にあった操作可能 操作範囲、キー割付数の制限 肉体疲労より長時間操作不可能
マゼラン	特徴	キャップによる位置方向の間接操作 9キーによるボタン操作
	長所 短所	多種多様の操作が可能 人間の感覚にマッチしづらい

3. プログラム構成

本システムのフロー・チャートを図2に示す。

測定データファイルの読み込みは初期設定時に一度だけ行う。干渉チェックはデータ点の選択用にカーソルとデータ点との間において、エンティティ形状の補正用にエンティティとデータ点との間において行う。データファイルの出力やエンティティの抽出などの処理はファンクションの選択で行う。

3.1 視覚

三次元空間において立体視できるように左右の眼に対応して描画を行う。この時の視覚設定値を表2に示す。

三次元空間においてオペレータの操作を簡易にするため視点・視線の変更を行う。ここでは人間の視覚系と合わせるため、入力装置の特性から3Dマウスでは矢印(カーソル)方向に対して視点移動、視線方向を基準とした視線方向の変更を行い、マゼランでは視線方向を基準とした視点・視線変更を行う。

3.2 表示

本システムでは測定データ点、抽出エンティティ、カーソル、ファンクションアイコン及びエンティティ用アイコンを表示する。これらの表示オブジェク

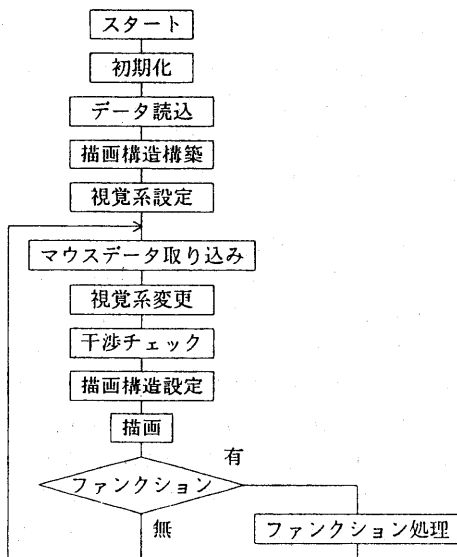


図2 本システムのフロー・チャート図

表2 視覚設定値

焦点距離	500.0 [mm]
上下視野角	29.29 [deg]
左右視野角	36.53 [deg]
輻輳角	0.756 [deg]

トは事前に表示可能な描画構造を構築しており、システム動作時はスイッチ・ノードにより表示オブジェクトの種類及び表示・非表示の選択、マトリックス・ノードにより表示位置・方向・サイズの設定を行う。

データ点やエンティティ等は視覚的に現在の状態が判断できるように状態に合わせて表示色を変更する。データ点はカーソルとの干渉の有無、構成点としての選択の有無、エンティティとの干渉の有無、エンティティ構成点か否かにより計7色で、エンティティはカーソルとの干渉の有無、変更用エンティティとしての選択の有無、基準エンティティとしての選択の有無により計6色で表示する。

3.3 干渉チェック

データ点やエンティティの選択をするためフレーム毎にカーソルと干渉チェックを行う。カーソルは矢印、棒、板、円筒、球の5種類あり、選択対象にあわせて変更している。矢印はデータ点やエンティティの一点ごとの選択、棒、板、円筒はカーソルサイズの変更によりカーソル形状に合ったデータ点の一括選択、球は狭域データ点の一括選択に用いる。干渉の有無はカーソルとデータ点、エンティティとの距離及び領域から判断しており、形状ごとの干渉条件を同一にするため、Performerに用意されている関数ではなく干渉用関数を作成して使用した。

上記の干渉チェックとは別に抽出エンティティ形状をデータ点から視覚的に評価できるように、エンティティとデータ点との干渉チェックを行う。ここでの干渉結果はエンティティ構成点の変更にも利用できる。

3.4 エンティティ形状

本研究においてエンティティ形状は形状方程式と形状領域設定を用いて設定している。形状方程式はモデラーシステムにおいて基本形状を定める重要な

パラメータであり、本研究でもより厳密な値を得るために様々な抽出方法を用いた。形状領域設定は複数のエンティティで構成される形状において重要な要素であるが、他のエンティティとの関係も考慮して行う必要があるため本システムでは簡易な手法を用いた。そのため本システムで抽出できるエンティティは直線、平面、円筒曲面の3種類であり、その形状は平面は正方形で、円筒曲面・フィレット面は円筒で設定・描画するなど単純化した。

3.5 エンティティ抽出

エンティティの抽出は、新規もしくは再度の抽出、複数エンティティ間の拘束条件付きもしくは条件なしの抽出の組み合わせより4種類あり、それぞれ以下の抽出手法を用いた。

無条件新規エンティティ抽出では選択データ点より抽出する。直線、平面の抽出には最小自乗法、Hough 変換の2方法を用いた。円筒の抽出は円筒パラメータ最適化法を用いた。

無条件エンティティ再抽出は既存の単一エンティティ構成点より同形状のエンティティを抽出する。エンティティ構成点は抽出前に変更が可能である。再抽出方法は新規抽出で用いた方法と、オペレータがエンティティの最適化過程を見ながら抽出エンティティを選択可する半自動式パラメータ最適化法を用いた。

条件付き新規エンティティ抽出では、既存のエンティティを基準として選択データ点より任意の条件

を満たす新規エンティティを抽出する。条件付き抽出が可能なエンティティは、1平面もしくは2平面に対して垂直な平面、2直交平面に接する円筒面の3種類である。抽出には半自動式パラメータ最適化法（1平面垂直）、最小自乗法（2平面垂直、円筒面）を用いた。

条件付きエンティティ再抽出では、複数エンティティ間で一定条件を満たした最適なエンティティをそれぞれのエンティティ構成点から抽出する。基準エンティティを含む場合は、条件付き新規エンティティ抽出と同じ手法を用いた同じ条件のエンティティ抽出ができる。抽出方法も同じ方法を用いた。基準エンティティが含まれない場合は、直交する2平面もしくは3平面が再抽出できる。抽出には半自動式パラメータ最適化法を用いた。

3.6 エンティティ抽出方法

3.6.1 円筒パラメータ最適化法

この方法は円筒方程式のパラメータである軸方向ベクトル、基準座標、半径の計7パラメータを各パラメータで編微分して求めた方向へ微小変化させる事で、データ点との誤差を小さくしていった最適値を得る手法である。パラメータ初期値は点データを選択した円筒カーソルの値を用いた。パラメータの最適化は方向、位置、半径と別々に行っており、その順序は収束速度の問題から乱数分岐を用いてランダムに行う。最適化の打ち切りは、計算時間と精度の兼ね合いから収束度及び誤差値より行う。

3.6.2 半自動パラメータ最適化法

これは子画面でエンティティを確認しながら凸包の面積を利用した自動処理とオペレータ操作による手動処理を併用して形状パラメータの最適化を行う方法である。図3に円筒面を抽出した時の子画面を示す。自動処理では、エンティティ基準方向を任意8方向に微小変化させその時の凸包の面積から構成点との適合度を評価して最適化を行う。最適化の打ち切りは子画面に表示するデータ点及びエンティティを元にオペレータの判断で行う。手動処理ではオペレータが子画面を見ながら直接エンティティを構成点に合うように変更操作する。この処理は自動化処理の初期パラメータの設定や、エンティティの微

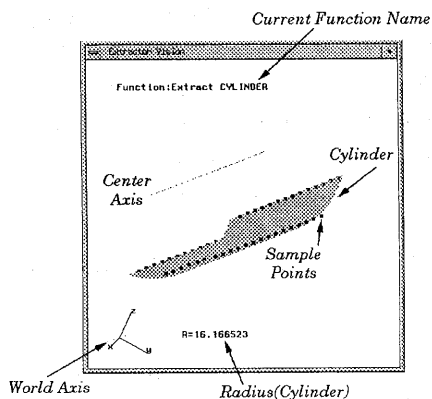


図3 半自動パラメータ最適化法で用いた子画面

調整に利用できる。

4 実験及び考察

試作したシステムの評価として、システムの操作性、抽出エンティティの形状を調べた。エンティティ抽出はそれぞれ10回行い、抽出形状と実形状との誤差値は自乗平均して求めた。

4.1 システムの操作性

二次元空間から三次元空間に作業空間を変更することで操作量が多くなり一般に操作性は悪化する。しかし本研究では立体視して三次元操作できる操作環境にしており、手間がかからず直感的操作ができる点で操作性の良いシステムになった。また視覚系の変更ができるため、データ点配列や抽出エンティティ形状を様々なアングルから立体的に見ることができ、人間の判断を引き出しやすい。しかし実空間での操作と比較すると問題点がある。その一つとして視覚的に奥行きを誤判断する表示位置・角度があり完全に立体視できていないことが挙げられる。この現象は他のVRシステム等にも見られており、光源を用いて物体に影をつけることで対応している。しかし本システムではメッシュを多用しているため、今後これらに対応した方法を模索する必要がある。

4.2 平面の抽出

最小自乗法、ハフ変換を用いて図4に示すサンプルから平面の抽出を行った。使用したデータの片方は意図的に雑音を加えて、雑音の有無による影響を調べた。選択データ点数は3、5、10、20個の4種類である。結果を表3に示す。

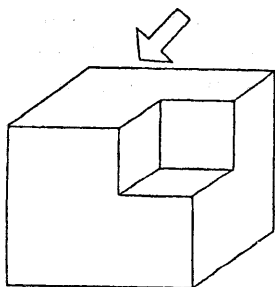


図4 平面抽出サンプル

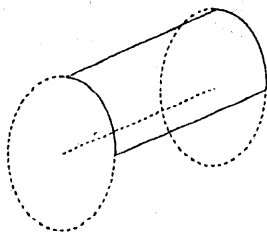


図5 円筒面抽出サンプル

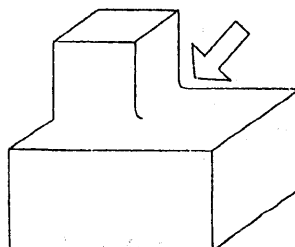


図6 フィレット面抽出サンプル

表からデータ点数の増加にともない正確な平面が抽出できることが明らかになった。誤差は十分小さい値である。雑音の有無では雑音により最小自乗法の誤差値は大きく、ハフ変換は逆に小さくなる傾向が見られたことから、ハフ変換の方は雑音に強いことがわかった。

4.3 無条件での円筒面抽出

円筒パラメータ最適化法を用いて図5、6に示す

表3 平面パラメータの誤差値

データ数	ノイズ小		ノイズ大	
	LSM (%)	Hough (%)	LSM (%)	Hough (%)
3	1.47	26.61	5.74	0.18
5	0.44	8.50	1.55	3.06
10	0.25	0.89	1.14	0.45
20	0.18	0.09	1.34	0.09
平均	0.59	9.02	2.44	0.94

表4 拘束条件なし時の円筒面の誤差値

人	円筒面		フィレット面	
	角度誤差 (degree)	半径誤差 (%)	角度誤差 (degree)	半径誤差 (%)
A	0.05	15.2	0.88	11.1
B	----	----	5.74	22.8

表5 フィレット面パラメータの誤差値

人	無条件抽出		条件付き抽出	
	角度誤差 (degree)	半径誤差 (%)	角度誤差 (degree)	半径誤差 (%)
A	0.05	15.2	0.00	2.6

サンプルから円筒面、フィレット面（円筒面）の抽出を行った。図5におけるデータ点は全て同一円筒面上にある点であり、円筒面の構成点以外の点を選択する可能性はない。一方図6では隣あう平面の構成点を選択する可能性がある。このため図6での抽出ではオペレータによる個人差が生じるか判断するため被験者を2人にした。抽出元データ点は、正確な形状が抽出できるように被験者が構成点と判断した点全てを選択して用いた。結果を表4に示す。

軸方向の角度誤差は円筒面ではほとんど見られなかったがフィレット面では個々の測定ごとにばらつきがみられており、結果的に表に見られる個人差が生じた。誤差値がみられた原因は構成点を正確に選択できなかった可能性が考えられる。

一方半径誤差は両方とも10%以上と大きな値になった。この原因を検討するため条件付き円筒面の抽出を行うことにした。

4. 4 条件付き円筒面抽出

半自動式パラメータ最適化法を用いて図6に示すサンプルからフィレット面（円筒面）の抽出を行った。抽出手順としてフィレット面と隣り合う平面を直交条件で再抽出し、この面を基準エンティティとして選択点からフィレット面を基準面と接する条件で抽出した。フィレット面抽出用のデータ点は無条件での抽出同様オペレータの判断で選択した。結果を表5に示す。

軸方向の角度誤差は予想通りほとんど見られなかった。しかしながら半径誤差は無条件での抽出より

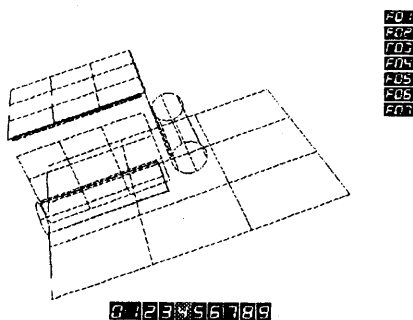


図7 全エンティティ抽出サンプル

小さくなったが、若干見られた。この原因としてデータ点の少なさ及び領域が90度以下の弧部分である点、及びそれによる形状特性によるものと考えられる。つまり円筒において半径変化に対応して軸位置を移動されると、短い弧領域では元形状との差違はほとんどない特性である。本実験でもこの傾向が見られた。このことから本実験で得られた半径誤差は実用上問題ない値である。

4. 5 全形状抽出

図6に示すサンプルの全形状をエンティティとして抽出した。その結果を図7に示す。

図から明らかなように単純なエンティティ形状構成で抽出ができた。

5. 結論

VR技術を用いた本システムの操作性は良好であった。最小自乗法、Hough変換を用いた平面の抽出では良好なエンティティ形状が得られた。一方フィレット面は構成点等の問題から無条件抽出では常に正確なエンティティ形状を得られなかった。しかし隣接する平面との束縛条件下で抽出を行うことで実用上問題がないエンティティ形状が得られた。

参考文献

- 1) 土屋ら“MEGIモデルを用いた三次元物体認識”、電子情報通信学会技術研究報告、Vol192, No.520, p47-54 (1993)
- 2) 鄭ら“不変特徴に基づく三次元曲面の表現”、電子情報通信学会論文誌、Vol178, D-II, No.2, p272-280 (1995)
- 3) Niwara “A STUDY ON THREE-DIMENSIONAL SHAPE MODELER”, VSMM'95 in Gifu, p278-283 (1995)
- 4) 郷ら“ステレオ画像を利用した三次元形状操作”、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.94 No.122 P31-36 (1994)