

## 不規則点列データにおける面対称性の検出

中馬 大彦, 大野 義夫

慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻

**概要** さまざまな物体が対称性を有しており、コンピュータグラフィクスにおいても対称性は重要な概念である。対称性の中で特に面対称性に着目し、測定点の集合データとして表された三次元物体に対して対称面を検出する。面対称性の有無、対称面の位置と方向を知っておくことができれば、測定点から多面体モデル、曲面パッチモデルなどを生成するときの精度を高められるなどの効果がある。本研究では、重心付近を通る任意の平面により対象物体を切断し、断面積の極値を求めることから対称面の検出を行なった。

### DETECTING MIRROR SYMMETRIES OF 3D OBJECTS FROM UNORGANIZED SET OF POINTS

Masahiko Chuman, Yoshio Ohno

Department of Computer Science, Graduate School of Science and Technology,  
Keio University, Japan

**Abstract** Symmetry is a very important feature for various shapes in the shape recognition and in computer graphics shape modeling. In this paper, we focus on the mirror symmetry of a 3D object that is expressed as a set of unorganized points. By deciding whether the object has such symmetry or not, and by detecting the position and the direction of the plane of the symmetry, we can construct the model of the object more accurately. Our algorithm cut a 3D object with any plane which passes through the center of the gravity of the object, and then decide the plane of the symmetry based on the extrema of cross section area.

## 1 はじめに

実物を手動あるいは自動的に計測し、物体表面の三次元座標データを得る手段が普及しつつある。そうした測定から得られるデータは測定点の  $x, y, z$  座標のみであり、測定点相互の位相的な関係のデータは含まれない場合が多い。また、測定データには測定誤差が伴う。本論文ではそのような測定点（これを不規則点列データと呼ぶ）にもとづき、もとの物体の面対称性を検出するアルゴリズムを提案する。

## 2 アルゴリズム

面対称性をもつ三次元の物体の対称面を求めるために、以下の考察を行なう。

物体の中心を測定点から推定し、その中心を通る平面により物体を切断する。断面積の変化を考えると、その平面が、対称面そのものであるときと、対称面に垂直であるときに、断面積の大きさが極値をとる。実際には、中心の位置が測定点の偏りや測定の誤差により必ずしも正確に測定できるとは限らない。そこで、断面積の大きさが極値をとる平面の中から、対称面に垂直となる面を選択し、その面から対称面を推定する。対称面に垂直な切断面は、三次元の対称面が二次元の対称軸として表れた平面となっている。この対称軸を推定することで対称面を推定する。

平面図形の対称軸の推定にも、同様の考え方を適用する。すなわち、平面図形の中心を推定し、その中心を通る直線を回転させたときの切断線分の長さの変化を調べる。直線が対称軸と重なったときと対称軸に垂直なときに切断線分の長さは極値をとる。

以上の考察を実現する方法として、以下のアルゴリズムで実験を行なった。

#### 1. 中心の推定

中心として点列データの重心を用いた。データは三角形パッチの頂点を与えているものとする。

#### 2. 中心を通る平面による切断と断面積

切断面の輪郭線上の点として、中心を通る平面とパッチの辺との交点を求める。次にこれらの点を  $x$ - $y$  平面,  $y$ - $z$  平面,  $z$ - $x$  平面のいずれかに投影し、面積を求める。求めた面積から元の切断面の面積を計算する。

#### 3. 極値の推定

中心を通る切断面の法線ベクトルを  $\theta$  と  $\varphi$  を角度のパラメータとする極座標で表示し、角度をそれぞれ変化させたときの断面積をスプライン補間を用いてグラフにする。断面積変化が極値をとるとき、 $\theta$ ,  $\varphi$  両方向で微分値が 0 となるので、両方向で別々に微分値が 0 になるときを調べ、それらのうち互いに接近している二点から極値をとる法線ベクトルの角度を推定する。

#### 4. 対称面に垂直な面の対称軸

極値をとる切断面のうち、対称面に垂直となっているものを選ぶ。この作業は自動化できていない。選んだ平面を、重心を通りその平面に垂直な平面で切断する。そのときの切断線分長の変化をグラフにし、極値をとるものを求める。

#### 5. 対称面の推定

対称面に垂直な面では対称面が対称軸として表れており、この対称軸を 4. で求めた。対称面は、対称軸を含み、対称軸に垂直な平面として推定できる。

### 3 結果

台形状の図形 (図 1) およびルアー (図 2) に対してアルゴリズムを適用した。

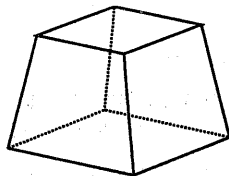


図 1: サンプル 1 の概形

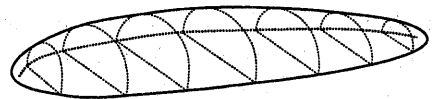


図 2: サンプル 2 の概形

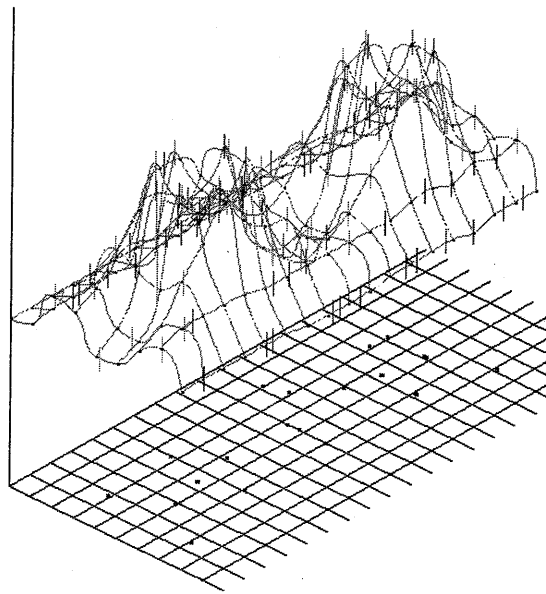


図 3:  $\theta$  および  $\varphi$  を変数とした面積変化 (サンプル 1)

まず、サンプル 1 に対する結果を示す。図 4 は重心を通る切断面の面積変化を解析して得た対称軸に垂直な切断面である。この断面に対し重心を通る切断線分の長さの変化をグラフにしたものが図 5(b) グラフである。角度変化を横軸に、長さを縦軸に取っている。また 5(a) のグラフは下のグラフを微分したものである。「+」のある部分が極値をとる座標および導関数が不連続となっているときの座標であり、図 4 では白線で描かれている。切断線分長の変化が極値をとるときの線分は図形の各辺に水平な線分として二本得られた。また導関数が不連続なときの線分は図形の対角線として二本得られた。図 4 の切断面と線分から推定した対称面が図 6 から図 9 である。

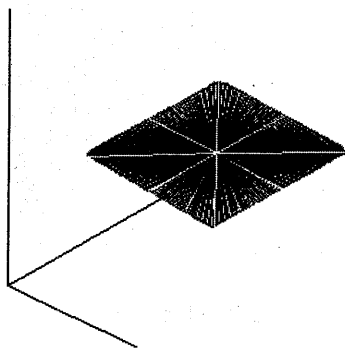


図 4: 対称軸に垂直な切断面

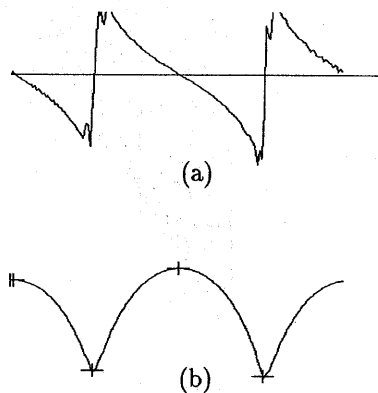


図 5: 対称軸に垂直な切断面に対する切断線分長の変化

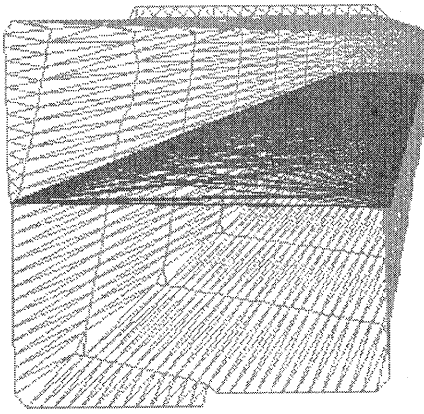


图 6: 对称面 1

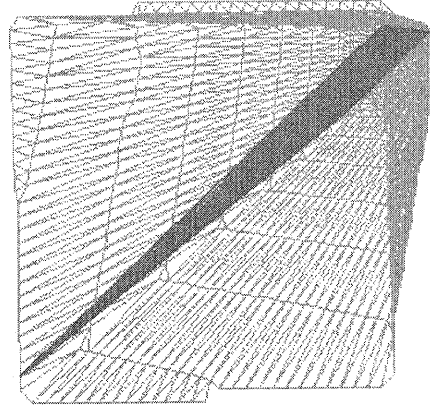


图 7: 对称面 2

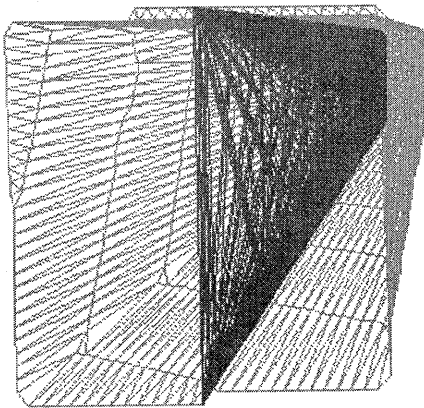


图 8: 对称面 3

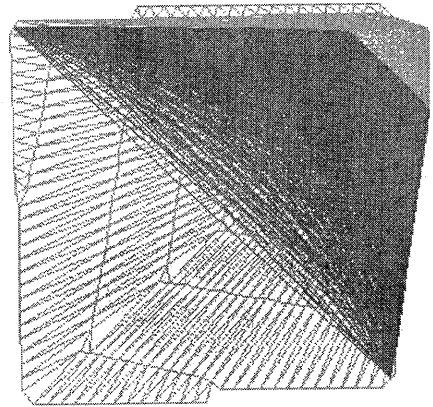


图 9: 对称面 4

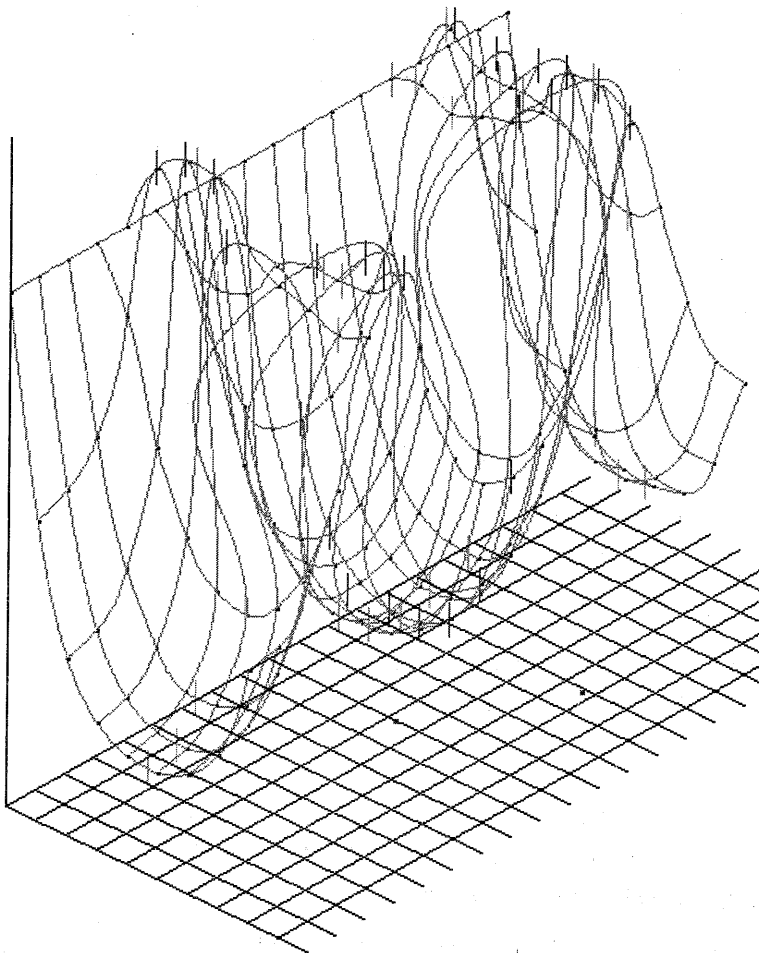


図 10:  $\theta$  および  $\varphi$  を変数とした面積変化

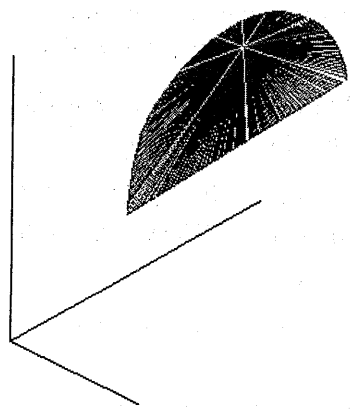


図 11: 対称軸に垂直な切断面

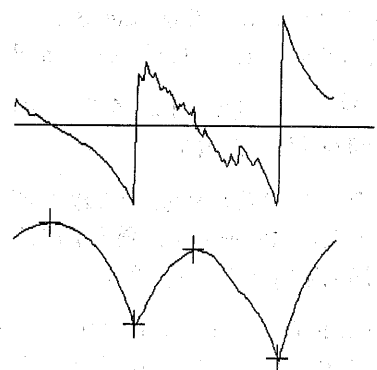


図 12: 対称軸に垂直な切断面に対する切断線分長の変化

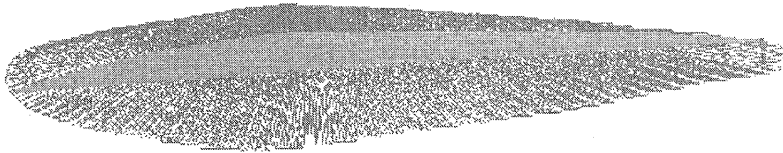


図 13: 対称面

サンプル 2 に対しても同様にして結果を得た (図 10 から図 13)。

#### 4 まとめ

重心を通る平面での切断を行い、断面積変化で極値をとる平面を得た。さらにこの平面の重心を通る切断面による切断線分長の変化を調べた。実際は三種類の図形に対してこのアルゴリズムを適用してそれぞれ対称面が得られることがわかった。しかし重心ではない点を通る平面で切断をしたときには対称軸に垂直な線分が得られないものもあり、このような場合に対処するアルゴリズムにすることが課題となっている。

#### 謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (基盤 C 一般 09680346) の援助を受けている。

#### 参考文献

- [1] Teruhito Takeda, Seiji Ishikawa, Kiyoshi Kato : "Employing symmetric subsets for identifying asymmetry of human skulls," MVA '94 IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp. 338-341, Dec. 13-15, 1994.
- [2] Yoshinobu Sato and Shinichi Tamura : "Detecting planar and curved symmetries of 3D shapes from a range image," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 64, No. 1, pp. 175-187, July 1996.
- [3] Xiuwei Zhao and Jianguang Sun : "Reconstruction of a symmetrical object from its perspective image," Computers and Graphics, Vol. 18, No. 4, pp. 463-467, 1994.
- [4] 増田 健, 山本 和彦, 山田 博三 : "回転・鏡映変換した画像との相関による対称性の抽出," 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J75-A, No. 4, pp. 840-849, April, 1992.
- [5] 芹田 陽一郎, 渡辺 大地, 千代倉 弘明 : "ポリューミング手法を用いた点群データからのポリゴン及び曲面モデル自動再構成," 第 13 回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集, pp. 70-79, 1997.
- [6] Junichi Kobayashi, Yoshio Ohno: "Axis of Symmetry of Unorganized Points," Proceedings of 8th ICECGDG, pp.134-138, 1998.
- [7] 山本 哲朗 : "サイエンスライブラリ 現代数学への入門 = 14 数値解析入門," サイエンス社, 1976.